



Avaliação da Acurácia Posicional e da Completude em Áreas de Pivôs Centrais Identificadas com a Transformada de Hough em uma Análise Multitemporal

Assessment of Positional Accuracy and Completeness in Center Pivot Areas Identified with the Hough Transform in a Multitemporal Analysis

Gisele Horta Barroso Miranda ¹, Ricardo Soares Ramos ², Afonso de Paula dos Santos ³, Lígia da Silva Barbosa ⁴, Marconi Martins Cunha ⁵ e Nilcilene das Graças Medeiros ⁶

¹ Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Civil, Viçosa, Brasil. giselehorta@gmail.com.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0752-2413>

² Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Civil, Viçosa, Brasil. rsoamos07@gmail.com.

ORCID: <https://orcid.org/00000-0002-7284-032X>

³ Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Civil, Viçosa, Brasil. afonso.santos@ufv.br.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7248-4524>

⁴ Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Civil, Viçosa, Brasil. ligia.barbosa@ufv.br.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1929-8110>

⁵ Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Civil, Viçosa, Brasil. marconi.cunha@ufv.br.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0797-8530>

⁶ Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Civil, Viçosa, Brasil. nilcilene.medeiros@ufv.br.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0839-3729>

Recebido: 10.2021 | Aceito: 01.2023

Resumo: Tendo em vista a importância da agricultura irrigada para o país, principalmente para a produção de alimentos, conseguir delimitar e estimar as áreas plantadas passa a ser de suma importância para a gestão dos recursos hídricos. Porém, com a crescente popularização das ferramentas de aquisição e edição de informações espaciais, a avaliação da qualidade dos produtos cartográficos gerados é de fundamental importância para que se possa ter confiabilidade sobre as informações obtidas. Sendo assim, este trabalho se propõe a avaliar a qualidade posicional e a completude das feições que representam as áreas de cultivo com irrigação por pivô central, obtidas por um processo de extração semiautomática de feições baseado na Transformada de Hough, a partir de 9 imagens do sistema Landsat 8 adquiridas em dias diferentes. Para a avaliação da acurácia posicional das áreas identificadas, foram utilizados dois métodos: o método tradicional por pontos homólogos e o método de feição linear Buffer Duplo. Já para a avaliação da completude, foram utilizadas as métricas de comissão e omissão da ET-CQDG da INDE. Os resultados mostraram que, ao se realizar a soma das bandas 4 e 5 para os 9 dias, a omissão caiu de 34% para 2,61%. Já para a avaliação da acurácia posicional, utilizando o Decreto nº 89.817 e a ET-CQDG, o produto cartográfico apresentou classificação B para a escala 1:100.000 pelo método de comparação de pontos homólogos, enquanto o método do Buffer Duplo apontou uma classificação mais restritiva, enquadrando o produto na classe C para a mesma escala.

Palavras-chave: Controle de Qualidade Cartográfica. Feições Lineares. Transformada de Hough.

Abstract: Considering the importance of irrigated agriculture for the country, mainly for food production, being able to delimit and estimate the planted areas becomes of paramount importance for the management of water resources. However, with the growing popularization of spatial information acquisition and editing tools, the evaluation of the quality of the generated cartographic products is of fundamental importance in order to have confidence in the information obtained. Therefore, this work aims to evaluate the positional quality and completeness of the features that represent the crop areas with irrigation by a center pivot, obtained by a semi-automatic feature extraction process based on the Hough Transform, from 9 Landsat images 8 of different days. For the evaluation of positional accuracy of the identified areas, two methods were used: the traditional method by homologous points and the Double Buffer linear feature method. As for the completeness assessment, the commission and omission metrics from INDE's ET-CQDG were used. The results showed that, when performing the sum of bands 4 and 5 for the 9 days, the omission dropped from 34% to 2.61%. As for the evaluation of positional accuracy, using Decree No. 89.817 and ET-CQDG, the cartographic product presented a classification B for the 1:100,000 scale by the homologous point comparison method, while the Double Buffer method indicated a more restrictive classification, placing the product in class C for the same scale.

Keywords: Cartographic Quality Control. Linear Features. Hough Transform.

1 INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico das últimas décadas proporcionou a evolução de diversos segmentos relacionados ao uso computacional, dentre estes, pode-se citar o Processamento Digital de Imagens (PDI). A evolução da tecnologia de processamento de imagens facilitou a disseminação e o uso de produtos e técnicas na área do Sensoriamento Remoto, transformando seu uso cada vez mais frequente nas mais diversas áreas do conhecimento e popularizando o uso das informações cartográficas provenientes de tais tecnologias (ROSENDO, 2005). Dentre as áreas que vêm desenvolvendo estudos com o uso das técnicas de Sensoriamento Remoto, pode-se destacar as atividades agrícolas, principalmente aquelas relacionadas ao uso da irrigação para produção de alimentos, que têm grande importância em diversos aspectos para o Brasil. Como exemplo, pode-se destacar os polos nacionais de irrigação, que se dedicam predominantemente à produção de grãos (soja, milho, feijão, algodão, etc.) (ANA, 2021).

Segundo ANA (2021), em 2014, a estimativa da área irrigada subiu para 6,1 milhões de ha, um aumento de 36% em relação a 2006, e atingiu 8,2 milhões de ha em 2019; fazendo com que o Brasil se tornasse o 6º maior país do mundo em termos de área equipada para irrigação.

Diante da importância da agricultura irrigada na produção de alimentos e do uso racional dos recursos hídricos, conseguir identificar, estimar e calcular essas áreas e, conseqüentemente, sua produção, é de suma relevância no planejamento e gestão dos recursos hídricos. Tais atividades podem ser realizadas por meio de técnicas de Sensoriamento Remoto e PDI como, por exemplo, os métodos de extrações de feições (AMINI, 2004; MEDEIROS, 2007).

O processo de extração de feições não é tarefa trivial, tendo em vista a existência de diferentes tipos de texturas, formas, padrões e estruturas apresentados pelos objetos presentes na superfície terrestre. Pensando nisso, Ramos (2016) apresenta um processo de extração de feições onde se utilizam apenas os valores de brilho de uma série temporal de imagens e a técnica da transformada de Hough para detectar, de forma seletiva, feições circulares que representam as áreas de plantio que utilizam o método de irrigação por pivô central.

Além das dificuldades de identificação, todo mapeamento é uma abstração do mundo real. Sendo assim, as feições mapeadas, por serem estimativas, apresentam pequenas diferenças em seus comprimentos e áreas em relação à realidade (ARONOFF, 1995). Portanto, além de identificar as áreas e estimar seus quantitativos, ter conhecimento se os produtos e informações geradas apresentam uma qualidade cartográfica aceitável e confiável é fundamental, inclusive para o enquadramento destes produtos em algum padrão.

Pereira e Nero (2012) mostram que para avaliar as incertezas posicionais e, assim, definir a qualidade de um produto cartográfico, existem normas e padrões definidos por diversos órgãos regulamentadores e vigentes em diversos países, como, por exemplo, o Decreto nº 89.817/1984 do Brasil. Este decreto foi criado pela Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR) e regulamenta a classificação da qualidade dos produtos cartográficos quanto a sua acurácia posicional.

Em seu Capítulo II, o Decreto nº 89.817 estabelece três classes de produtos cartográficos, A, B e C, de acordo com as tolerâncias Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) e Erro Padrão (EP) do produto avaliado. Porém, com intuito de atualizar os valores do decreto, em junho de 2011, a CONCAR homologou a norma Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV), para integrar a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE). Essa especificação, com o objetivo atender as novas necessidades da era digital, criou o Padrão de Exatidão Cartográfica da Planimétrica dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD), tornando mais rigorosos os valores do PEC e EP ao criar uma nova classe de acurácia, sendo agora os produtos cartográficos classificados nas classes A, B, C e D. Por fim, em 2016 foi lançada a Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG), uma norma exclusiva para o controle de qualidade cartográfica.

Essa avaliação da acurácia posicional de dados cartográficos tradicionalmente é realizada por meio de técnicas baseadas em feições pontuais (NERO et al., 2017; ARIZA-LÓPEZ, RODRÍGUEZ-AVI; ALBA-FERNÁNDEZ, 2018; CUNHA et al., 2019), como é preconizado pelo padrão brasileiro (Decreto nº 89.817/ET-CQDG). Na avaliação por meio de pontos é realizada a comparação estatística entre as coordenadas obtidas no produto avaliado e as coordenadas homólogas, obtidas em uma fonte mais precisa.

Entretanto, existem métodos que possibilitam a utilização de feições lineares no controle posicional.

São exemplos os métodos Buffer Simples (GOODCHILD; HUNTER, 1997), Buffer Duplo (TVEITE; LANGAAS, 1999), Influência do Vértice (MOZAS-CALVACHE; ARIZA-LÓPEZ, 2011), entre outros. Estes métodos têm a sua implementação de forma semelhante aos métodos baseados em pontos, envolvendo uma comparação entre um conjunto de linhas de teste e dados homólogos obtidos por uma fonte mais precisa (MOZAS-CALVACHE; ARIZA-LÓPEZ, 2014). Além disso, é possível utilizar as discrepâncias posicionais obtidas com tais métodos para avaliar produtos cartográficos segundo o padrão brasileiro, como é proposto no trabalho de Santos et al. (2015).

Dentre os elementos da qualidade dos dados (acurácia posicional, completude, consistência lógica, acurácia temporal, acurácia temática e usabilidade), a acurácia posicional é um dos mais utilizados e de maior importância para a Cartografia (GOODCHILD; GOPAL, 1989; SHI, 2010). Entretanto, os outros elementos de qualidade podem e devem ser utilizados no processo de avaliação de dados geoespaciais, dependendo do tipo de produto e de sua finalidade. Em um processo de extração de feições, por exemplo, é importante avaliar a completude, para quantificar a proporção de itens em excesso ou ausentes dada pelo algoritmo utilizado.

Neste contexto, o presente trabalho teve o objetivo de avaliar a qualidade posicional e a completude de um produto cartográfico gerado por meio da extração de feições circulares de forma semiautomática, com uso da Transformada de Hough, em uma série temporal de imagens Landsat 8, que representam áreas de plantios irrigadas por pivôs centrais. Sendo a avaliação da acurácia posicional realizada dentro dos padrões estabelecidos pelo Decreto nº 89.817 e pela ET-CQDG e utilizando duas técnicas distintas: por meio do método tradicional por pontos e utilizando a abordagem por feições lineares, através da aplicação do método do Buffer Duplo. Já a completude foi realizada pelas métricas de excesso e omissão da ET-CQDG.

2 TRANSFORMADA DE HOUGH

A transformada de Hough foi desenvolvida por Paul V. C. Hough na década de 1960, obtendo a patente “Method And Means for Recognizing Complex Patterns” (HOUGH, 1962). Essa transformada é uma das técnicas de extração de feições por meio do reconhecimento de padrões mais conhecidas no processamento de imagens, sendo capaz de identificar os limites dos elementos parametrizáveis que compõe uma imagem digital, como retas, círculos, elipses, etc. (MEDEIROS, 2007).

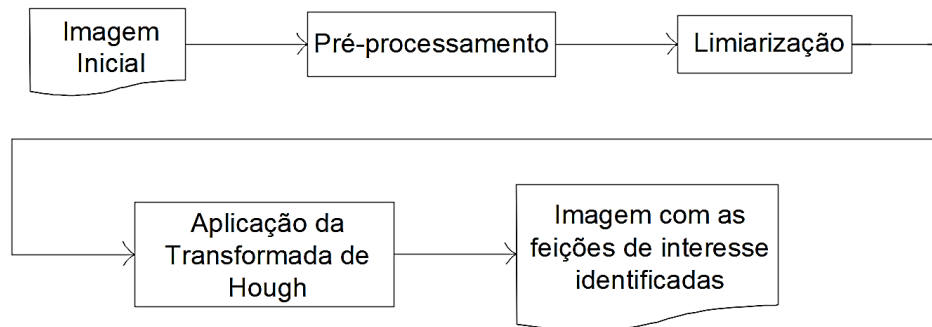
Apesar disso, a transformada de Hough clássica abordava somente a detecção de linhas retas. Com a utilização do método por diversos pesquisadores, surgiram várias modificações, muitas delas substanciais como aponta Pereira (1995). Duda e Hart (1972) apresentam uma abordagem estendida e generalizada da transformada de Hough, adaptando-a para identificar circunferências além de linhas retas. Para se detectar circunferências com raio fixo com a transformada de Hough, deve-se determinar quais os pontos presentes na imagem pertencem ao mesmo círculo. Em outras palavras, segundo Pistori, Pistori e Costa (2005), para um conjunto de coordenadas (x, y) , pretende-se encontrar valores para os parâmetros (x_c, y_c) , que representam as coordenadas dos pontos dos centros dessas circunferências. Estes autores apresentam ainda a relação entre as coordenadas dos pontos a serem testados (x, y) , as coordenadas do centro da circunferência (x_c, y_c) e o seu raio (r) , dada pela Eq. (1).

$$(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2 = r^2 \quad (1)$$

Geralmente, para aplicar a transformada de Hough, é necessário realizar um procedimento de pré-processamento da imagem, com o objetivo de se destacar as bordas dos limites das feições que se encontram na imagem. Após essa etapa, também se faz necessário realizar um processo de limiarização, para se obter uma imagem binária, que é o dado de entrada para a transformada de Hough (MEDEIROS, 2007).

Pistori, Pistori e Costa (2005) explicam também que para cada ponto (x, y) de borda dessa imagem binária, encontram-se todos os possíveis valores das coordenadas de centro (x_c, y_c) em função do raio (r) que passam por (x, y) . Ao final, as células que foram mais vezes selecionadas como possíveis centros de circunferência, indicarão os centros mais prováveis das circunferências que se pretende identificar. A Figura 1 traz um fluxograma com as etapas necessárias para a extração de feições com a transformada de Hough.

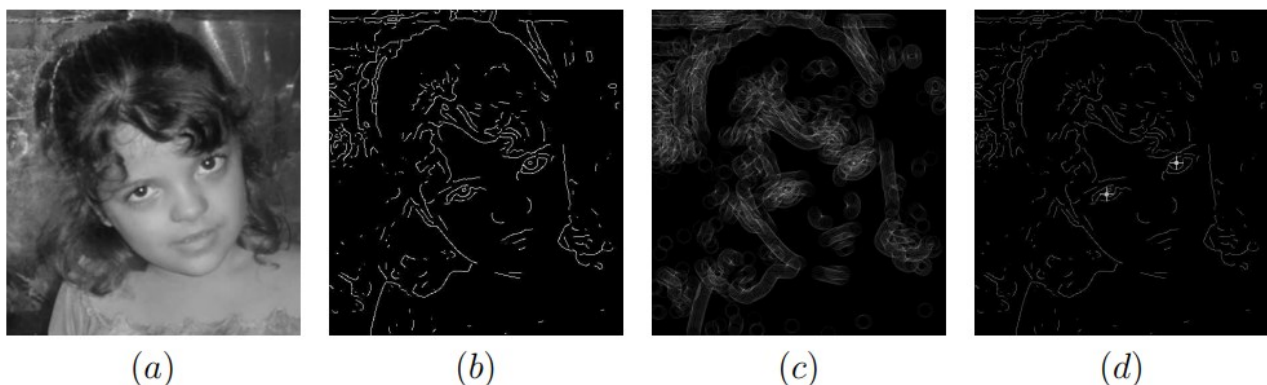
Figura 1 - Etapas para a extração de feições com a transformada de Hough.



Fonte: Os autores (2022).

Pistori, Pistori e Costa (2005) trazem um exemplo (Figura 2) da aplicação da transformada de Hough para circunferências para identificar os olhos de uma face humana em uma imagem.

Figura 2 - Exemplo da utilização da transformada de Hough para circunferências.



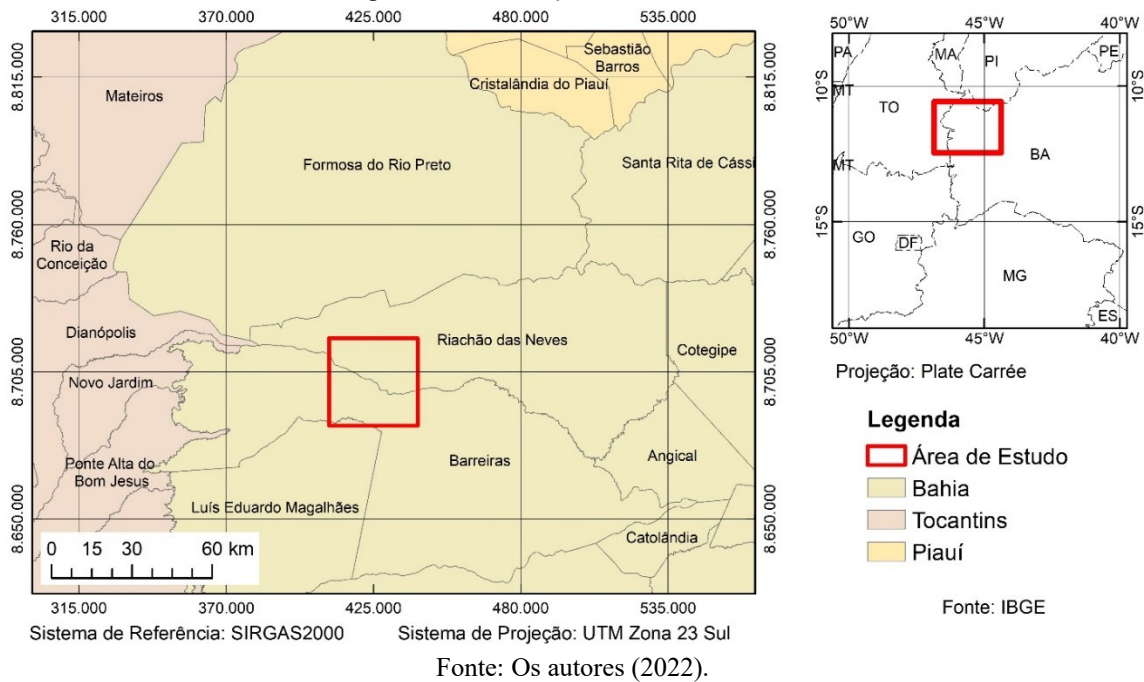
Fonte: Pistori, Pistori e Costa (2005).

A Figura 2a corresponde à imagem inicial; a Figura 2b é o resultado da aplicação do filtro de Canny para detecção de bordas; a Figura 2c representa o espaço de Hough, constituído dos possíveis valores de (x_c, y_c) ; e a Figura 2d apresenta as duas circunferências que mais se destacaram no espaço de Hough, que representam os olhos da face.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo deste trabalho está localizada na região do Extremo Oeste da Bahia, entre as latitudes $11^{\circ}36'S$ e $11^{\circ}53'S$ e as longitudes $45^{\circ}32'W$ e $45^{\circ}50'W$, totalizando uma área de aproximadamente 910 km^2 . Esta região está inserida na Bacia do Rio Grande, interceptando partes dos municípios de Luiz Eduardo Magalhães, Barreiras e Riachão das Neves, como é possível observar na Figura 3.

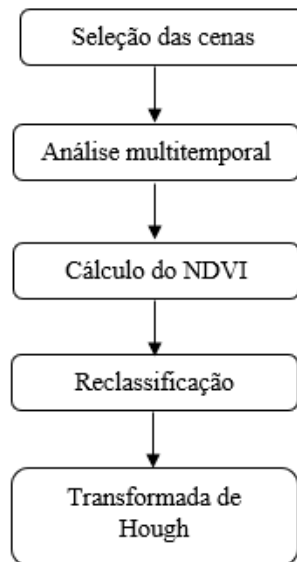
Figura 3 – Localização da Área de Estudo.



3.1 Identificação das áreas irrigadas por pivô central

A etapa de identificação dos pivôs centrais foi executada conforme os passos do fluxograma da Figura 4.

Figura 4 - Metodologia para identificação dos pivôs centrais.



Fonte: Os autores (2022).

O produto cartográfico utilizado para avaliação foi o resultado da implementação realizada por Ramos (2016) no *software* MATLAB 2012b, útil para identificar e extrair as feições circulares de interesse utilizando a Transformada de Hough, em que esta faz o reconhecimento em imagens de figuras geométricas que são circulares. Neste estudo, estas imagens representam áreas de plantio com irrigação pelo método do pivô central.

Para aplicação da Transformada de Hough, foram selecionadas 9 cenas do sensor OLI (resolução espacial de 30m, multiespectral) do sistema Landsat 8, cujas datas (22/05/2014, 07/06/2014, 09/07/2014, 25/07/2014, 10/08/2014, 26/08/2014, 11/09/2014, 27/09/2014 e 30/11/2014) representam as regiões de cultivo

ao longo de um ano produtivo. Todas as cenas adquiridas apresentam o nível de correção classificado como L1T, que corresponde a correções geométricas e radiométricas, além, ainda, de utilizar dados de um Modelo Digital de Elevação (MDE) para ajustar os parâmetros com determinada precisão topográfica. Além disso, como critério de seleção, somente as imagens com cobertura de nuvem menor que 10% da área de estudo foram utilizadas.

Como estas áreas normalmente passam por um sistema de rodízio de plantio para descanso, ou para o preparo de outras culturas após uma colheita, é necessário realizar uma análise multitemporal para se extrair todas as feições das áreas cultivadas com sistemas de irrigação do tipo pivô central ao longo de um ano. Para isso, propõem-se inicialmente um procedimento de operações algébricas entre as bandas espectrais, realizando a soma de todas as 9 cenas do Vermelho (V - banda 4) e a soma de todas as 9 cenas do Infravermelho Próximo (IVP - banda 5), gerando duas novas cenas, conforme a Eq. (2) e a Eq. (3).

$$\text{IMG Soma (V)} = \sum_{\text{data}=i}^f \text{Banda 4 (data)} \quad (2)$$

$$\text{IMG Soma (IVP)} = \sum_{\text{data}=i}^f \text{Banda 5 (data)} \quad (3)$$

Desta forma, para a soma das bandas do canal vermelho, onde a vegetação tem alta absorção desta faixa espectral, as áreas cultivadas ao longo do ano teriam um valor de somatório baixo comparado com os valores de somatório das bandas do canal infravermelho próximo, que devido à alta reflectância tem um valor mais elevado que as demais regiões. Além disso, a operação algébrica da soma das imagens em várias datas do ano teve como finalidade assegurar que pelo menos em algum momento ao longo do ano a região de um pivô central possuísse alguma cultura plantada e, assim, apresentasse alta reflectância no canal infravermelho próximo nestes alvos nas imagens adquiridas, a fim de obter uma imagem resultante com maior brilho possível nas áreas cultivadas. Portanto, esta etapa desempenha a função de pré-processamento, buscando destacar as áreas irrigadas e, assim, aumentar a efetividade na extração das feições de interesse por meio da transformada de Hough. Outras estatísticas, como a média, mediana e a moda, poderiam causar a suavização nos valores de reflectância. Valores mínimos provocariam baixa reflectância e dificultariam a detecção dos pivôs. Poderia se pensar no caso de valores máximos. Entretanto, ao fazer isso realçaria a resposta espectral na banda do vermelho, além do infravermelho próximo, o que dificultaria a detecção dos pivôs por meio da transformada de Hough. Mais detalhes são apresentados no item 4.1.

Como as áreas de cultivo pela técnica de irrigação por pivô central apresentam atividades fotossintéticas mais elevadas que seu entorno, devido aos aportes (adubos) recebidos para o desenvolvimento da cultura, foi calculado o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) das duas imagens soma resultantes das Eq. (2) e (3), apresentado na Eq. (4), destacando assim as áreas irrigadas por meio da proeminência das atividades fotossintéticas.

$$\text{NDVI} = \frac{\text{IMG Soma (IVP)} - \text{IMG Soma (V)}}{\text{IMG Soma (IVP)} + \text{IMG Soma (V)}} \quad (4)$$

A imagem resultante do NDVI apresenta escala linear com valores entre -1 e 1. Porém, para utilizá-la no algoritmo de identificação de feições circulares implementadas no MATLAB 2012b, os dados foram reclassificados e convertidos para uma escala de 8 bits (0 a 255, representando 256 níveis de cinza), no formato JPG.

Por fim, na etapa final a função implementada com a transformada de Hough tem como parâmetros de entrada a imagem orbital pré-processada e informações referentes a geometria das áreas procuradas (os raios máximo e mínimo aproximados que se pretendem identificar, a dimensão espacial do pixel e coordenadas espaciais de referência da imagem), resultando numa tabela com as coordenadas dos centros dos pivôs centrais e os valores correspondentes de seus raios e diâmetros.

3.2 Avaliação da completude

Após a extração das feições foi realizada a avaliação da completude, de acordo com a ET-CQDG. A completude é definida como a presença ou ausência de feições, seus atributos e/ou relacionamentos (ISO, 2013). Para a sua avaliação, a ET-CQDG (DSG, 2016) apresenta quatro medidas: a porcentagem de itens em excesso, a porcentagem de itens ausentes, a porcentagem de itens não previstos, e a porcentagem de área indisponível. Dentre estas, tendo em vista que as demais não se aplicam a situação deste trabalho, as duas primeiras medidas foram utilizadas.

A porcentagem de itens em excesso (comissão) é a proporção entre o número de objetos que foram incluídos no conjunto avaliado, mas que não existem no conjunto de referência, e o número de objetos que deveriam estar presentes (DSG, 2016). Essa medida é dada pela Eq. (5).

$$\text{Comissão} = \frac{\text{itens em excesso}}{\text{tamanho da referência}} \quad (5)$$

Já a porcentagem de itens ausentes (omissão) é a proporção entre o número de objetos ausentes no conjunto avaliado e o número de objetos que deveriam estar presentes. Essa medida é dada pela Eq. (6).

$$\text{Omissão} = \frac{\text{itens em falta}}{\text{tamanho da referência}} \quad (6)$$

Nas duas medidas, a referência utilizada foi o arquivo contendo os pivôs centrais, obtido no catálogo de metadados da Agência Nacional de Águas (ANA, 2014). Neste trabalho, a avaliação da completude foi realizada duas vezes. A primeira comparou as feições extraídas pela transformada de Hough a partir das imagens das 9 datas separadamente com a referência. Já a segunda análise foi realizada entre as feições extraídas a partir da imagem de soma das bandas (Eq. (4)) e a referência.

3.3 Avaliação da acurácia posicional

O processo de avaliação foi realizado de acordo com as propostas estabelecidas por Santos et al. (2016), dividindo a avaliação em duas etapas: a primeira focada no estudo da localização da amostra de checagem e a segunda no cálculo das discrepâncias e análise da acurácia. O fluxograma da Figura 5 exemplifica a metodologia aplicada para a análise da acurácia posicional proposta por Santos et al. (2016).

Primeiro, os dados foram avaliados utilizando feições vetoriais com primitivas de pontos. Comparou-se as coordenadas referentes ao centro de cada região circular que representa as áreas de pivô central identificados por Ramos (2016) com seus homólogos (ANA, 2014), sendo, respectivamente, as feições de teste e de referência. Dessa forma foram calculadas as discrepâncias posicionais conforme a Eq. (7):

Sendo:

$$d_{pi} = \sqrt{(X_{Ti} - X_{Ri})^2 + (Y_{Ti} - Y_{Ri})^2} \quad (7)$$

d_{pi} : discrepância posicional da feição i ;

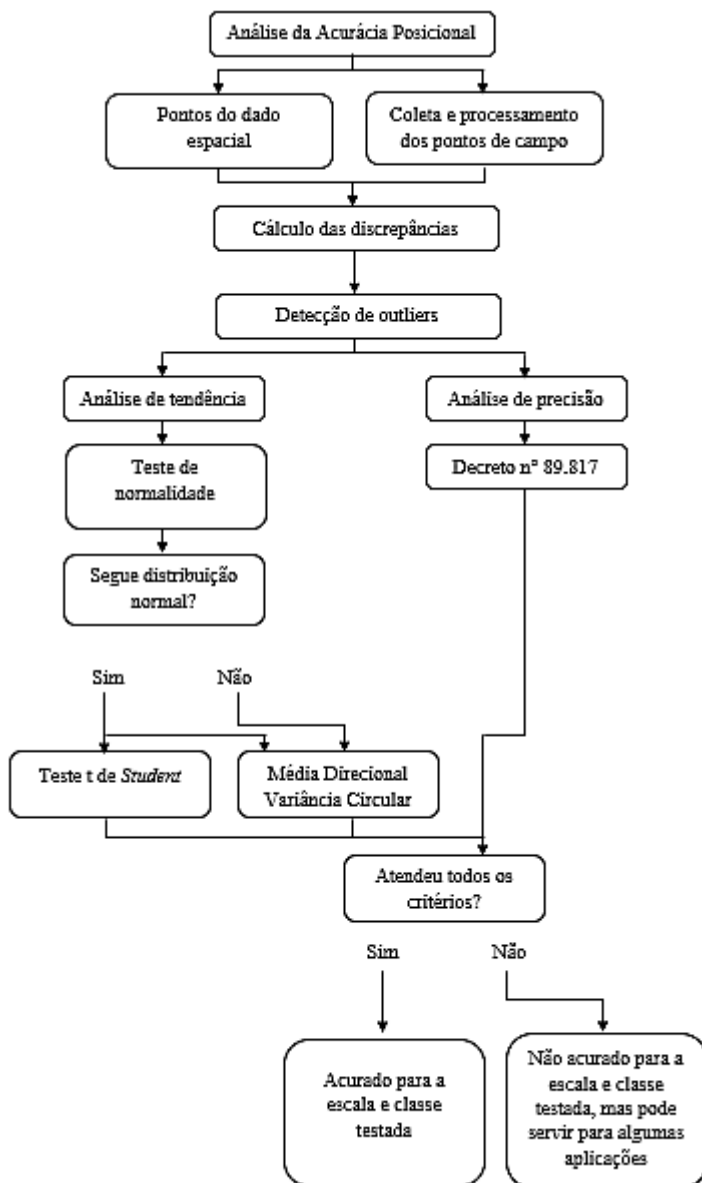
X_{Ti} : coordenada Este da feição de teste i ;

X_{Ri} : coordenada Este da feição de referência i ;

Y_{Ti} : coordenada Norte da feição de teste i ;

Y_{Ri} : coordenada Norte da feição de referência i .

Figura 5 - Metodologia para análise da acurácia posicional.



Fonte: Adaptado de Santos et al. (2016).

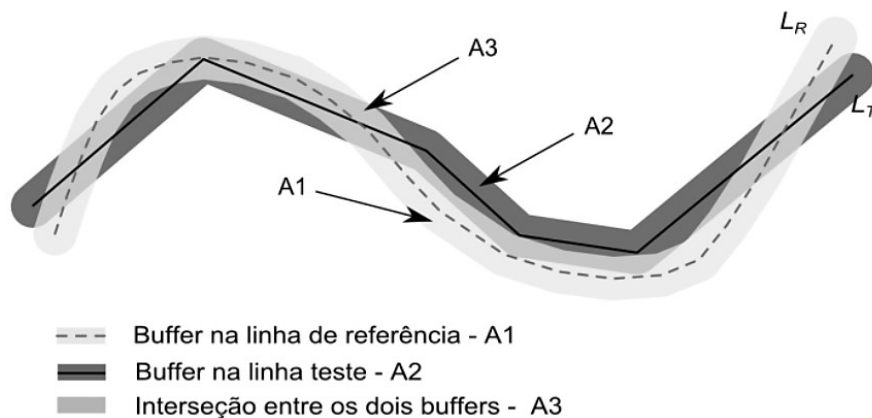
Já para as feições lineares foi utilizado o método Buffer Duplo para obter as discrepâncias posicionais. Implementado por Tveite e Langaas (1999), o método do Buffer Duplo tem por finalidade determinar uma faixa no entorno da linha de referência que abrange um percentual de uma faixa no entorno da linha teste.

São, portanto, aplicados *buffers* nas linhas de teste e de referência realizando em seguida uma interseção entre os polígonos resultantes dos *buffers*, de modo a obter uma medida de discrepância média entre as feições lineares (Figura 6). Neste trabalho empregou-se a escala de 1:100.000, conforme uso recomendado por Teixeira (2016) e Queiroz e Santos (2016), tendo como largura dos *buffers*, os valores das tolerâncias do PEC para a escala adotada, segundo a ET-CQDG. Este cálculo pode ser realizado por meio da Eq. (8).

$$dm_i = \pi \cdot x \cdot \frac{\sum(A_1 - A_3)_i}{A_2} \tag{8}$$

onde $(A_1 - A_3)$ é o somatório da área do buffer da linha de referência que não faz interseção com o *buffer* da linha de teste, A_2 é o valor da área formada pelo *buffer* da linha teste, e x é a largura do *buffer*.

Figura 6 - Modelo ilustrativo das faixas criadas para testar as linhas no método do Buffer Duplo.



Fonte: Santos et al. (2015).

Posteriormente, deve-se analisar a presença ou não de *outliers*. Utilizando-se o teste 3σ , verifica-se se a discrepância de determinado ponto ultrapassa o valor de 3 vezes o valor da tolerância adotada (EP para classe B). Caso isto ocorra, este ponto é classificado como possível *outlier*.

Em relação à normalidade dos dados, nos casos em que a amostra é normal, pode-se aplicar o teste de análise de tendência t de *Student* (MERCHANT, 1982; ARIZA-LÓPEZ, 2002; GAMBA; SANO, 2017), sendo está avaliada pelo teste de Jarque-Bera. Este teste de normalidade utiliza a máxima diferença absoluta (Dmax) entre a função de distribuição acumulada assumida para os dados, no caso a normal, e a função de distribuição empírica dos dados. Como critério, esta diferença é comparada com um valor crítico para um determinado nível de significância (SANTOS, 2010).

De acordo com Santos et al. (2016), a análise de tendências é realizada através do teste t de *Student* e teste Z, onde é aplicado o teste t de *Student* quando uma amostra é menor que 30 elementos. Para o caso que a amostra possua mais de 30 elementos é recomendado o teste Z, uma vez que para amostras maiores, o teste t de *Student* se aproxima da distribuição normal.

Quando a amostra não for normal, existem duas métricas na estatística espacial que juntas permitem analisar a presença de tendências em dados espaciais: a média direcional e a variância circular. Estes testes de tendência, possuem como vantagem a utilização de técnicas de estatística espacial, em que a amostra não precisa seguir a distribuição normal. A média direcional retrata a tendência de direção de uma amostra, mas não consegue especificar a variabilidade desta direção. Sendo assim, a variância circular tem como objetivo descrever esta variabilidade (SANTOS et al., 2016). Vale ressaltar que este teste também pode ser aplicado em dados que sigam a normalidade.

Finalizada a etapa de análise dos dados e analisados todos os pré-requisitos propostos por Santos et al. (2016), foi realizado o processo de classificação do produto cartográfico de acordo com os padrões das classes estabelecidas pelo Decreto nº 89.817, ET-ADGV (Estruturação Técnica de Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais) e ET-CQDG (BRASIL, 1984; DSG, 2011; 2016).

Para avaliação do produto foram utilizados os resultados obtidos em cada uma das duas metodologias utilizadas comparando com as tolerâncias definidas pelo Decreto nº 89.817 aliada à ET-CQDG, de acordo com a escala (E), apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Tolerâncias utilizadas para avaliação da acurácia posicional planimétrica utilizando o Decreto nº 89.817 aliada à ET- CQDG.

Classe	Planimetria	
	PEC	EP
A	0,28mm x E	0,17mm x E
B	0,50mm x E	0,30mm x E
C	0,80mm x E	0,50mm x E
D	1,00mm x E	0,60mm x E

Fonte: Adaptado de DSG (2016).

Para realizar as avaliações de acurácia posicional, foram utilizadas as ferramentas do programa ArcGIS 10.5 e o *software* GeoPEC, em que de posse de todas as informações, foi definida a acurácia posicional dos dados de acordo com a escala utilizada.

Ressalta-se que para a análise da acurácia posicional segundo o Decreto n° 89.817, ET-ADGV e ET-CQDG através do Buffer Duplo, dois critérios devem ser atendidos: 90% das linhas testadas devem apresentar discrepância média (dm) menor ou igual ao valor do PEC (da classe e escala utilizadas para gerar uma região com um *buffer* determinado) e o RMS (*Root Mean Square*) (Eq. (9)) das discrepâncias (dm) deve ser menor ou igual ao valor do EP. Novamente sugere-se a verificação da independência e normalidade dos dados.

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_{mi})^2}{n}} \quad (9)$$

onde: n: número de feições de checagem.

As feições lineares de teste, deste estudo, são os perímetros de cada região circular que representa as áreas de pivô central identificados pela transformada de Hough, e as feições lineares de referência são os perímetros homólogos apresentados por ANA (2014).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

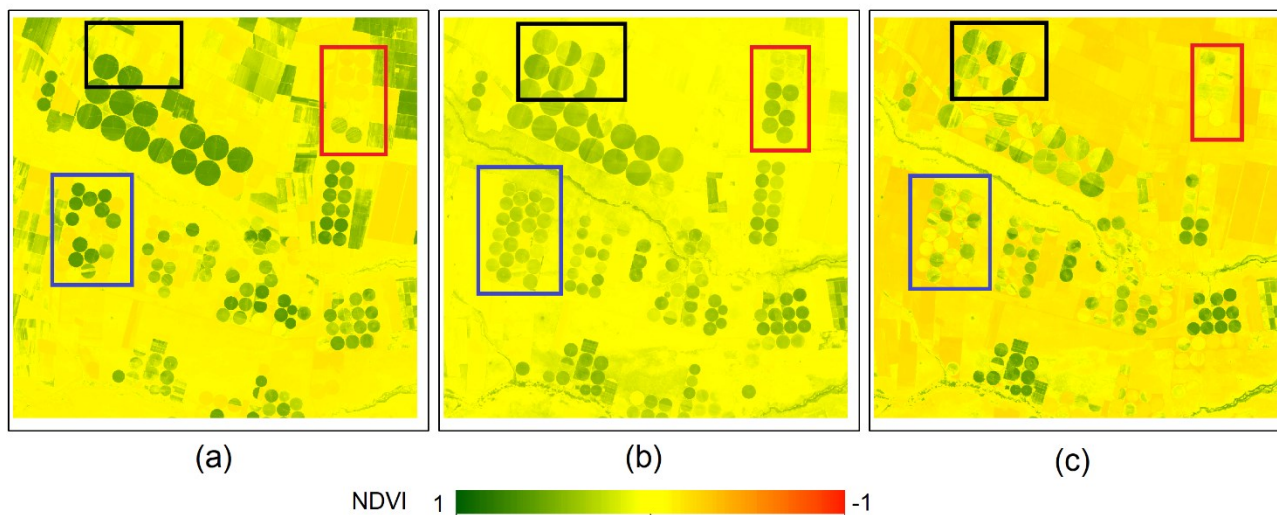
4.1 NDVI

O objetivo de se utilizar a soma das bandas é para que o NDVI destaque as regiões de pivô central, o que facilitaria a detecção destas áreas pela transformada de Hough; além de representar uma análise multitemporal, agregando os pivôs ao longo do ano. Ou seja, essa matemática de bandas desempenha a função de pré-processamento.

A Figura 7 representa o NDVI para uma única data (Figura 7a) e para a soma das bandas do vermelho e do infravermelho próximo (Figura 7b), proposta desta pesquisa para uma análise multitemporal.

Visando destacar as áreas de pivô central, poderia se pensar também em utilizar os valores máximos de brilho para as bandas consideradas (vermelho e infravermelho próximo), para cada pixel ao longo do período de tempo de interesse (Figura 7c).

Figura 7 - Três abordagens para o cálculo de NDVI.



Fonte: Os autores (2022).

Nesta figura, é possível observar que para uma única data (Figura 7a) os pivôs aparecem melhor destacados do que nos outros dois casos. Entretanto, este caso representa a área em somente uma época do ano. Desta forma, áreas que passam por um sistema de rodízio no plantio não seriam representadas e não poderiam ser detectadas pela transformada de Hough. Esta situação pode ser observada comparando as regiões

dos retângulos preto e vermelho nas Figuras 7a e 7b, por exemplo. As áreas de pivô aparecem com menor destaque nas imagens que representam o NDVI para o caso multitemporal (Figuras 7a e 7c) por incorporarem na análise as épocas do ano em que não há plantio nas áreas.

Outra questão interessante é observar que o NDVI criado com os valores de brilho máximos (Figura 6c) não foi efetivo em representar todos os pivôs da área de estudo, o que pode ser notado comparando os retângulos vermelho e azul das duas últimas figuras. Isso pode ter ocorrido porque, ao buscar destacar as áreas de plantio utilizando os valores máximos para a banda do infravermelho próximo, conseqüentemente realça-se a resposta espectral na banda do vermelho. Fazendo isso, diminui-se a diferença entre a reflectância do infravermelho próximo e do vermelho (tendo em vista que ambos seriam os valores máximos observados). Ou seja, o numerador da equação do NDVI (Eq. (4)) iria diminuir e, com isso, os valores de NDVI não seriam tão altos quanto poderiam ser, dificultando a detecção dos pivôs por meio da transformada de Hough. Diante disso, pode-se afirmar que a ideia de utilizar a soma das bandas é uma alternativa melhor para uma análise multitemporal e para este tipo de análise.

A avaliação da eficácia de detecção da transformada de Hough aplicada sobre a imagem do NDVI (Figuras 7b), após conversão para uma escala de 8 bits, pode ser medida com a análise da completude.

4.2 Completude

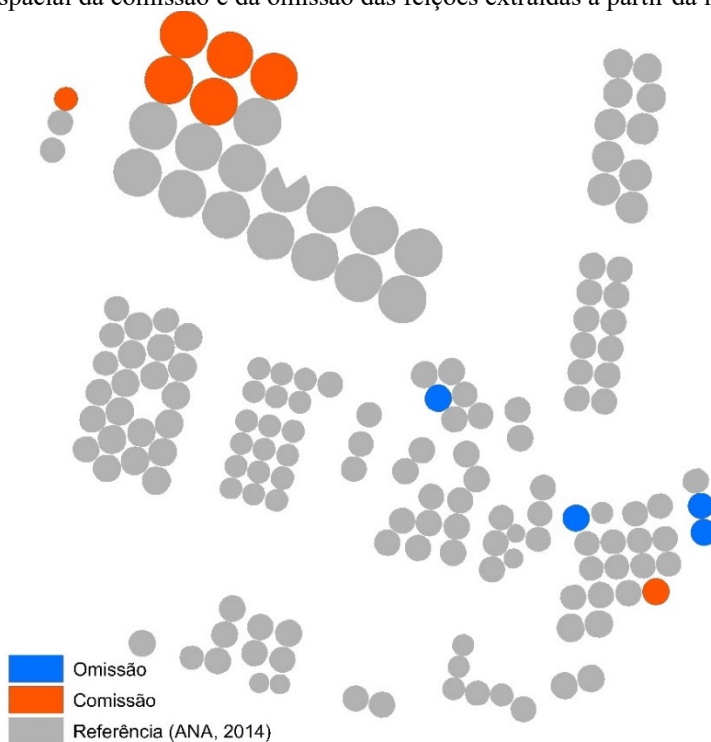
No processo de identificação de feições com a transformada de Hough, segundo a metodologia proposta por Ramos (2016), foram identificadas 156 feições como áreas cultivadas com auxílio de irrigação com pivô central. Para a mesma área de estudo, ANA (2014) apontam a presença de 153 pivôs. O resultado da avaliação da completude das feições extraídas a partir da imagem de soma das bandas pode ser encontrado na Tabela 2 e na Figura 8.

Tabela 2 - Completude para as feições extraídas a partir da imagem de soma das bandas.

Teste	Referência	Itens Omissão	Itens Comissão	Omissão (%)	Comissão (%)
156	153	4	7	2,61	4,58

Fonte: Os autores (2022).

Figura 8 - Distribuição espacial da comissão e da omissão das feições extraídas a partir da imagem de soma das bandas.



Fonte: Os autores (2022).

Esta avaliação também foi realizada sobre as feições extraídas com a transformada de Hough a partir das 9 imagens separadamente, como pode ser observado na Tabela 3 e na Figura 9.

Tabela 3 - Completude para as feições extraídas a partir das 9 imagens separadas.

Dia	Teste	Referência	Itens		Omissão	Comissão
			Omissão	Comissão	(%)	(%)
22/05/2014	130	153	28	5	18,30	3,27
07/06/2014	122	153	36	5	23,53	3,27
09/07/2014	124	153	36	7	23,53	4,58
25/07/2014	127	153	34	8	22,22	5,23
10/08/2014	133	153	28	8	18,30	5,23
26/08/2014	122	153	39	8	25,49	5,23
11/09/2014	112	153	47	6	30,72	3,92
27/09/2014	109	153	52	8	33,99	5,23
30/11/2014	121	153	37	5	24,18	3,27

Fonte: Os autores (2022).

Analisando estes resultados é evidente que a matemática de bandas realizada aumentou a eficiência da extração semiautomática das feições circulares pela transformada de Hough, diminuindo principalmente a incidência de itens omitidos, ou seja, aumentando o índice de detecção. Enquanto a omissão chegou a quase 34% para as feições extraídas das imagens separadamente, com a soma de bandas este índice foi para 2,61%.

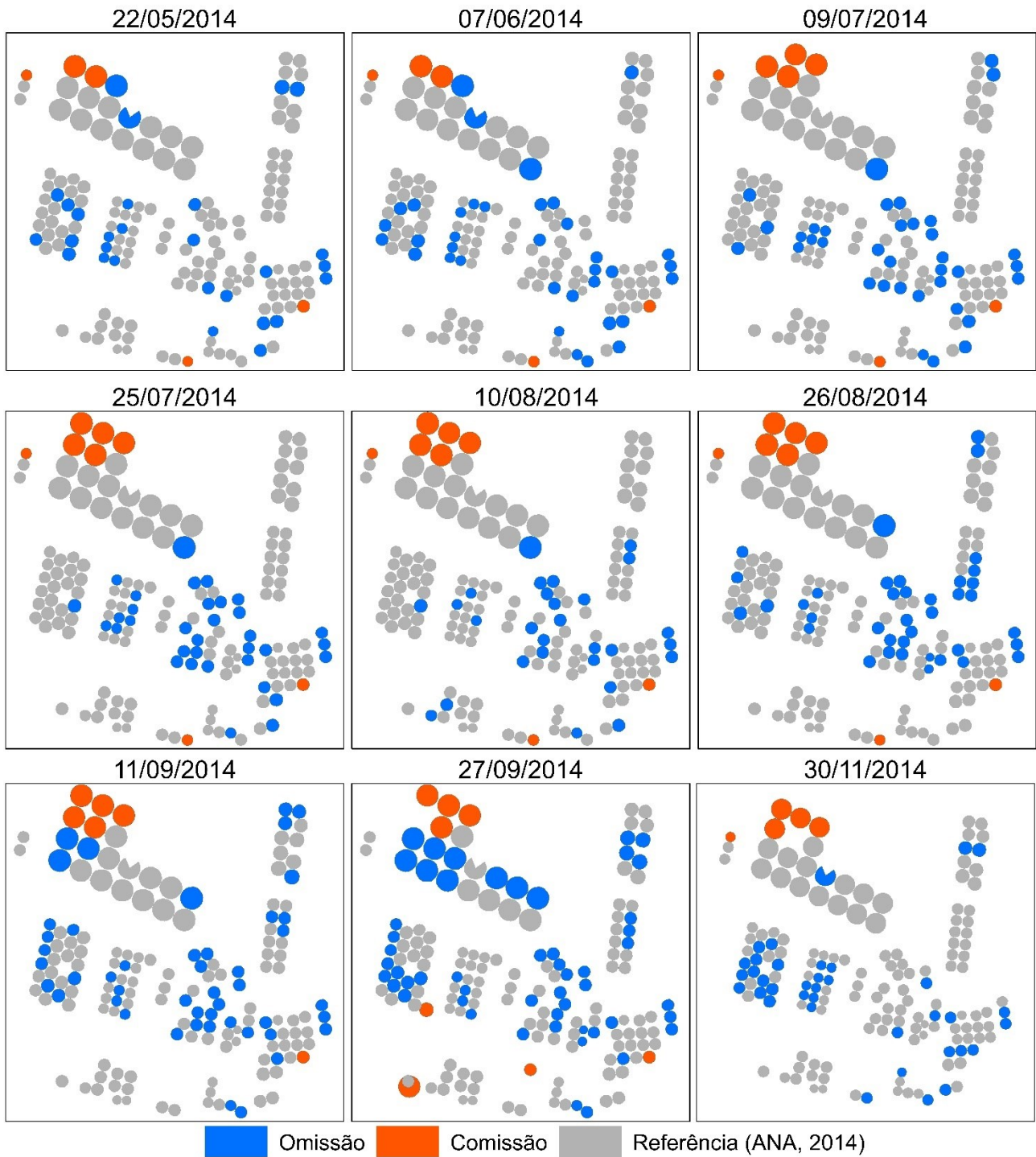
Outro fato que se pode observar a partir destes resultados, é que, aparentemente, não há correlação espacial entre os erros de comissão e omissão. Apesar dos erros de comissão ocorrerem predominantemente no noroeste da imagem, estes também aparecem em outras regiões da área de estudo. Também pode-se mencionar que, aparentemente, não há nenhuma relação temporal dos erros de comissão e/ou omissão.

Além disso, ainda com relação aos erros de comissão, os erros concentrados no noroeste da imagem continuaram presentes mesmo após a matemática de bandas. É provável que nesta região os erros presentes sejam provenientes de um erro da base de referência, dada por ANA (2014). Isso porque os pivôs desta área realmente existem, embora não apareçam nos dados de referência, que são do mesmo ano das imagens orbitais. Tal fato pode ser observado na Figura 10, que apresenta a resposta espectral da banda do infravermelho próximo para os dias 07/06/2014 (Figura 10a), 10/08/2014 (Figura 10b) e 30/11/2014 (Figura 10c). A área representada nesta figura corresponde ao retângulo preto da Figura 7b, em que o NDVI também apresenta os indícios de vegetação (presença dos pivôs).

Além disso, é interessante notar nesta imagem o rodízio de plantio, não só entre pivôs como também dentro de um único pivô. Isso destaca a importância de uma análise multitemporal para a extração de feições em imagens, como a realizada neste estudo. Técnicas como a soma de bandas proposta neste artigo, além de permitirem a extração de feições correspondente ao longo de um período de tempo, diminuindo o tempo de processamento e trabalho, também permitem a detecção de objetos que tem a sua presença em cena alterada com o tempo.

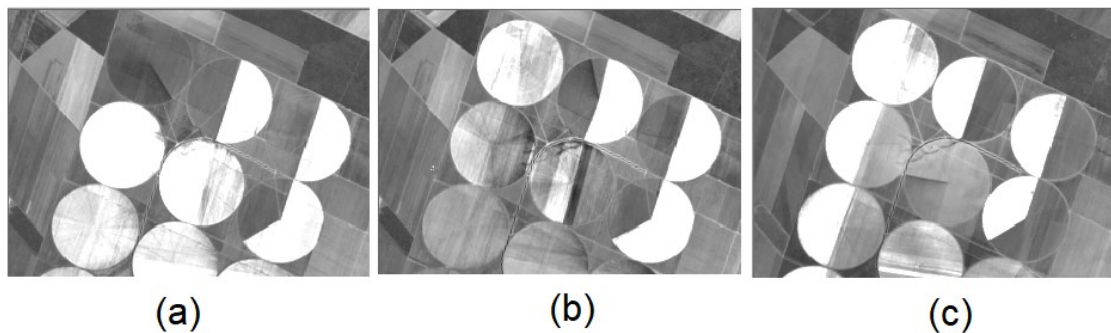
Para a avaliação da completude de conjuntos de dados geoespaciais vetoriais (CDGV), a ET-CQDG (DSG, 2016) define que a taxa de erro, tanto para omissão quanto para comissão, deve ser menor que 4% para que o produto seja considerado conforme. Sendo assim, para a omissão, o resultado que era não conforme para as feições extraídas a partir das 9 imagens separadas passou a ser conforme, segundo a ET-CQDG, quando a extração se deu pela imagem de soma das bandas.

Figura 9 - Distribuição espacial da comissão e da omissão das feições extraídas a partir das 9 imagens separadas.



Fonte: Os autores (2022).

Figura 10 - Pivôs presentes em campo e ausentes na base de referência, presentes na parte noroeste da Figura 9.



Fonte: Os autores (2022).

4.3 Acurácia Posicional

Para a análise da qualidade posicional, utilizou-se somente 149 feições lineares (limites dos pivôs) e 149 feições pontuais (pontos centrais dos pivôs). Isso ocorreu pelo fato de que na avaliação da acurácia posicional é necessário pares de feições homólogas, sendo sempre uma feição de referência e uma a ser testada. Os pontos descartados não possuíam homólogos aparentes, portanto, foram retirados da análise. O valor de 149 corresponde a 153 feições presentes no arquivo de referência, menos as 4 omissões (Tabela 2).

Para avaliação do produto, empregou-se a escala de 1:100.000, conforme uso recomendado por Teixeira (2016) e Queiroz e Santos (2016). A Tabela 4 apresenta os valores das tolerâncias PEC e EP para a escala adotada, segundo a ET-CQDG (DSG, 2016).

Tabela 4 - Valores para PEC e EP na escala de 1:100.000.

Classe	Escala: 1:100.000	
	PEC	EP
A	28m	17m
B	50m	30m
C	80m	50m
D	100m	60m

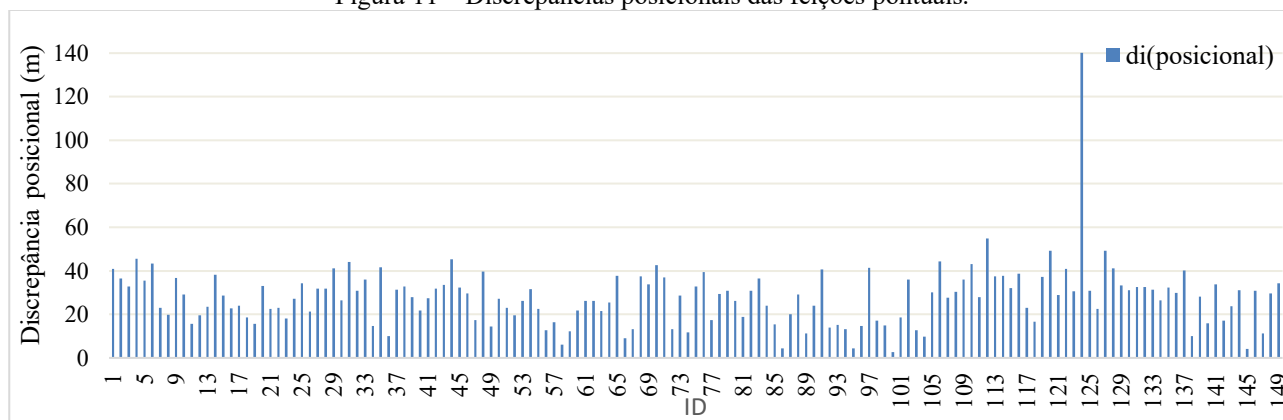
Fonte: Os autores (2022).

A análise de acurácia posicional foi realizada em duas partes, utilizando feições pontuais e lineares separadamente.

4.3.1 FEIÇÕES PONTUAIS

Inicialmente, obteve-se as discrepâncias posicionais, representadas no gráfico da Figura 11.

Figura 11 – Discrepâncias posicionais das feições pontuais.



Fonte: Os autores (2022).

Posteriormente, foram obtidas as estatísticas descritivas da amostra de discrepâncias (Tabela 5), o que foi realizado no *software* GeoPEC. Ressalta-se que o padrão do GeoPEC para detecção de *outliers* é utilizar o teste 3σ . Ou seja, se a discrepância de determinado ponto ultrapassar 3 vezes o valor do Erro Padrão, este ponto é classificado como *outlier*. Para a escala testada de 1:100.000 na classe B do Decreto n 89.817, este valor passa a ser calculado como $3*EP$, que equivale a um limiar de detecção de 90 metros. É possível notar a presença de 1 ponto dado como *outlier*.

Tabela 5 – Estatísticas obtidas através do GeoPEC.

Estatísticas	Este	Norte	Posicional
n° pontos	149	149	149
média (m)	19,72	-11,15	27,92
desvio-padrão (m)	10,63	18,81	14,07
RMS (m)	22,387	21,806	31,251
máximo (m)	60,27	126,59	140,21
mínimo (m)	-10,81	-48,68	2,58
n° outliers		1	

Fonte: Os autores (2022).

A presença de um ponto definido como um *outlier* é caracterizado pela sua relação com as demais observações que fazem parte da amostra. O seu distanciamento em relação a essas observações é fundamental para se fazer a sua caracterização. Estas observações são também designadas por observações "anormais", contaminantes ou estranhas. Antes de decidir o que deverá ser feito às observações *outliers* é conveniente ter conhecimento das causas que levam ao seu aparecimento. Na maioria dos casos, as causas de sua existência determinam a forma como devem ser tratados (FIGUEIRA, 1998).

Neste contexto, faz-se necessário a análise das discrepâncias das feições pontuais (Figura 11) bem como uma análise da ocorrência, para posteriormente tomar a decisão sobre eliminação ou permanência deste dado junto às observações.

Analisando as discrepâncias é possível notar que o ponto 124 possui uma discrepância distorcida das demais observações. Ainda assim é necessário analisar junto aos dados originais se este ponto se trata de um *outlier* ou é uma observação correta (Figura 12).

Figura 12 - Detecção de outlier nas feições pontuais (ponto vermelho).



Fonte: Os autores (2022).

Observou-se, neste caso que o ponto 124 em questão trata-se de um *outlier* bem como sua respectiva feição linear como pode ser visto através da Figura 12, o que aconteceu de fato foi que o pivô central do arquivo de referência encontra-se incompleto e, portanto, o ponto original encontra-se deslocado, e assim foi decidido retirá-lo das observações e análises, e foi realizada uma nova análise da acurácia posicional planimétrica das feições pontuais.

Após a retirada do *outlier* em questão, foi avaliada a normalidade ou não do conjunto de discrepâncias posicionais planimétricas. A partir do teste Jarque-Bera (Tabela 6) é possível notar que a amostra foi dada como normal, uma vez que o $B_{calc}(2,03)$ é menor que $B_{tab}(3,42)$. Portanto, não se rejeita H_0 , ou seja, a amostra segue distribuição normal. Logo, é possível aplicar o teste t de *Student*.

Tabela 6 – Teste de normalidade da amostra após a retirada do outlier.

Teste Jarque-Bera		
$B_{calc} E$	2,2826	Amostra Normal
$B_{calc} N$	3,2328	Amostra Normal
$B_{cal} 2D$	2,0329	Amostra Normal
B_{tab}		3,4204

Fonte: Os (2022).

Após realizar novamente a avaliação, os resultados da análise da acurácia posicional para as feições pontuais para a escala 1:100.000 agora apresentam classificação B, como pode ser visto através da Tabela 7. Entretanto, o resultado ainda continua não sendo acurado, devido a presença de tendência.

Tabela 7 – Resultado da avaliação das feições pontuais pelo GeoPEC segundo o Decreto-Lei 89.817/ET-CQDG, após a retirada do outlier.

t de Student	Média Direcional e Variância Circular	Classe	Acurado Posicionalmente?
Existe tendência	Existe tendência	B	Não

Fonte: Os autores (2022).

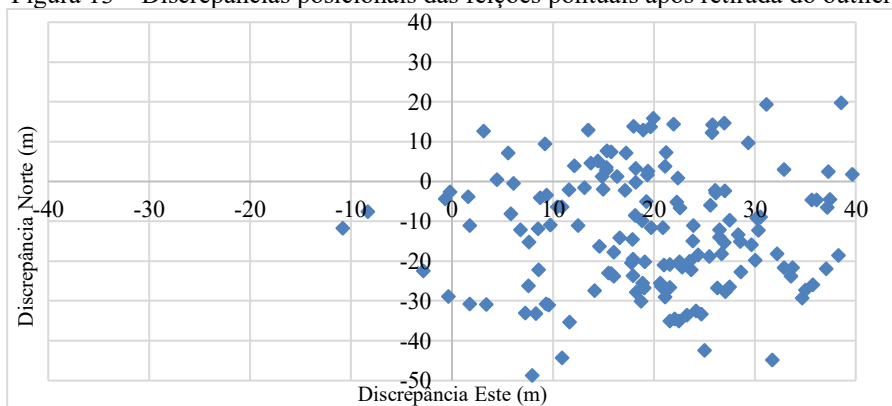
O resultado da aplicação do teste t de Student indica a tendenciosidade dos dados, dessa forma, analisa-se os valores de $|t_{calculado}|$ e $t_{tabelado}$, tanto para componente ESTE e NORTE. Neste caso como o valor do $|t_{calculado}|$ tanto para a componente ESTE como para a componente NORTE apresenta valores maiores que o $t_{tabelado}$, pelo teste t de Student, pode-se inferir que o produto apresenta tendências em suas coordenadas, apresentando efeito de erros sistemáticos.

Como o valor obtido para a Variância Circular foi de 0,18 (próximo de 0), pode-se dizer que os vetores estão em uma mesma direção, sendo tendencioso. Assim, conclui-se que a média direcional é significativa, ou seja, há tendências nos dados.

Provavelmente a presença de tendência se deve à imagem Landsat 8/OLI da qual se extraíram as feições por meio da transformada de Hough. Durante a avaliação da acurácia posicional de uma imagem Landsat 8, para o mesmo sensor, Queiroz e Santos (2016) relataram a presença de tendência na imagem.

Por fim, analisando o gráfico de dispersão das discrepâncias (Figura 13) é possível notar que todos os pontos apresentam discrepâncias dentro do aceitável para a escala testada.

Figura 13 – Discrepâncias posicionais das feições pontuais após retirada do outlier.



Fonte: Os autores (2022).

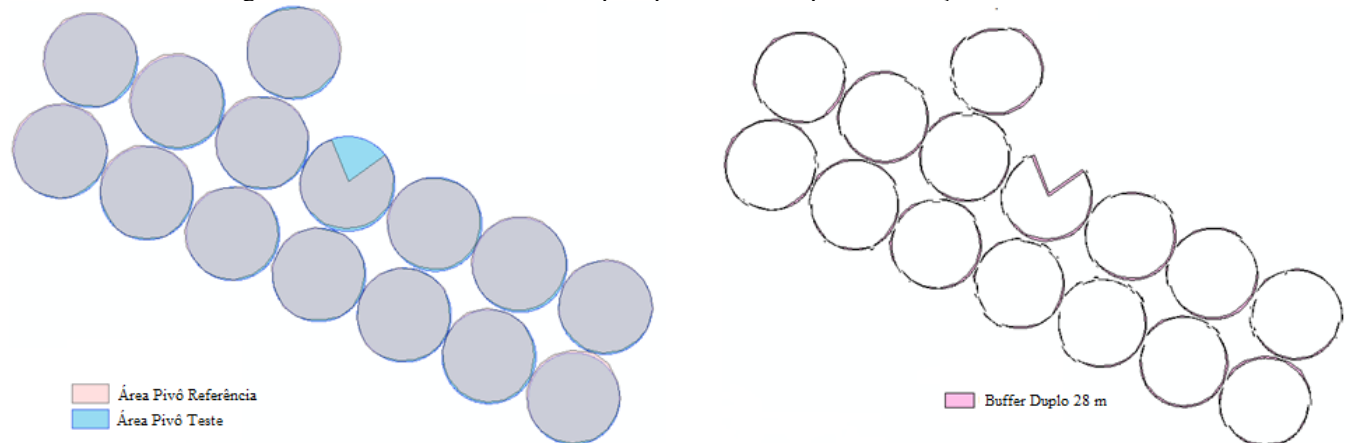
Portanto, a classificação final das feições pontuais para a escala 1:100.000 segundo a análise de acurácia posicional planimétrica pelo Decreto-Lei 89.817/ET-CQDG é classe B. Nota-se que o produto mesmo não sendo considerado acurado apresenta classificação. Isso significa que a magnitude do efeito sistemático identificado foi inferior à tolerância posicional para a escala de uso. Vale ressaltar que eliminando ou minimizando a tendência o produto pode até obter uma melhor classificação quanto às normas de qualidade posicional. Logo, estes dados ainda podem ser utilizados, dependendo da finalidade em que sejam empregados,

como, por exemplo, em trabalhos para estimativas de produção, gastos hídricos, etc.

4.3.2 FEIÇÕES LINEARES

A saber da classificação das feições pontuais, prosseguiu-se a análise da acurácia posicional das 149 feições lineares selecionadas como passíveis de serem avaliadas pelo método do Buffer duplo. Como explicado anteriormente, nesse método é aplicado um *buffer* na linha de teste; neste caso as feições lineares de cada região circular que representa as áreas de pivô central identificados por Ramos (2016), e um *buffer* na linha de referência; dado por ANA (2014). A Figura 14 apresenta a resultante do Buffer duplo aplicado em algumas feições lineares. Neste caso foi utilizado o valor de 28 metros que, segundo a Tabela 4, refere-se ao valor do PEC classe A para a escala 1:100.000.

Figura 14 - Resultado do Buffer Duplo aplicado a uma parte das feições lineares.



Fonte: Os autores (2022).

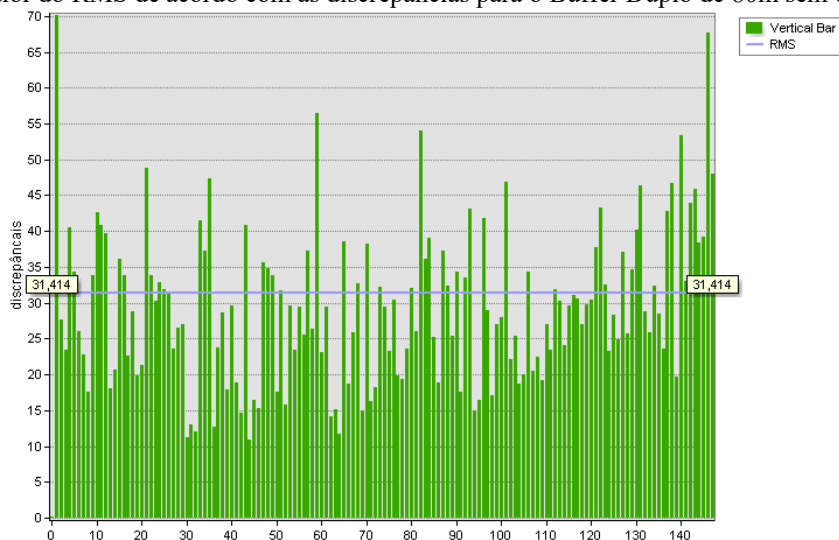
Analisando as discrepâncias posicionais resultantes, notou-se que esta largura de *buffer* falhou na premissa de que 90% das linhas testadas devem apresentar discrepância média (dm) menor ou igual ao valor do PEC (28m). Dessa forma, conclui-se que as feições devem ser testadas para uma classe inferior.

Nesta mesma linha de raciocínio, foi aplicado o método do Buffer Duplo novamente, porém com um valor de 50 metros que, de acordo com a Tabela 4, refere-se a classe B para a escala de 1:100.000. Considerando as discrepâncias resultantes, notou-se que, para esta largura de *buffer*, 7 discrepâncias apresentaram valores acima de 50 metros. Como são 149 feições, poderiam falhar até 14 valores, ou seja, as feições passaram na primeira premissa de que 90% das linhas testadas devem apresentar discrepância média (dm) menor ou igual ao valor do PEC (50m). Dessa forma, é necessário avaliar se o valor do RMS destas discrepâncias é menor ou igual ao valor do EP (30m) da classe avaliada. Verificou-se que o valor do RMS é maior que o valor limite para a escala testada, que neste caso corresponde ao valor do EP de 30 m. Nota-se que existem algumas discrepâncias muito diferentes das demais. Nesta primeira análise não foi retirado o *outlier* encontrado na análise das feições pontuais. Portanto, foi aplicado novamente o *buffer*, agora retirando a feição cuja discrepância foi tida como *outlier*.

Ao aplicar o método do Buffer Duplo nas feições lineares para o valor de PEC 50 metros, classe B, escala 1:100.00, nota-se que ao se retirar o dado *outlier* somente 6 valores ultrapassaram o valor do PEC. Agora, é necessário avaliar o valor do RMS dos dados sem a presença do valor tido como *outlier*. Da mesma forma que anteriormente, o valor do RMS foi maior que o valor permitido pelo EP de 30 metros. Portanto, o Buffer Duplo reprovou na segunda premissa.

Prosseguiu-se então testando o mesmo para classe C. De acordo com os valores das discrepâncias obtidas, tem-se que 100% das discrepâncias (Figura 15) foram menores que o valor do PEC para o *buffer* com largura de 80 metros. Já o RMS, representado pela linha em azul da Figura 15, possui valor de 31,4 m, que também é menor que o valor de EP 50 metros para a classe testada. Portanto, conclui-se então que, ao se tratar de feições lineares, o produto foi classificado como classe C, para a escala 1:100.000.

Figura 15 - Valor do RMS de acordo com as discrepâncias para o Buffer Duplo de 80m sem outlier.



Fonte: Os autores (2022).

5 CONCLUSÃO

Diante dos resultados deste trabalho, conclui-se que a matemática de bandas (soma) proposta aumenta a capacidade de detecção de figuras geométricas circulares (pivôs centrais) em imagens utilizando a transformada de Hough. Além disso, a soma das bandas espectrais permite uma análise multitemporal, o que possibilita a extração de feições correspondente a um longo período de tempo e é muito importante para detecções de feições que se alteram ao longo do tempo, como no caso de pivôs centrais que passam por um sistema de rodízio. A análise da completude apontou que, ao se utilizar a soma de bandas proposta, a omissão caiu de 34% para 2,61%. Entretanto, esta avaliação também indicou que erros de comissão não foram reduzidos de forma significativa. A análise da resposta espectral da área indicou que, provavelmente, estes erros foram inseridos pela base de referência dada por ANA (2014). Tal fato demonstra a importância dos dados tidos como referência e a necessidade de se estudar melhor a relação entre a matemática de bandas e os erros de comissão.

Com relação à avaliação da acurácia posicional planimétrica, as feições extraídas foram enquadradas na classe B (Decreto nº 89.817/ET-CQDG) segundo o método de comparação de pontos homólogos, enquanto o método do Buffer Duplo apresentou classificação C, ambos para a escala de teste 1:100.000 (oriunda da indicação de uso da imagem Landsat 8/OLI); tendo como referência os arquivos disponibilizados por ANA (2014). Este resultado foi condizente com o que foi observado por Queiroz e Santos (2016). O método tradicional por pontos ainda indicou a presença de tendência nos dados, provavelmente, oriunda da imagem Landsat 8 utilizada como base para a extração das feições com a transformada de Hough.

Ao se tratar de utilização dos dados cartográficos, um dos objetivos da avaliação de acurácia posicional é identificar algumas soluções para a minimização de possíveis inconsistências, além da indicação de qual a possível utilização deste dado espacial. Como a tendência é um efeito sistemático, é possível corrigir o produto avaliado. Isto poderia ser realizado aplicando translações no sentido contrário ao deslocamento médio apresentado pelas componentes Este e Norte. Por exemplo, deveria ser aplicado uma translação de -19,72m em Este e de 11,15m na componente Norte (sentido contrário), como apresentado na Tabela 5. Com isso, tanto a imagem quanto as feições extraídas a partir dela poderiam ser utilizadas e integradas em aplicações cartográficas com escala de 1/100.000 ou menores.

De modo geral, esta pesquisa mostrou que não basta somente se extrair as feições de interesse, seja de forma automática ou semiautomática, a partir de uma imagem. É necessário também avaliar qualidade posicional e a completude dos produtos extraídos e, também, é preciso buscar técnicas que possibilitem economia de tempo, atendam a situações específicas (como no caso de uma análise multitemporal) e melhorem o índice de detecção da função utilizada, como a soma de bandas proposta neste estudo.

Como proposta de trabalhos futuros, a técnica aqui apresentada poderia ser aplicada em outras áreas

de estudo, assim como a possibilidade de aplicação da avaliação da acurácia posicional planimétrica para feições de áreas.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao incentivo da Universidade Federal de Viçosa através principalmente do Departamento de Engenharia Civil na realização deste trabalho, além do apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior –Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Contribuição dos Autores

Os autores G. H. B. M. e R. S. R. realizaram as etapas de investigação, coletas de dados, metodologia, análise dos dados, redação e revisão do texto. A. de P. dos S. revisou todas as etapas, contribuiu com o texto e auxiliou o desenvolvimento da metodologia. M. M. C. e L. da S. B. contribuíram com as etapas de investigação, coletas de dados, metodologia, análise dos dados, a pesquisa bibliográfica, redação e revisão do texto.

Conflitos de Interesse

Os autores declaram que não há conflitos de interesse.

Referências

- AMINI, J. A. Proposed Model for Segmentation of Spot Images. In: **ISPRS Congress**, 20, Istanbul, Turkey. Geo-imagery bridging continents, Istanbul: ISPRS, p. 82-85. 2004.
- ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico). **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. 2. ed. Brasília: ANA, 2021.
- ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico). **Agricultura Irrigada por Pivôs Centrais no Brasil - ano 2013**. Disponível em: <<http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/>>. 2014. Acesso em: 15 jul. 2021.
- ARIZA-LÓPEZ, F. J. **Calidad en la Producción Cartográfica**. 1 ed. Madrid: RA-MA, 2002. 424p.
- ARIZA-LÓPEZ, F. J.; RODRÍGUEZ-AVI, J.; ALBA-FERNÁNDEZ, V. A Positional Quality Control Test Based on Proportions. In: **The Annual International Conference on Geographic Information Science**. Springer, Cham, p. 349-363, 2018.
- ARONOFF, S. **Geographics information systems: A management perspective**. WDL Publications. Ottawa – Canadá. 1995.
- BRASIL. **Decreto Nº 89.817 de 20 de junho de 1984**. Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Brasil, 1984.
- CHRISTOFIDIS, D. Água, irrigação e agropecuária sustentável. **Revista de Política Agrícola**, Ano XXII – Nº 1 – Jan./Fev./Mar. 2013.
- CUNHA, M. M.; SECATTO, G. Z.; GALINDO, J. R. F.; SANTOS, A. P. Proposta de um método de avaliação da acurácia posicional baseado na modificação do Buffer Simples. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 71, n. 4, p. 1193-1218, 2019.
- DSG - DIRETORIA DO SERVIÇO GEOGRÁFICO. **Estruturação Técnica de Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV)**. Brasília, 2011.
- DSG - DIRETORIA DO SERVIÇO GEOGRÁFICO. **Especificação Técnica Para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG)**. Brasília, 2016.
- DUDA, R.; HART, P. **Use of the Hough transformation to detect lines and curves in pictures**. Communications of the ACM, v. 15, p.1, p. 11-15, 1972.
- FIGUEIRA, M. (1998). **Identificação de Outliers**. Millenium, 12.
- GAMBA, S. R. H.; SANO, E. E. Metodologia para avaliar o padrão de exatidão cartográfico (PEC) em

- ortofotomosaico obtido através de aeronave pilotada remotamente (RPA). In: Congresso Brasileiro de Cartografia, XXVII e Exposicarta, XXVI, Rio de Janeiro-RJ, 2017. **Anais...** Rio de Janeiro, 2017. p. 507-511.
- GOODCHILD, M. F.; HUNTER, G. J. A simple positional accuracy measure for linear features, **International Journal of Geographical Information Science**, 11:3, 299-306, 1997, DOI: 10.1080/136588197242419.
- GOODCHILD, M. F.; GOPAL, S. **The accuracy of spatial databases**. CRC Press, 1989.
- HOUGH, P. V. C. Method and means for recognizing complex patterns. U. S. Patent 3.069.654. NSA-17-008572. United States: N. p., 1962.
- ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 19157: Geographic Information—Data Quality**. Geneva, Switzerland, 170 p, 2013.
- MEDEIROS, N. G. **Orientação exterior de imagens orbitais usando modelos rigorosos com feições retas**. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2007.
- MERCHANT, D. C. **Spacial Accuracy for Large Scale Line Maps**. In: Technical Congress of Surveying and Mapping, p. 222–31. 1982.
- MOZAS-CALVACHE, A. T.; ARIZA-LÓPEZ, F. J. New method for positional quality control in cartography based on lines. A comparative study of methodologies. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 25, n. 10, p. 1681-1695. 2011. DOI:10.1080/13658816.2010.545063.
- MOZAS-CALVACHE, A.T.; ARIZA-LÓPEZ, F.J.; **Detection of systematic displacements in spatial database using linear elements**. *Cartography and Geographic Information Science*, 44/4, p.309-322. 2014.
- NERO, M. A.; CINTRA, J. P.; FERREIRA, G. F.; PEREIRA, T. A. J.; FARIA, T. S. A computational tool to evaluate the sample size in map positional accuracy. **Boletim de Ciências Geodésicas [online]**, vol.23, n.3, pp.445-460, 2017. <https://doi.org/10.1590/s1982-21702017000300030>.
- PEREIRA, A. S. **Processamento de imagens médicas utilizando a Transformada de Hough**. Tese (Doutorado em Ciência Física Aplicada). Universidade de São Paulo. 1995.
- PEREIRA, T. A. J.; NERO, M. A. Análise de Normas de Controle de Qualidade Posicional em Cartografia ao Redor do Mundo: Exemplos Atuais de Alguns Países. In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, IV, Recife - PE, 06- 09 de maio de 2012. **Anais...** Recife, 2012. p. 001 – 009.
- PISTORI, H.; PISTORI, P.; COSTA, E. R. Hough-circles: um módulo de detecção de circunferências para o ImageJ. **6º Workshop Software Livre 2005 - WSL2005**, Porto Alegre, junho 1-4, 2005.
- QUEIROZ, M. R. A.; SANTOS, A. P. **Avaliação da acurácia posicional de imagens LANDSAT 8 / SENSOR OLI na região de Alvinópolis-MG**. In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, VI, Recife, Pernambuco, 2016. **Anais...** Recife, Pernambuco, 2016.
- RAMOS, R. S. **Uso do NDVI na Análise Fenológica de Áreas Irrigadas Identificadas pela Transformada De Hough**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Viçosa, Brasil: Universidade Federal de Viçosa, 2016.
- ROSENDO, J. S. **Índices de vegetação e monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na Bacia do Rio Araguari – MG – utilizando dados do sensor MODIS**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia. 2005 - Programa de Pós-Graduação em Geografia.
- SANTOS, A. P. **Avaliação da Acurácia Posicional em Dados Espaciais com o uso de Estatística Espacial**. Dissertação (Mestrado). Viçosa, Brasil: Universidade Federal de Viçosa, 2010.
- SANTOS, A. P., MEDEIROS, N. G., SANTOS, G. R., RODRIGUES, D. D. Controle de qualidade posicional em dados espaciais utilizando feições lineares. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 21, n. 2, p. 233-250, 2015.
- SANTOS, A. P. **Controle de qualidade cartográfica: Metodologias para avaliação da acurácia posicional em dados espaciais**. Tese (Doutorado). Viçosa, Brasil: Universidade Federal de Viçosa, 2015.

SANTOS, A. P.; RODRIGUES, D. D.; SANTOS, N. T.; GRIPP JUNIOR, J. Avaliação Da Acurácia Posicional Em Dados Espaciais Utilizando Técnicas De Estatística Espacial: Proposta De Método E Exemplo Utilizando A Norma Brasileira. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 22, n. 4, p. 630-650, 2016.

SHI, W. **Principles of Modeling Uncertainties in Spatial Data and Spatial Analyses**. CRC Press. 2010.

TEIXEIRA, A. M. A. **Método de atualização nas escalas 1:100000 e 1:250000 do mapeamento sistemático a partir de imagem de sensoriamento remoto: reservatório de Itaparica**. Dissertação (Mestrado). Recife, UFPE. 2016.

TVEITE, H; LANGAAS, S. An accuracy assessment method for geographical line data sets based on buffering, **International Journal of Geographical Information Science**, v. 13, n. 1, p. 27-47, 1999, DOI: 10.1080/136588199241445.

Biografia do autor principal



Gisele Horta Barroso Miranda nascida em Guanhães, Minas Gerais. Engenheira de Agrimensura e Cartografia pela Universidade Federal de Viçosa (2015), Mestrado (2017) e Doutorado em andamento (2017) em Engenharia Civil / Informações Espaciais pela Universidade Federal de Viçosa.



Esta obra está licenciada com uma Licença [Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.