

ALGORITMO PARA DETECÇÃO AUTOMÁTICA DE PIVÔS CENTRAIS

**Glaucio L. Araujo¹, Everardo C. Mantovani², Alixandre Sanquetta L. Luppi³,
Andréia Hollunder Klippel⁴.**

¹ Engenheiro Agrônomo, Mestre em Engenharia Agrícola, Doutorando em Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa, Coordenador do curso de Engenharia de Produção na Faculdade de Ciências Gerenciais de Manhuaçu.

² Engenheiro Agrícola, Mestre em Engenharia Agrícola, Doutor em Agronomia Manejo da Irrigação pela Universidad de Córdoba-Espanha, Professor Titular do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa.

³ Engenheiro Agrônomo, Mestre em Meteorologia Agrícola, Doutorando em Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa.

⁴ Engenheira Agrônoma, Mestranda em Meteorologia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa.

RESUMO

A crescente demanda por alimentos tornou o uso da irrigação imprescindível em todo o mundo, não somente restrita a regiões semi-áridas, a exemplo do Nordeste brasileiro; mas estendendo-se para regiões semi-úmidas, visando um aumento da produtividade ou da possibilidade de uma segunda safra. A área ocupada pela agricultura irrigada no Brasil ocupa apenas 18% da área cultivada e responde por aproximadamente 42% da produção total de alimentos. A irrigação por pivô central se expandiu acentuadamente no Brasil nos últimos anos, mais notadamente nos estados de São Paulo, Goiás, Minas Gerais e Bahia. As imagens de satélite de média resolução são bastante utilizadas para a identificação e a quantificação de áreas irrigadas por pivô central. Esse sistema pode ser facilmente identificado através de análises visuais devido a sua geometria predominantemente circular. A detecção de áreas irrigadas com pivôs centrais pode servir como indicativo do nível de tecnologia da agricultura de determinada região ou também no planejamento dos recursos hídricos disponíveis nas bacias hidrográficas. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi elaborar e calibrar um algoritmo para detecção de pivôs centrais, utilizando imagens do satélite Landsat-8. A calibração com o nível de sensibilidade 0,85 e gradiente para bordas igual a 0,0 obteve resultado satisfatório para a detecção de pivôs centrais. O algoritmo proposto apresentou em média 60,64% de exatidão global, 39,36% de Erro A e 14,44% de Erro B.

Palavras-chave: Irrigação; Quantificação; Transformada Circular de Hough.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Santos *et al.* (2005), a crescente demanda por alimentos tornou o uso da irrigação imprescindível em todo o mundo, não somente restrita a regiões semi-áridas, a exemplo do Nordeste brasileiro, mas estendendo-se para regiões semi-úmidas, visando um

aumento da produtividade ou da possibilidade de uma segunda safra.

Segundo Christofidis (2005), a área ocupada pela agricultura irrigada no Brasil ocupa apenas 18% da área cultivada e responde por aproximadamente 42% da produção total de alimentos. O país possui a menor relação área irrigada/área irrigável, cerca de 10%, segundo a Conjuntura dos Recursos Hídricos do

Brasil 2009, disponibilizada pela Agência Nacional de Água (ANA), que também mostra que esse setor é responsável por uma parcela de aproximadamente 47% de vazão de retirada de água e 69% da vazão de consumo. Por outro lado, a agricultura irrigada é apontada como a principal fonte de captação de água disponível nos mananciais, representando mais de 70% da água consumida pela humanidade (SETTI, 2001).

Segundo Sandri & Cortez (2009), a irrigação por pivô central se expandiu acentuadamente no Brasil nos últimos anos, mais notadamente nos estados de São Paulo, Goiás, Minas Gerais e Bahia, motivados pelas facilidades operacionais e controle da lâmina de irrigação, com custos competitivos pelo menor dispêndio de mão-de-obra e pela possibilidade de obter alta eficiência de aplicação e distribuição de água.

De acordo com Queiroz *et al.* (2008), o pivô central é o sistema mais automatizado que existe no mercado, podendo essa automação variar desde um simples acessório a controladores que permitem o seu acionamento à distância por meio de ondas de rádio ou telefone celular.

O sistema de irrigação por pivô central tem proporcionado um significativo avanço da agricultura irrigada no Brasil. Com o desenvolvimento tecnológico industrial, houve, na década de 80 e 90, maior crescimento deste sistema de irrigação, com vistas ao uso mais eficiente da água e da energia (TURCO *et al.*, 2009; SARAIVA e SOUZA, 2012). Segundo King *et al.* (2009), grandes avanços nesses sistemas foram incorporados, a exemplo da possibilidade de aplicação independente de água e de defensivos.

As imagens de satélite de média resolução são bastante utilizadas para a identificação e a quantificação de áreas irrigadas por pivô central. Esse sistema pode ser facilmente identificado através de análises visuais devido a sua geometria predominantemente circular.

Sano *et al.* (2005) utilizaram técnicas de interpretação visual e digitalização manual de figuras circulares

para estimar a área de pivôs centrais no Distrito Federal em imagens LANDSAT, anos de 1992 e de 2002 e concluíram que o número de sistemas instalados passou de 55 para 104. Atualmente, o uso das imagens do satélite Landsat 5 tem se limitado pela baixa qualidade das imagens; porém, o Landsat 8 apresenta bandas com resoluções espaciais de 30 metros, sendo a banda pancromática com resolução de 15 metros; facilitando, assim, o uso de técnicas para identificação de formas geométricas em imagens digitais.

De um modo geral, as tendências atuais no processamento de informações de sensoriamento remoto convergem para um novo tipo de processamento de imagens, que, ao invés de classificar os pixels individualmente quanto às suas características espectrais, consideram a delimitação de objetos homogêneos (segmentação) como a base para o processamento posterior. Esses procedimentos abrem perspectivas para estabelecimento de novas metodologias para a análise dos dados obtidos, principalmente as que apresentam formas bem definidas, como as irrigadas por pivô central.

A detecção de áreas irrigadas com pivôs centrais pode servir como indicativo do nível de tecnologia da agricultura de determinada região ou também no planejamento dos recursos hídricos disponíveis nas bacias hidrográficas.

Porém, essa detecção é feita por meio de interpretação visual de imagens, o que gera um alto custo e é um processo extremamente demorado. Dessa forma, o desenvolvimento de métodos para a extração automática de pivôs centrais a partir do processamento digital de imagens objetiva reduzir a intervenção humana buscando maior rapidez, precisão e menor custo.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi elaborar e calibrar um algoritmo para detecção de pivôs centrais, utilizando imagens do satélite Landsat-8.

2. METODOLOGIA

A área de estudo está situada na região do planalto central e é conhecida

como Altiplanos de Brasília, compreendendo 4 áreas (Locais 1, 2, 3 e 4): o Local 1 e Local 2 abrangem os municípios de Cristalina-GO e Luziânia-GO; o Local 3 abrange os municípios de Cristalina-GO, Brasília-DF e Cabeceira Grande-MG e o Local 4 abrange o município de Unaí-MG. As áreas estão localizadas entre os paralelos de 15°50' a

16°40' de latitude Sul e os meridianos 47°50' a 46°00 longitude Oeste de Greenwich, integrando os Estados de Goiás, Distrito Federal e Minas Gerais (Figura 1). A região dos Altiplanos de Brasília possui grande concentração de pivôs centrais, apresentando boa aplicabilidade para o presente estudo.

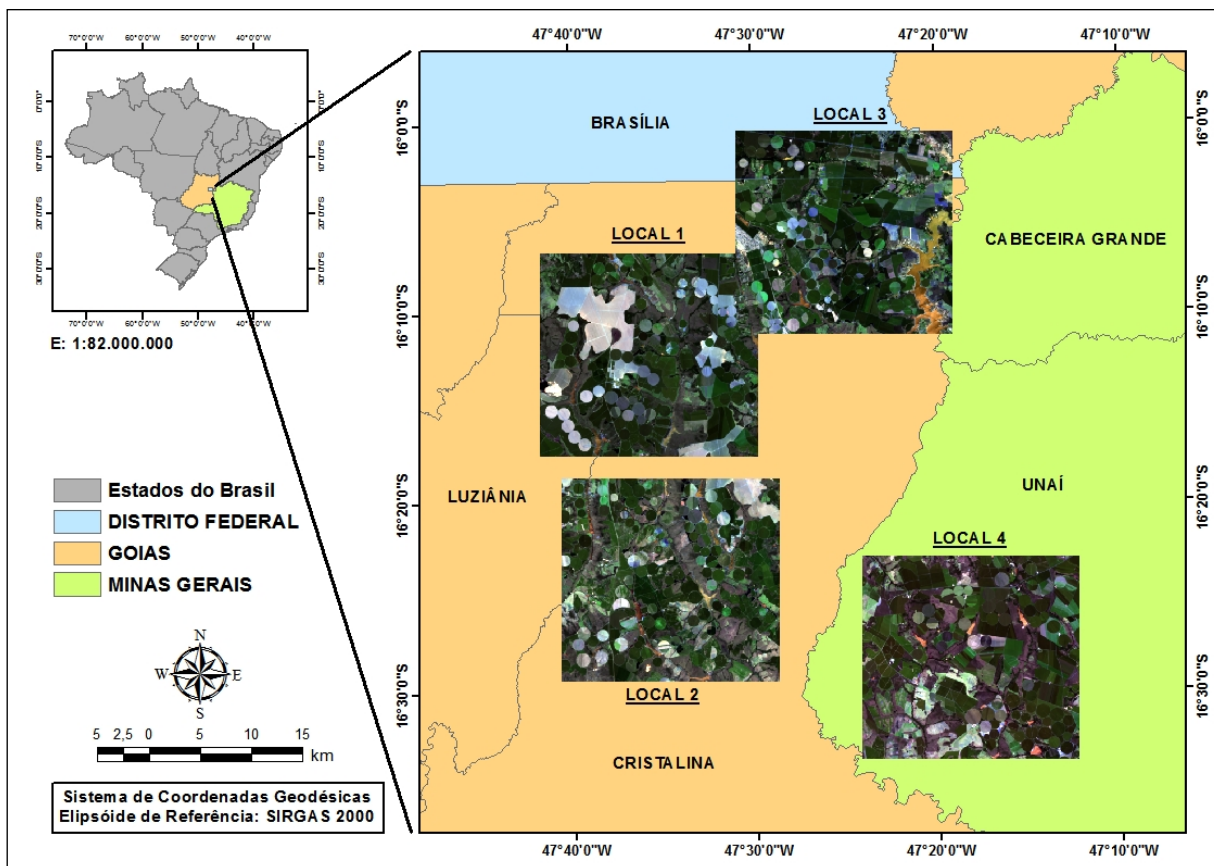


Figura 1. Localização da área de estudo.

Neste trabalho, foram utilizadas imagens do satélite Landsat 8, obtidas no dia 05 de janeiro de 2014, cedidas pelo U. S. Geological Survey (USGS). O algoritmo foi elaborado no *software* MATLAB versão r2014a, sendo que este se baseia nos princípios da Transformada Circular de Hough (TCH). A TCH foi utilizada para encontrar padrões circulares nas imagens, sendo que, na metodologia da TCH, é criado um espaço de parâmetros, que é utilizado para a identificação dos centros dos círculos, esse espaço de parâmetros é comumente chamado de matriz de acumulação.

O algoritmo proposto utiliza a função 'imfindcircles' já implementada no *software* MATLAB. A função 'imfindcircles' retorna as coordenadas dos centros dos círculos juntamente com seus raios, essa função foi utilizada para encontrar círculos claros e escuros nas imagens, utilizando a opção 'ObjectPolarity' configurada em 'Bright' e 'Dark'.

A função também utiliza um fator de sensibilidade para a matriz de acumulação da TCH (valor entre 0 e 1) e um valor de gradiente para a detecção de bordas (valor entre 0 e 1). À medida que o valor de sensibilidade se eleva, mais círculos são detectados, sendo o valor padrão

para sensibilidade igual a 0,85. Quanto menor o valor para o gradiente de bordas, mais círculos são detectados, sendo que o valor padrão é definido com base na função 'graythresh', a qual utiliza o método de Otsu (1979).

Inicialmente, foi realizada uma primeira etapa de seleção com o objetivo de selecionar o melhor tipo de imagem para a detecção automática de pivôs. Nessa primeira seleção, foram utilizados três tipos de imagens. O primeiro tipo de imagem se trata da resultante de uma análise de componentes principais (CP) envolvendo as bandas 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8 (azul, verde, vermelho, infravermelho próximo, infravermelho de ondas curtas 1, infravermelho de ondas curtas 2 e a banda pancromática) da imagem Landsat 8. O segundo tipo de imagem foi a banda 5 da imagem Landsat 8, a qual corresponde a banda do infravermelho próximo (NIR). O terceiro tipo de imagem foi a banda 8, a qual corresponde a banda pancromática.

Após selecionado o melhor tipo de imagem para a detecção de pivôs, foi realizada uma calibração para determinar os melhores níveis de sensibilidade e gradiente para bordas. Foram adotados três valores para sensibilidade, sendo esses valores iguais a 0,85 (padrão), 0,87 e 0,92; e três valores para gradiente de bordas: sendo, o primeiro valor, um valor padrão determinado pela função 'graythresh', já o segundo valor, igual a 0,1 e, o terceiro, igual a 0,0.

A análise para a seleção da melhor combinação dos níveis de sensibilidade e gradiente para bordas foi feita com base nos índices de exatidão global (EG), Erro A e Erro B. A exatidão global (Equação 1) trata-se da porcentagem de acertos do algoritmo em relação à detecção manual, o Erro A (Equação 2), trata-se da quantidade de pivôs que não foram detectados em relação a detecção manual e o Erro B (Equação 3) trata-se da

quantidade de pivôs que foram detectados de forma errada em relação a detecção automática.

$$EG = \frac{AC}{DM} * 100 \quad (1)$$

$$\text{Erro A} = \frac{ND}{DM} * 100 \quad (2)$$

$$\text{Erro B} = \frac{DE}{DA} * 100 \quad (3)$$

Onde:

EG: é a exatidão global (%);

DM: é a quantidade de pivôs detectados manualmente;

DA: é a quantidade de pivôs detectados pelo algoritmo de forma automática;

AC: é a quantidade de pivôs detectados de forma correta pelo algoritmo;

ND: é a quantidade de pivôs não detectados pelo algoritmo;

DE: é a quantidade de pivôs detectados de forma errada pelo algoritmo.

A melhor combinação foi a que apresentou a maior exatidão global e os menores valores de erro. Após determinada qual a melhor combinação do nível de sensibilidade e gradiente de bordas, esses valores foram aplicados a uma nova imagem (local 4), no intuito de testar a calibração realizada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos valores das contagens manuais e automáticas das imagens na Figura 2, a imagem de componentes principais (CP) apresentou, em média, maior valor de exatidão global em relação as imagens NIR e PAN, sendo então selecionada para os testes de diferentes níveis de gradientes e sensibilidades (Tabela 1 e 2).

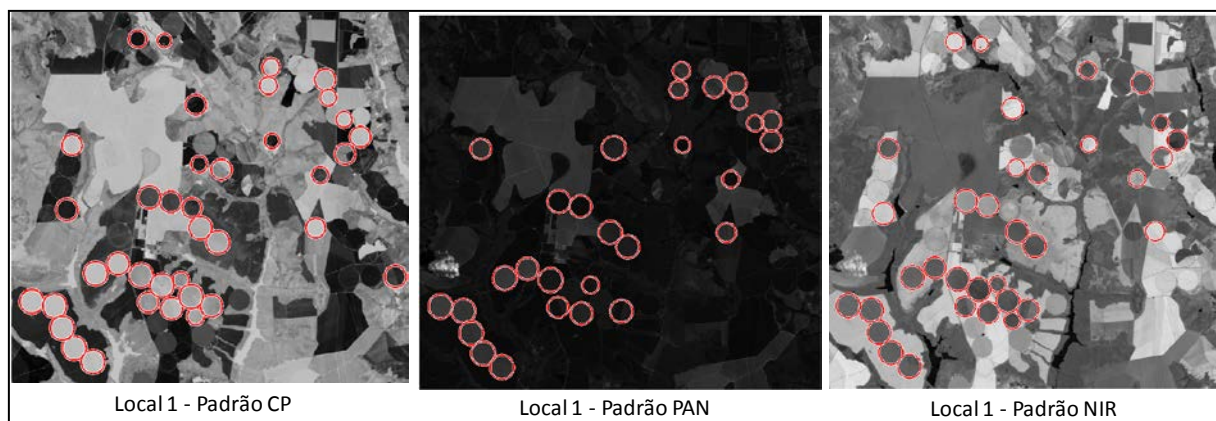


Figura 2. Imagens da primeira etapa de seleção.

Tabela 1. Avaliação da acurácia entre as imagens CP, NIR e PAN.

		DM	DA	AC	DE	ND	EG %	Erro A %	Erro B %
Local 1	CP	87	38	38	0	49	43,68	56,32	0,00
	NIR	87	34	34	0	53	39,08	60,92	0,00
	PAN	87	29	29	0	58	33,33	66,67	0,00
Local 2	CP	122	34	34	0	88	27,87	72,13	0,00
	NIR	122	34	34	1	88	27,87	72,13	2,94
	PAN	122	33	33	0	89	27,05	72,95	0,00
Local 3	CP	92	24	24	0	68	26,09	73,91	0,00
	NIR	92	24	24	0	68	26,09	73,91	0,00
	PAN	92	35	34	0	57	36,96	63,04	0,00

Tabela 2. Valores médios da Exatidão global, Erro A e Erro B para as imagens CP, NIR e PAN.

	EG %	Erro A %	Erro B %
CP	32,54	67,46	0,00
NIR	31,01	68,99	0,98
PAN	32,45	67,55	0,00

A imagem de componentes principais apresentou o maior valor de exatidão global média, sendo igual a 32,54%, contra 31,01% e 32,45% das imagens NIR e PAN, consequentemente, menor Erro A, 67,46% contra 68,99% e 67,55% das imagens NIR e PAN respectivamente.

Os resultados da quantificação dos acertos e erros para as 9 combinações de diferentes níveis de gradientes de borda e de sensibilidades aplicados a imagem CP em cada local, seguem conforme a Tabela 3.

Nota-se que ocorre um aumento da EG, com o aumento nos valores da sensibilidade e diminuição nos valores do

gradiente, porém juntamente, ocorre a elevação nos valores dos erros, ocasionando a superestimação da quantidade de pivôs de irrigação.

Nos três locais, há combinação do nível de sensibilidade 0,92 e gradiente 0, apresentaram 100% de EG, ou seja, o algoritmo foi capaz de detectar todos os pivôs centrais nesses locais; porém, ao analisar o DE, observa-se que ocorre uma superestimação da quantidade de pivôs centrais, tal fato é melhor exemplificado no Local 3 em que a quantidade de pivôs centrais identificados manualmente é de 92 e o algoritmo detecta 781, sendo desses, 689 detectados de forma errada (Figura 3).

Para avaliação do melhor nível de gradiente e de sensibilidade, foram calculadas as medias de EG, Erro A e Erro B, para cada nível de sensibilidades e de gradientes dos Locais 1, 2 e 3 (Tabela 4).

Tabela 3. Quantificação dos acertos e erros para as nove combinações de diferentes níveis de gradientes de borda e sensibilidades aplicados as imagens CP.

	Sens.	Grad.	DM	DA	AC	DE	ND	EG %	Erro A %	Erro B %
Local 1	0,85	Pad.	87	38	38	0	49	43,68	56,32	0,00
	0,85	0,1	87	48	48	0	39	55,17	44,83	0,00
	0,85	0,0	87	68	58	10	29	66,67	33,33	14,71
	0,87	Pad.	87	43	43	0	44	49,43	50,57	0,00
	0,87	0,1	87	56	54	2	33	62,07	37,93	3,57
	0,87	0,0	87	95	66	29	21	75,86	24,14	30,53
	0,92	Pad.	87	79	60	19	27	68,97	31,03	24,05
	0,92	0,1	87	164	76	88	11	87,36	12,64	53,66
	0,92	0,0	87	669	87	582	0	100,00	0,00	87,00
Local 2	0,85	Pad.	122	34	33	0	89	27,05	72,95	0,00
	0,85	0,1	122	46	44	2	78	36,07	63,93	4,35
	0,85	0,0	122	76	69	7	53	56,56	43,44	9,21
	0,87	Pad.	122	42	41	1	81	33,61	66,39	2,38
	0,87	0,1	122	66	61	5	61	50,00	50,00	7,58
	0,87	0,0	122	125	85	40	37	69,67	30,33	32,00
	0,92	Pad.	122	124	80	44	42	65,57	34,43	35,48
	0,92	0,1	122	195	100	95	22	81,97	18,03	48,72
	0,92	0,0	122	783	122	661	0	100,00	0,00	84,42
Local 3	0,85	Pad.	92	24	22	0	70	23,91	76,09	0,00
	0,85	0,1	92	39	35	4	57	38,04	61,96	10,26
	0,85	0	92	67	54	13	38	58,70	41,30	19,40
	0,87	Pad.	92	31	27	4	65	29,35	70,65	12,90
	0,87	0,1	92	51	43	8	49	46,74	53,26	15,69
	0,87	0,0	92	102	64	38	28	69,57	30,43	37,25
	0,92	Pad.	92	92	55	37	37	59,78	40,22	40,22
	0,92	0,1	92	208	77	131	15	83,70	16,30	62,98
	0,92	0,0	92	781	92	689	0	100,00	0,00	88,22

Sens.: Níveis de sensibilidade

Grad.: Gradientes de borda

Tabela 4. Exatidão global média entre os níveis de gradientes e sensibilidades.

Nº	Sens.	Grad.	Valores Médios		
			EG %	Erro A %	Erro B %
1	0,85	Pad.	31,55	68,45	0,00
2	0,85	0,1	43,09	56,91	4,87
3	0,85	0,0	60,64	39,36	14,44
4	0,87	Pad.	37,46	62,54	5,09
5	0,87	0,1	52,94	47,06	8,94
6	0,87	0,0	71,70	28,30	33,26
7	0,92	Pad.	64,77	35,23	33,25
8	0,92	0,1	84,34	15,66	55,12
9	0,92	0,0	100,00	0,00	86,54

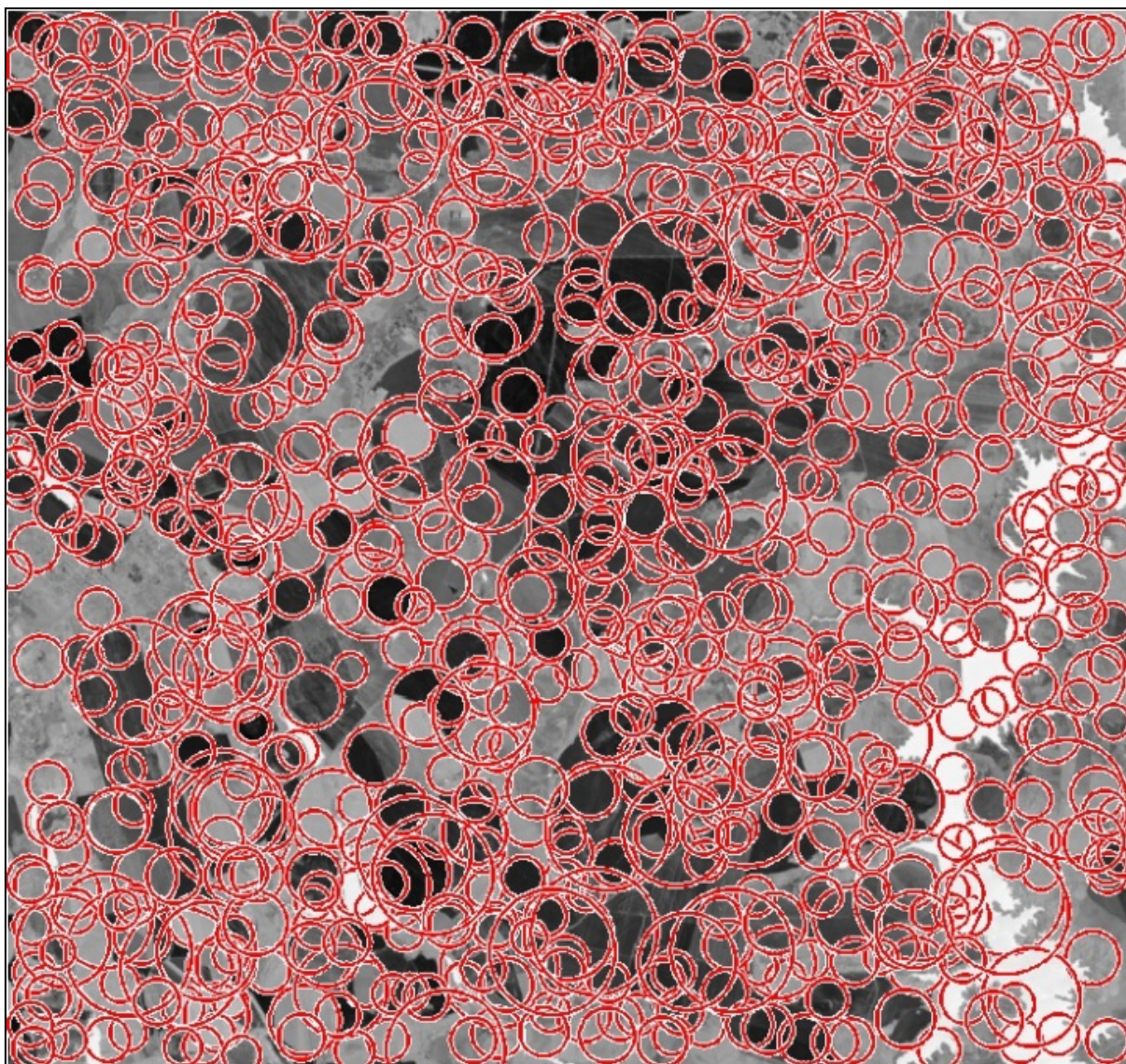


Figura 3. Identificação automática com sensibilidade 0,92 e gradiente 0 do Local 3.

O melhor nível de sensibilidade e gradiente deve apresentar alto valor de EG e baixo valor de erro B; porém, quanto maior o EG, maior o erro B, logo o melhor nível é o que detecta uma quantidade razoável de pivôs centrais com baixos valores de superestimação. O valor de sensibilidade 0,85 e gradiente 0 (Nº 3) foi selecionado como o melhor nível para detecção de pivôs centrais, por apresentar melhores resultados de EG (60,64%) comparado ao erro B (14,44%), sendo que a amplitude (diferença entre eles) é a maior, mostrando assim que esse nível possui boa precisão comparado ao erro (Figura 4).

O Local 4 foi utilizado para o teste do algoritmo com o nível selecionado de

sensibilidade 0,85 e gradiente 0 para avaliação dos seus resultados.

Como esperado, o algoritmo classificou corretamente 59,04% (EG) dos pivôs centrais, não classificou 40,96% (Erro A) e superestimou 15,52% (Erro B) do total de pivôs encontrados automaticamente (Figura 5).

De modo geral, o algoritmo apresenta erros na detecção de pivôs centrais; no entanto, ele apresenta uma boa estimativa do número de pivôs de irrigação de uma região em tempo hábil e baixo poder de processamento, dada a complexidade da realização desse processo de forma manual, essa se torna uma alternativa.

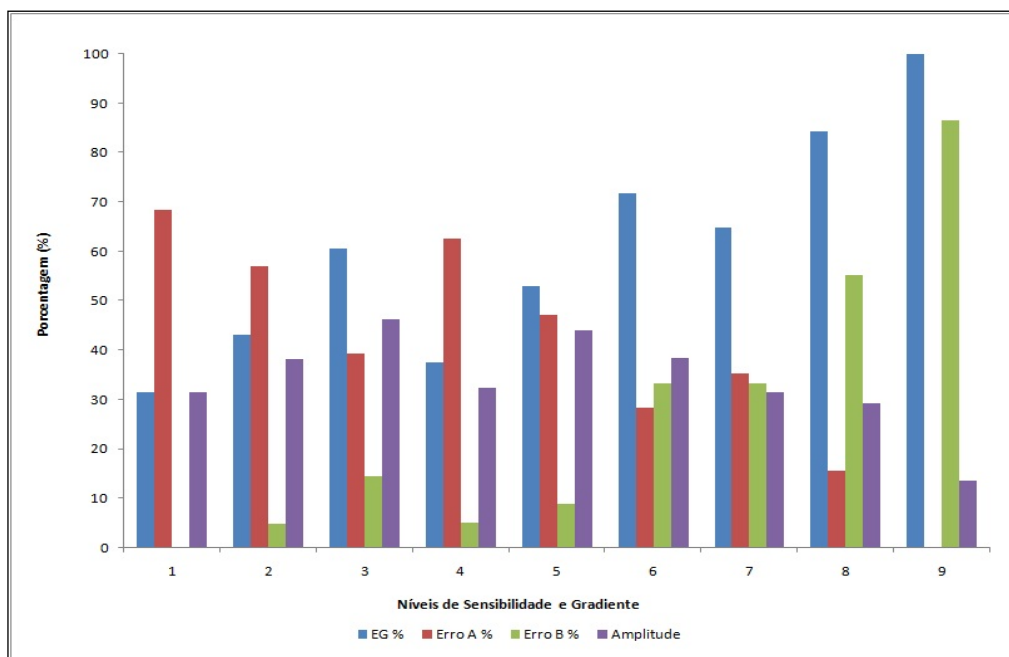


Figura 4. Comparação entre os níveis de sensibilidade e gradiente.

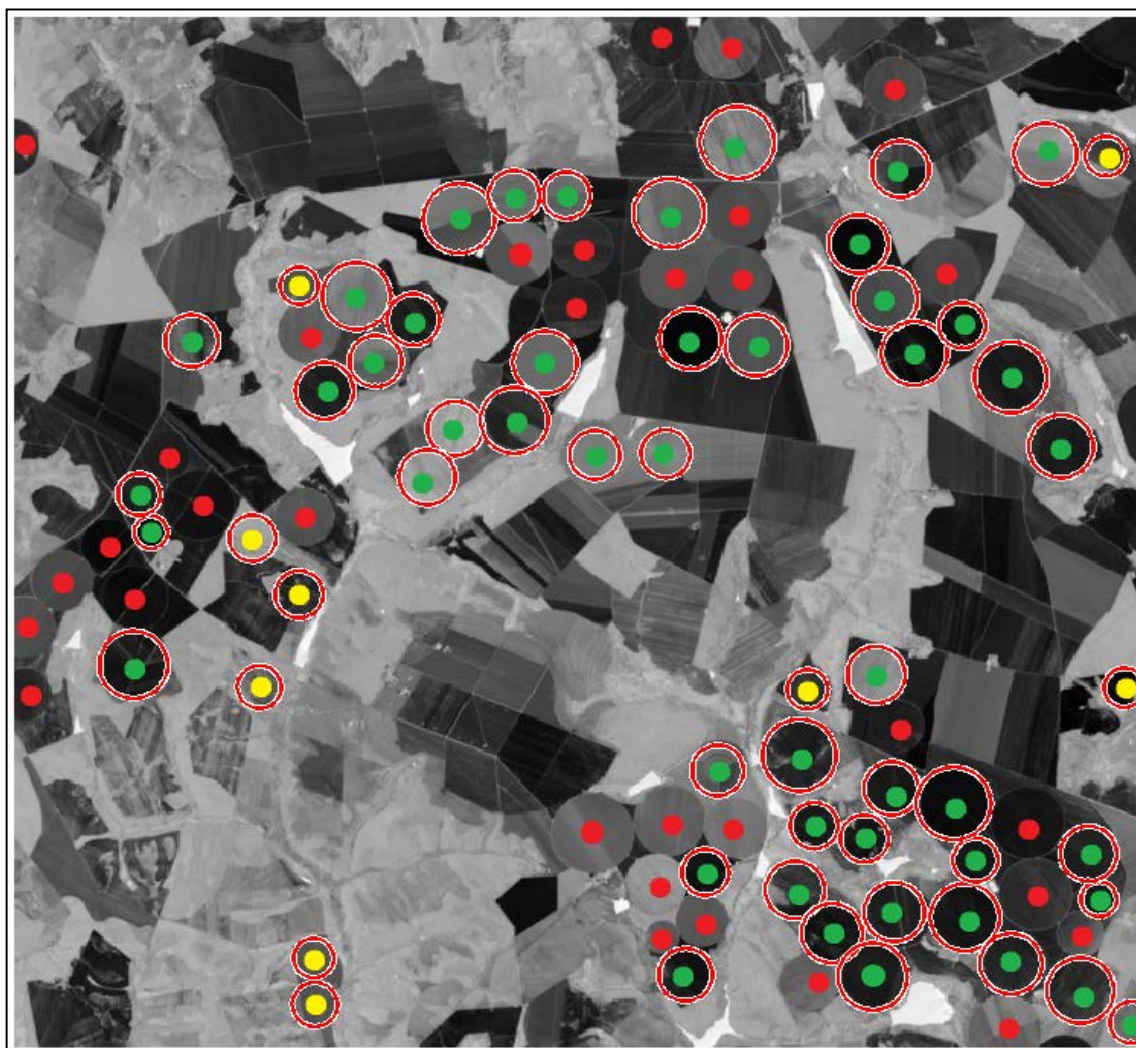


Figura 5. Resultado da detecção de pivôs centrais por meio do algoritmo com sensibilidade de 0,85 e gradiente 0 no Local 4. EG (Verde), Erro A (Vermelho) e Erro B (Amarelo).

4. CONCLUSÃO

A calibração com o nível de sensibilidade 0,85 e gradiente para bordas igual a 0,0 obteve resultado satisfatório para a detecção de pivôs centrais.

O algoritmo proposto apresentou em média 60,64% de exatidão global, 39,36% de Erro A e 14,44% de Erro B.

5. REFERÊNCIAS

CHRISTOFIDIS, D. **Água na produção de alimentos: o papel da irrigação no alcance do desenvolvimento sustentável**. Brasília: Universidade de Brasília, 2005. 29 p.

KING, B. A.; WALL, R. W.; KARSKY, T. F. Center-pivot irrigation system for independent site-specific management of water and chemical application. **Applied Engineering in Agriculture**, v.25, n.2, p.187-198, 2009.

QUEIROZ, T. M.; BOTREL, T. A.; FRIZZONE, J. A. Desenvolvimento de software e hardware para irrigação de precisão usando pivô central. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n.1, p. 44-54, 2008.

OTSU, N. A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, v. 9, n.1, p.62-66, 1979.

SANDRI, D.; CORTEZ, D. A. Parâmetros de desempenho de dezesseis equipamentos de irrigação por pivô central. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n.1, p. 271-278, 2009.

SANO, E.E.; LIMA, J. E. F. W.; SILVA, E. M.; OLIVEIRA, E. C. Estimativa da variação da demanda de água para irrigação por pivô central no Distrito Federal entre 1992 e 2002. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.2, p. 508-515, 2005.

SANTOS, M. F. G.; OLIVEIRA, F. A.; CAVALCANTE, L. F.; MEDEIROS, J. F.; SOUZA, C.C. Solo sódico tratado com

gessoagrícola, composto de lixo urbano e vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.3, p. 307-313, 2005.

SARAIVA, K.; SOUZA, F. Estatísticas sobre irrigação nas regiões Sul e Sudeste do Brasil segundo o censo agropecuário 2005-2006. **Irriga**, Botucatu, v. 17, n.2, p. 168-176, 2012.

SETTI, A. A.; LIMA, J. E. F. W.; CHAVES, A. G. M.; PEREIRA, I. C. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica: Agência Nacional de Águas, 2001.

TURCO, J. E. P.; PIZZATTI, G. S.; PAVANI, L. C. Custo de energia elétrica em cultura do feijoeiro irrigado por pivô central, afetado pelo manejo da irrigação e sistemas de cultivo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n.2, p. 311-320, 2009.