

MÉTODOS DE FILTRAGEM EM DADOS DE COLHEITA PARA DEFINIÇÃO DE UNIDADES DE MANEJO

GABRIELA K. MICHELON¹, CLAUDIO L. BAZZI², KELYN SCHENATTO³, LIGIA BORGES⁴, ERMINIO P. JASSE⁴

¹ Graduada em Ciência da Computação, Discente do Programa de Mestrado em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio, UTFPR, Medianeira – PR, Fone: (0XX45) 3240-8000, gabrielamichelon@alunos.utfpr.edu.br.

² Doutor, Docente do Programa de Mestrado em Tecnologia Computacionais para o Agronegócio, UTFPR, Medianeira – PR.

³ Doutora, Professora do Departamento de Ciência da Computação UTFPR, Santa Helena – PR

⁴ Discente do Programa de Mestrado em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio, UTFPR, Medianeira – PR.

Apresentado no
XLVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2017
30 de julho a 03 de agosto de 2017 - Maceió - AL, Brasil

RESUMO: Os mapas de produtividade refletem condições do solo, o estado de desenvolvimento da planta e a necessidade de fertilizantes, sendo considerado um dos principais métodos de indicação da fertilidade do solo. Para facilitar a criação destes mapas, as colhedoras podem ser equipadas com monitores de colheita, os quais geram mapas com grades amostrais densas, facilitando a identificação de locais com produtividades distintas, permitindo o gerenciamento adequado da lavoura. No entanto, há alguns erros que podem ocorrer no processo de coleta dos dados de produtividade obtidos por meio da colheita mecanizada, podendo gerar interpretações errôneas. Neste trabalho aplicou-se métodos de filtragem em dados de produtividade de cereais (soja, milho e trigo), obtidos por uma colhedora CASE IV. Após a filtragem, foram gerados mapas temáticos e criou-se zonas de manejo fazendo uso do algoritmo Fuzzy C-Means. Por meio das estatísticas de avaliação de zonas de manejo, identificou-se potenciais de produtividade distintos, sugerindo que a filtragem e as divisões da área resultaram em fontes de recomendação e análise do solo mais confiáveis e precisas para tomada de decisões no manejo agrícola.

PALAVRAS-CHAVE: agricultura de precisão, mapa de colheita, zonas de manejo.

METHODS OF FILTERING IN HARVEST DATA FOR THE DEFINITION OF MANAGEMENT UNITS

ABSTRACT: The productivity maps reflect soil conditions, the state of development of the plant and the need for fertilizers, being considered one of the main methods of indication of soil fertility. To facilitate the creation of these maps, the harvesters can be equipped with harvest monitors, which generate maps with dense sampling grids, facilitating the identification of locations with distinct productivity, allowing the proper management of the crop. However, there are some errors that can occur in the process of data collection of productivity obtained by mechanized harvesting, being able to generate erroneous interpretations. In this work was applied methods of filtering in mermaids productivity data (soybean, corn, wheat), obtained by a CASE IV. After filtering, was generated thematic maps and was created management zones using the Fuzzy C-Means algorithm. Through the evaluation of management zones, different productivity potentials were identified, suggesting that the filtration and the divisions of the area resulted in more reliable and accurate sources of recommendation and analysis for decision making in agricultural management.

KEYWORDS: precision agriculture, harvest map, management zone.

INTRODUÇÃO

Em agricultura de precisão (AP), conhecer a variabilidade espacial e temporal de uma área, componentes do solo, status da plantação entre outras características de uma área cultivada, são fundamentais para o manejo adequado (ZHANG et al., 2008). Desta forma, se faz necessário analisar o crescimento da planta associado as possíveis influências de seu desenvolvimento para tomar decisões corretas com relação ao manejo para se alcançar altas produtividades. Para tanto, o mapa de produtividade é essencial, de acordo com Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA (2013) e Molin (2000), pois o mapa de produtividade representa a resposta da cultura com a melhor exatidão possível considerando as técnicas de AP existentes. O mapa de produtividade reproduzido por uma colhedora possui muitos pontos amostrais, que representam uma porção de cada local da área colhida e a posição de cada ponto é obtida por meio de um sistema de posicionamento global (GPS).

Os dados obtidos por meio de sistemas acoplados às colhedoras permitem que sejam obtidas amostragens densas e que representam de forma mais precisa a produtividade das culturas, apesar de que erros de leitura e medição podem influenciar na análise e no posterior manejo do solo. Segundo Blackmore e Marshall (1996) há seis tipos de erros nos mapas de colheita: o tempo de atraso, ou seja, de transporte dos grãos para o sistema de debulha; determinação da largura da plataforma inadequada durante a colheita; erro de precisão do GPS; sobra de grãos por meio do mecanismo de transporte; perda de grãos pelo conjunto; erros de acurácia e calibração do sensor de fluxo. Além destes, há os erros citados por Michelin (2005), como erros de pontos coletados sem sinal diferencial; erros de ajuste do interruptor de plataforma; erros de umidades muito altas ou baixas e erros de pontos discrepantes no conjunto de dados. Segundo Molin (2000), há o erro do tempo de enchimento da colhedora. Também se deve atentar ao erro do tempo de esvaziamento, além do erro causado pela velocidade da colhedora (MOORE, 1998).

Métodos de filtragem dos dados brutos gerados pela colhedora têm sido sugeridos pela literatura para que possam ser posteriormente utilizados para a geração de mapas de produtividade mais fidedignos para uma representação mais confiável do rendimento de uma cultura (GIMENEZ; MOLIN, 2004; MENEGATTI; MOLIN, 2004; MICHELAN et al., 2007). Apesar de disponíveis, os métodos são meramente manuais e envolvem certo tempo para implementação de toda a etapa, além de poder exigir vários softwares para tal.

Deste modo, este trabalho objetivou aplicar uma metodologia de filtragem de dados, por meio de um sistema computacional que permita automatizar a filtragem dos dados, considerando: 1) remoção de dados com erros grosseiros de posicionamento; 2) remoção de pontos com produtividade nula ou ausente; 3) remoção ou recálculo de pontos com largura parcial da plataforma, isto é, pontos com coordenadas geográficas repetidas que já tiveram os valores de produtividade registrados; 4) remoção de pontos com umidade nula ou ausente; 5) remoção de pontos com distância nula; 6) remoção de pontos coletados durante o tempo de enchimento e esvaziamento da colhedora; e 7) remoção de pontos com valores de produtividade discrepantes. Após a filtragem dos dados, foram gerados mapas temáticos e geradas zonas de manejo para dividir as áreas de acordo com a semelhança de produtividades.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados de produtividade foram obtidos no período de 2009 a 2014, de uma área comercial (Figura 1) de cerca de 17,9 ha, localizada na região Oeste do Paraná, no município de Céu Azul. No período, a área foi cultivada com soja, milho e trigo no sistema de sucessão de culturas.



FIGURA 1. Delimitação da área utilizada neste trabalho.

Os conjuntos de dados utilizados neste trabalho são referentes à soja 2013/2014, milho 2014, trigo 2014, trigo 2015 e soja 2015/2016. As amostras foram obtidas por meio de uma colhedora equipada com monitor de colheita CASE AFS modelo PRO 600, montado a uma colhedora CASE 2388, ano de fabricação 2009, com potência nominal de 274 kW e plataforma com aproximadamente 6,3 metros de largura e capacidade no graneleiro de 10500 litros.

Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos por meio dos processos ilustrados no fluxograma da Figura 2.

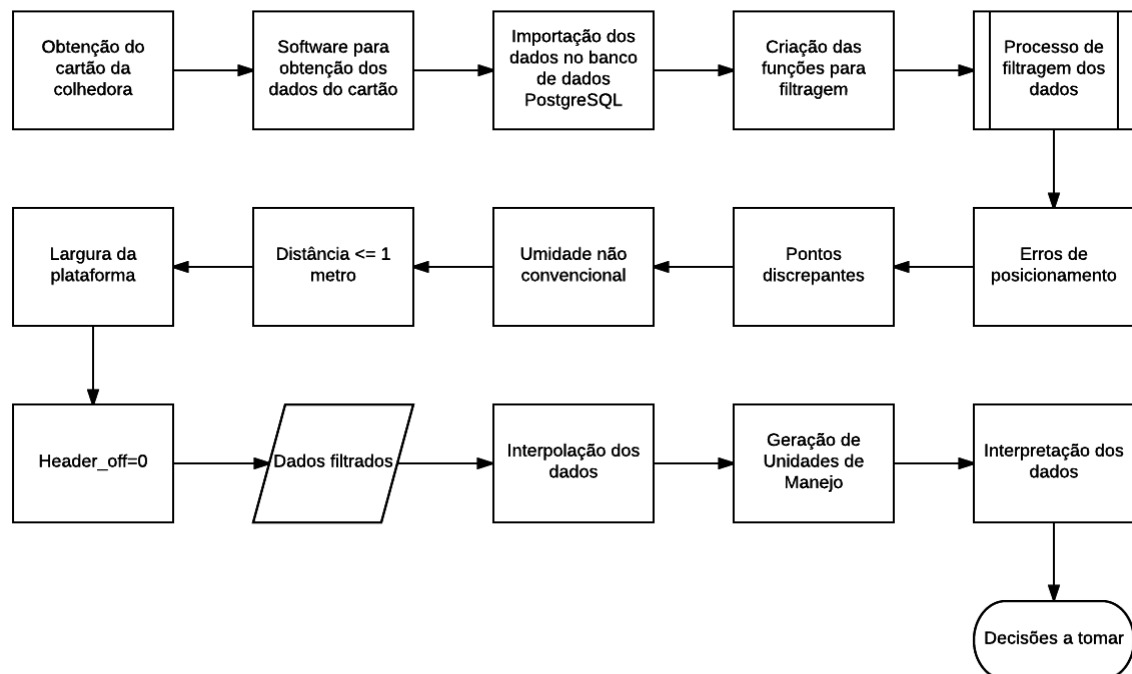


FIGURA 2. Fluxograma do processo desde a obtenção dos dados, filtragem dos dados, interpolação, geração de unidades de manejo e interpretação dos mapas gerados.

A filtragem dos dados foi realizada após a obtenção dos dados da colhedora que ficam salvos em um cartão de memória de seu monitor de colheita. Porém, para acessar a estes

dados foi necessário utilizar o Software AFS da CASE, o qual permite importar os dados do formato determinado do modelo da colhedora para a extensão de dados txt, shp entre outras.

Antes de filtrar, foi necessário verificar quais os tipos de erros e quais poderiam ser corrigidos por meio de funções no banco de dados. No entanto, o número e os tipos de erros variam em função do modelo do monitor de produtividade e da colhedora, do sistema utilizado para o posicionamento, do tamanho e formato dos talhões, entre outros.

Segundo Blackmore e Marshall (1996) há seis tipos de erros nos mapas de colheita: o tempo de atraso, ou seja, de transporte dos grãos para o sistema de debulha (tempo gasto entre o início do corte pela plataforma e a chegada dos grãos ao elevador); determinação da largura da plataforma inadequada durante a colheita, isto é, algumas vezes a largura da plataforma é maior que a largura de colheita como em arremates de um talhão; erro de precisão do GPS; sobra de grãos por meio do mecanismo de transporte; perda de grãos pelo conjunto; erros de acurácia e calibração do sensor de fluxo. Além destes erros citados por Blackmore e Marshall (1996), há os erros de pontos coletados sem sinal diferencial; de ajuste do interruptor de plataforma, ou seja, quando a máquina precisa fazer uma manobra na cabeceira de um talhão e a plataforma é levantada, e não é desligada a contagem da produtividade para que não haja áreas com produtividade nula, as quais diminuem a produtividade média final; de umidades muito altas ou baixas e de pontos discrepantes no conjunto de dados (MICHELAN, 2005).

Segundo Molin (2000), há o erro do tempo de enchimento da colhedora, ou seja, o tempo que a máquina gasta para atingir o ritmo normal de fluxo de grãos ou que a máquina gasta para fazer manobras dentro do talhão. Também se deve atentar ao erro do tempo de esvaziamento, que de acordo com Moore (1998), é o período em que a colhedora esvazia seus sistemas após a interrupção no corte das plantas, e no qual a produtividade pode estar sendo registrada mesmo com a plataforma levantada. Portanto, do mesmo modo que o tempo de enchimento, o tempo de esvaziamento deve ser controlado para que não haja dados inconsistentes.

Também segundo Moore (1998), a velocidade da colhedora possui influência no resultado obtido, pois o sensor de velocidade pode inserir erros de posicionamento e em curvas se o sensor não estiver em todas as rodas, não é compensada a velocidade diferente entre as rodas da colhedora.

Portanto, para realizar algumas filtragens nos dados utilizou-se o Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGDB) PostgreSQL, com a extensão para dados georreferenciados PostGis, e o ambiente de gerenciamento PgAdmin III. Por meio do SGDB foram criadas funções (Store Procedures), utilizando linguagem procedural PL/pgSQL, para realizar a filtragem de dados.

Antes e após o procedimento de filtragem, os dados foram interpolados por meio do Software de Definição de Unidades de Manejo - SDUM, utilizando o interpolador inverso da distância (ID). Com os mapas obtidos, interpretou-se o quanto a filtragem alterou o mapa. Após isto, criou-se os mapas do antes e depois da filtragem da média normalizada de todas as safras e também o mapa do coeficiente de variação da média normalizada. Com os dados do mapa de média da produtividade normalizada antes e após a filtragem, gerou-se 2, 3 e 4 zonas de manejo fazendo uso do algoritmo Fuzzy C-Means.

As estatísticas realizadas com os dados foram análise dos mapas de colheita antes e após a filtragem, análise dos mapas após interpolação e análise descritiva dos dados do mapa de produtividade média normalizada antes e após a filtragem utilizando o SDUM para o cálculo de mínimo, média, máximo, desvio padrão, coeficiente de variação, redução da variância e eficiência relativa das zonas de manejo divididas em 2, 3 e 4 classes. O coeficiente de variação (CV) foi classificado conforme Pimentel e Garcia, (2002).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para realizar a filtragem dos dados criou-se funções plpg/sql para eliminar os dados fora do contorno da área amostral, nisto inclui-se também a eliminação dos pontos de posicionamento incorreto ou repetidos, pontos discrepantes, com umidade não convencional (intervalo delimitado pelo usuário), com distâncias menores ou iguais a um entre os demais pontos amostrais, largura de plataforma incorreta e pontos com erros de ajuste do interruptor.

Após a filtragem dos mapas de colheita por meio das funções implementadas, verifica-se na Tabela 1 quantos pontos foram eliminados a cada etapa da filtragem.

TABELA 1. Quantidade de pontos eliminados em cada processo de filtragem em cada safra analisada.

Cultura	Total de pontos	Erros de posicionamento	Pontos discrepantes	Umidade não convencional	Distância ≤ 1 metro	Largura da plataforma	Header_off = 0
Soja 2013/14	21570	4764	1707	7928	0	-	3246
Milho 2014	36918	25885	1935	0	0	35	6605
Trigo 2014	17619	3542	1748	7	0	-	6962
Trigo 2015	18705	5784	1282	6819	0	-	3062
Soja 2015/16	16714	4225	1941	5	0	-	5631

Na Figura 2 pode ser visualizado o mapa antes e depois da filtragem, percebe-se que muitos pontos foram eliminados, porém os locais que restaram sem pontos foram interpolados posteriormente para após este processo serem criadas as zonas de manejo e realizar-se interpretações sobre os mapas.

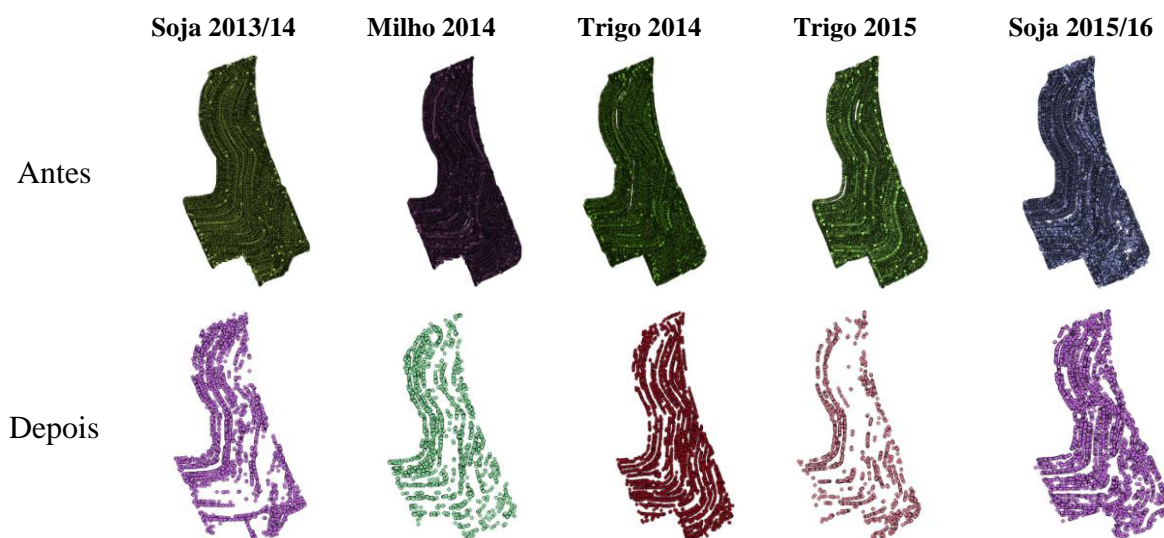


FIGURA 2. Mapas das respectivas safras antes e após a filtragem dos dados.

Como pode ser observado na Tabela 1, os pontos eliminados em maior quantidade foram na filtragem de erros de posicionamento, a segunda filtragem realizada de pontos discrepantes eliminou em média 1500 pontos aproximadamente em cada filtragem e no caso da umidade muito baixa ou muito alta, algumas safras tiveram poucos pontos com umidade não convencional, já em outras foram muitos pontos descontados, mostrando uma grande variação de umidade de uma safra para outra. Nenhum ponto foi eliminado com distância

menor ou igual a um metro, pois cada ponto possuía uma distância entre os demais, maior que um metro. Com relação ao header_off (erros de ajuste do interruptor de plataforma), foram eliminados quando iguais a 0, devido ao não ajuste do interruptor, e como se observa na Tabela 1, muitos pontos foram eliminados.

E por meio da Figura 2, nota-se que a safra do Trigo 2015, foi a safra com maior filtragem de dados, ou seja, a safra que mais eliminou pontos.

Após a interpolação pelo inverso da distância, os mapas transformaram-se como apresenta-se na Figura 3.

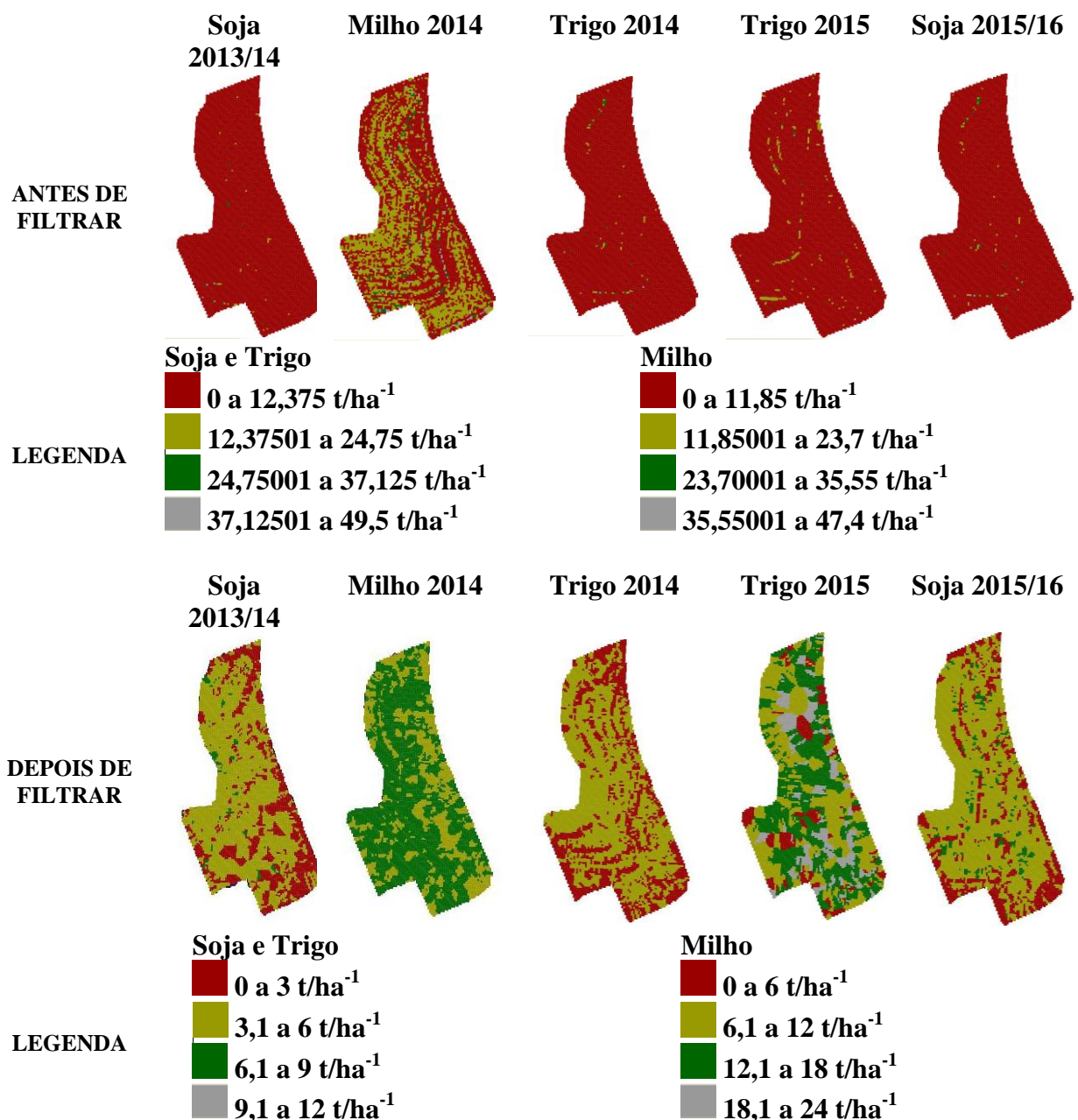


FIGURA 3. Mapas das respectivas safras após a interpolação pelo inverso da distância.

Nota-se pela Figura 3 que antes da filtragem os valores da legenda são muito maiores, pois os pontos discrepantes não foram eliminados ainda e muitas produtividades estão com valor zero, por isso a predominância da cor vermelha nos mapas para todas as safras (produtividade nula ou zero).

Já após da filtragem, percebe-se a grande diferença do antes e depois da filtragem dos dados e como a tomada de decisão do produtor pode ser muito influenciada por erros do mapa de colheita.

Analisando ainda a Figura 3, na safra do Milho 2014 as produtividades variaram de 6,1 a 18 t/ha⁻¹, visualizando-se apenas duas cores no mapa. Já na safra do Trigo, apesar de também apresentar duas cores, as cores que apresenta são as de menor produtividade, variando de 0 a 6 t/ha⁻¹. As safras de soja 2013/14 e 2015/16 tiveram produtividades variando de 0 a 9 t/ha⁻¹, e comparando seus mapas interpolados, as produtividades pareceram bastante semelhantes em termos de rendimento. Na Safra do Trigo 2015, os rendimentos foram bons, pois poucas áreas apresentaram a cor vermelha (produtividades menores) e algumas áreas apresentaram a cor cinza (maiores produtividades, de 9,1 a 12 t/ha⁻¹).

Na Figura 4 é possível visualizar o mapa da produtividade média normalizada de todas as safras deste estudo e o mapa de coeficiente de variação da produtividade média normalizada, ambos antes e após a filtragem dos dados.

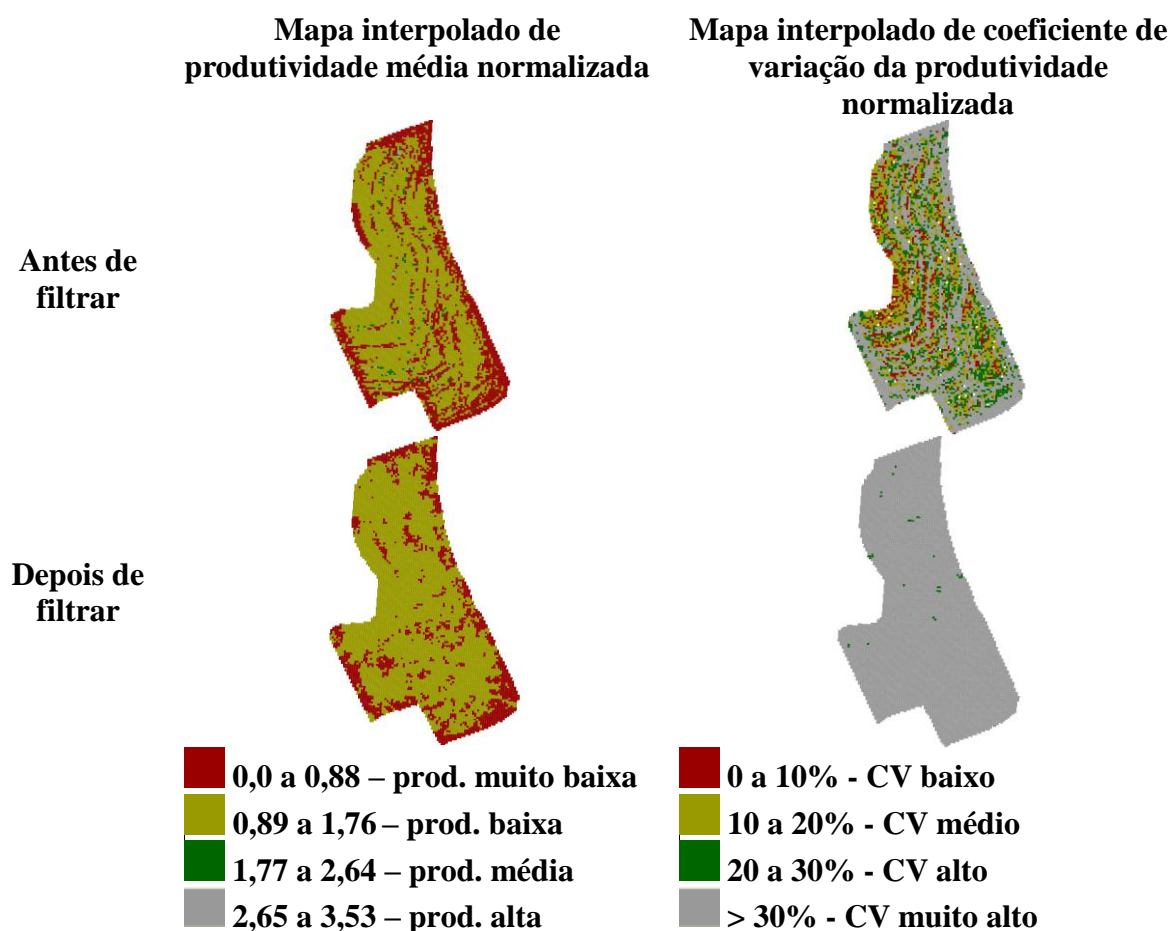


FIGURA 4. Mapas de todas as safras, sendo mapa de produtividade média normalizada (esquerda) e de coeficiente de variação da produtividade normalizada (direita).

Nota-se pela Figura 4, que o mapa interpolado da produtividade média normalizada, tanto antes como depois da filtragem, possui a maior parte dos pontos com produtividade baixa ou muito baixa. No entanto, o mapa já filtrado tem menor quantidade de pontos com produtividade muito baixa, os quais provavelmente foram eliminados por ser zero ou discrepantes. O que também se verifica é que geralmente nos limites do talhão, tanto antes quanto depois de filtrar, ocorrem produtividades mais baixas (vermelho).

Na análise do mapa do coeficiente de variação de produtividade média normalizada

após a filtragem, é possível ver que os dados variam muito de ano para ano, pois não houve pixels do mapa que ficaram com CV menor que 20, então os dados variaram de alto a muito alto, mas os pixels que variaram de 20 a 30% foram muitos poucos, visualizando-se praticamente um mapa com somente coeficiente de variação muito alto. Antes de filtrar, o mapa do coeficiente de variação da produtividade média normalizada também possui sua maior parte com coeficiente de variação muito alto, porém neste mapa, é possível verificar bastante pontos com coeficientes de variação entre baixo, médio e alto comparado ao mapa após filtragem.

Portanto, levando em consideração a filtragem, houve diferença perceptiva no mapa de coeficiente de variação e de produtividade média normalizada, levando a interpretações diferentes em uma análise prévia e posterior à filtragem dos dados.

Após a filtragem dos dados se interpreta que não se pode constatar que uma determinada área com baixa produtividade ocorre em todas as safras, pois o CV não é baixo para ser afirmado que o que ocorre em uma safra ocorre nas demais, ou seja, o CV variando de alto a muito alto significa que uma área com baixa produtividade em uma safra, pode ser uma área com alta produtividade em outra safra. Portanto, pode-se concluir na análise da Figura 4 que os problemas de baixa produtividade em algumas áreas se devem a provavelmente atributos químicos, os quais não são atributos estáveis e que mudam conforme a safra, ou que, a necessidade de uma cultura por um atributo químico e/ou físico, não é a mesma necessidade de outra cultura, podendo ser um solo benéfico ou maléfico conforme a cultura.

A Tabela 2 mostra a porcentagem da área total em cada unidade de manejo dividida em 2, 3 e 4 classes dos dados da média normalizada da produtividade, antes e após filtragem, de todas as safras analisadas neste estudo.

TABELA 2. Estatística descritiva e eficiência relativa dos dados de produtividade média normalizada antes e após filtragem, separados por unidade de manejo.

Cultura	Classes	% Area	Nº amostras	Mín	Média	Máx	DP	CV	RV	ER	
Média normalizada antes da filtragem	2	0,47	3566,00	1,01	1,22	3,53	0,28	0,23	44,42	1,80	
		0,53	3981,00	0,00	0,81	1,01	0,17	0,22	44,42	1,80	
	3	0,31	2351,00	0,00	0,70	0,89	0,16	0,22	71,03	3,45	
		0,07	508,00	1,38	1,74	3,53	0,42	0,24	71,03	3,45	
		0,62	4688,00	0,89	1,07	1,38	0,11	0,11	71,03	3,45	
		0,10	724,00	0,81	0,86	0,89	0,02	0,03	59,76	2,49	
	4	0,30	2268,00	0,89	0,98	1,05	0,04	0,05	59,76	2,49	
		0,22	1672,00	0,00	0,64	0,81	0,15	0,23	59,76	2,49	
		0,38	2883,00	1,05	1,26	3,53	0,29	0,23	59,76	2,49	
		0,42	3201,00	0,49	0,86	0,98	0,09	0,11	66,05	2,95	
	Média normalizada após a filtragem	2	0,58	4346,00	0,98	1,11	1,43	0,08	0,08	66,05	2,95
			0,32	2421,00	1,08	1,17	1,43	0,07	0,06	82,37	5,67
3		0,25	1890,00	0,49	0,80	0,90	0,08	0,10	82,37	5,67	
		0,43	3236,00	0,90	0,99	1,08	0,05	0,05	82,37	5,67	
		0,46	3492,00	1,03	1,13	1,43	0,08	0,07	81,74	5,48	
4		0,24	1791,00	0,92	0,98	1,03	0,03	0,03	81,74	5,48	
		0,23	1754,00	0,49	0,79	0,89	0,08	0,10	81,74	5,48	
		0,07	510,00	0,89	0,90	0,92	0,01	0,01	81,74	5,48	
		0,07	510,00	0,89	0,90	0,92	0,01	0,01	81,74	5,48	

Min-Mínimo, Máx-Máximo, DP-Desvio Padrão, CV-Coeficiente de Variação, RV-Redução da Variância, ER-Eficiência Relativa.

As unidades de manejo para a média normalizada antes da filtragem são consideradas válidas, pois $ER > 1$ e analisando a redução da variância dos dados totais, foi possível reduzir

de 44 a 71% com as unidades de manejo. Na divisão da área em três e quatro classes o % de área ficou bastante desproporcional de uma classe para outra e o coeficiente de variação variou de baixa a média variação dos dados. Por meio dos resultados da Tabela 2, a melhor divisão foi em três classes.

Analisando a média normalizada após a filtragem na Tabela 2, na divisão de duas classes 42% da área pertenceu a uma unidade de manejo e 58% a outra. Já com 3 classes a divisão em cada classe ficou de 32%, 25% e 43%. Na divisão de 4 classes, o percentual total da área foi distribuído em partes bastante desiguais entre cada classe, sendo 46% do total para uma classe, 24%, 23% e 7% para as demais. De acordo com o coeficiente de variação (CV), os dados apresentaram de baixa a média variação, e pela eficiência relativa (ER), todas as divisões da área em unidades de manejo é válida pois ER é > 1 . A redução da variância mostrou que muito se reduziu de variação nos dados com a divisão em zonas de manejo, mas que a melhor divisão de zonas de manejos seria com três classes, pois reduziu 82,37% da variação dos dados como um todo e porque sua eficiência relativa foi a maior de todas as divisões (ER=5,67).

Comparando os resultados das melhores divisões de zonas de manejo para os dados filtrados e não filtrados (que foi a divisão em três classes), conclui-se pelo CV, RV e ER que após a filtragem as zonas de manejo são mais eficazes e confiáveis para serem aplicadas na área deste estudo, mostrando que a filtragem dos dados é muito importante para fazer o manejo correto da lavoura.

CONCLUSÕES

A filtragem eliminou muitos pontos, mais de 50% do total, no entanto, com a filtragem dos dados houve uma melhor representação da variabilidade espacial, pois eliminou-se pontos amostrais discrepantes, com unidades não convencionais, com erros de posicionamento, com largura de plataforma incompatíveis, com distâncias menores ou iguais que um entre os pontos mais próximos e com header-off igual a 0.

Com a interpolação dos mapas, obteve-se os valores faltantes após a filtragem e tornou os mapas possíveis de serem interpretados, delineando áreas com maiores e menores produtividades, sendo visível a diferença de um mapa interpolado antes e após a filtragem, deixando claro que os erros de mapas de colheita podem afetar a tomada de decisão do produtor.

Os mapas de produtividade média normalizada e de coeficiente de variação da produtividade média normalizada mostram que poucas áreas tiveram produtividades maiores após a filtragem dos dados, e que os problemas de baixa produtividade provavelmente se devem a atributos não estáveis devido ao coeficiente de variação variar de alto a muito alto, designando grande discrepância dos dados de produtividade de uma safra para outra.

Com a geração de unidades de manejo pela técnica Fuzzy C-Means se torna mais prático para o produtor o gerenciamento localizado e também a interpretação das necessidades de acordo com cada unidade de manejo. Todas as divisões de zonas de manejo apresentaram potencial produtivo distintos, e com a divisão em zonas de manejo das produtividades médias normalizadas se criou divisões de zona de manejo para serem aplicadas a qualquer cultura, não sendo necessário modificar as divisões a cada safra.

Portanto, a filtragem mostrou neste trabalho pelos mapas ilustrados e por meio das estatísticas como eficiência relativa e redução da variância, que é muito importante filtrar os dados para obter maior segurança e confiabilidade na interpretação dos resultados, e conseqüentemente, na tomada de decisão.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) pelo apoio financeiro e incentivo à pesquisa.

REFERÊNCIAS

- BLACKMORE, B. S.; MARCHALL, C. J. **Yield mapping; errors and algorithms**. In. INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3, Minneapolis, 1996. **Proceedings...** Madison: ASA; CSSA; SSSA, p. 403–415. 1996.
- GIMENEZ, L. M.; MOLIN, J. P. Algoritmo para redução de erros em mapas de produtividade para agricultura de precisão. **Revista Brasileira de Agrocomputação**, v. 2, n. 1, p. 5-10, 2004.
- MENEGATTI, L. A. A.; MOLIN, J. P. Remoção de erros em mapas de produtividade via filtragem de dados brutos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, n. 1, p. 126-134, 2004.
- MICHELAN, R. **Determinação e remoção de erros em mapas de colheita de milho**. 2005. 64 f. Dissertação (Mestrado em Eng. Agrícola) Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Unioeste. Cascavel-PR.
- MICHELAN, R.; de SOUZA, E. G.; URIBE-OPAZO, M. A. Determinação do tempo de atraso em mapas de colheita de milho. **Revista Acta Scientiarum Agronomy**, v. 29, n. 2, p. 147-155, 2007.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Agricultura de Precisão**. 3. ed. Brasília, 2013. 36 p.
- MOLIN, J. P. **Geração e interpretação de mapas de produtividade para a agricultura de precisão**. In: BORÉM, A.B.; GIÚDICE, M.P.; QUEIROZ, D.M.; MANTOVANI, E.C.; FERREIRA, L. R.; VALLE, F. X. R.; GOMIDE, R. T. Agricultura de precisão. Viçosa: UFV, p. 237-258. 2000.
- MOORE, M. **An investigation into the accuracy of yield maps and their subsequent use in crop management**. Silsoe College, Silsoe. 1998. 379 p.
- PIMENTEL, G. F; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**: exposição com exemplos e orientações para o uso de aplicativos. Piracicaba: Fealq, 2002. 309 p.
- ZHANG, M.; LI, M. Z.; LIU, G.; WANG, M. H. **Computer and Computing Technologies in Agriculture**. Boston: Springer, 2008, p. 1407–1410.