

RICARDO MICHELAN

DETERMINAÇÃO E REMOÇÃO DE ERROS EM MAPAS DE COLHEITA DE
MILHO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia de Sistemas Agroindustriais.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Godoy de Souza

CASCAVEL – PR
Setembro de 2005.

RICARDO MICHELAN

“DETERMINAÇÃO E REMOÇÃO DE ERROS EM MAPAS DE COLHEITA DE
MILHO”

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia de Sistemas Agroindustriais, **aprovada** pela seguinte banca:

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Godoy de Souza
UNIOESTE/CCET – Cascavel - PR

Prof. Dr. Alberto Kazushi Nagaoka
UDESC – LAGES - SC

Prof. Dr. Miguel Angel Uribe Opazo
UNIOESTE/CCET – Cascavel - PR

Prof. Dr. Antonio Gabriel Filho
UNIOESTE/CCET – Cascavel - PR

Prof. Dr. Suedêmio de Lima Silva
UNIOESTE/CCET – Cascavel - PR

Cascavel, 27 de junho de 2005.

Dedicatória

A Maria Ivonete Cesco Michelin &
Douglas Michelin,

amados pais que não mediram
esforços e apoio para que eu
realizasse mais este sonho, e meus
exemplos de integridade e
perseverança,

DEDICO.

Agradecimentos

Ao caprichoso **DEUS**, que arquiteta nossas vidas.

Ao orientador Eduardo Godoy de Souza, por compartilhar sua sabedoria e pela sincera amizade.

A Agassiz Linhares Neto, pela primeira oportunidade e pelos dados de colheita.

Nelson Bernardi e Luiz funcionários, dedicados da Fazenda 3 Meninas.

A minha namorada Higilda Doreto Guerino, pela compreensão e paciência.

Ao amigo e conselheiro Alessandro Reichert, por ouvir minhas reclamações e frustrações das horas difíceis.

Aos professores do Laboratório de Estatística Aplicada – LEA, Jerry Adriani Johan e Miguel Angel Uribe Opazo, por iluminar o caminho nos momentos de dúvida.

Aos amigos do NIT, da UNIOESTE e do LEA, principalmente a Lairton Milani.

Sumário

LISTA DE TABELAS	p.
LISTA DE FIGURAS	v
Resumo	vi
Abstract	viii
2. Introdução	x
3. Revisão Bibliográfica	1
3.1. Obtenção de Mapa de Produtividade	3
.....	
3.2. Erros em mapas de produtividade	5
.....	
3.2.1. Tempo de atraso	6
.....	
3.2.2. Tempo de enchimento e esvaziamento	10
.....	
3.2.3. Densidade dos grãos	11
.....	
3.2.4. Umidade dos grãos	12
.....	
3.2.5. Acurácia do sensor de fluxo de grãos	13
.....	
3.2.6. Velocidade de resposta do monitor	15
.....	
3.2.7. Erros de deslocamento, de posicionamento e	16
do GPS	
3.2.8. Valores extremos de produtividade	18
.....	
3.2.9. Largura de corte errada	18
.....	
3.3. Correção pós-processada de erros em mapas de	20
produtividade ..	
4. Material e métodos	24
.....	
4.1. Colheita monitorada	24
.....	
4.2. Filtragem dos dados de colheita	27

2.	Resultados e discussão	32
3.	Conclusões	58
6.	Referência Bibliográfica	59

LISTA DE TABELAS		p.
Tabela 1.	Distância e tempo de enchimento e de esvaziamento obtido com o primeiro valor correspondente a 95% da produtividade média das 5 passadas da colhedora.	36
Tabela 2.	Análise estatística descritiva dos dados brutos e de dados discrepantes de produtividade úmida, de acordo com cada tempo de atraso.	39
Tabela 3.	Dados remanescentes da mesma área em função de cada etapa da filtragem, para 10 tempos de atraso diferentes. . . .	42
Tabela 4.	Densidade de pontos por hectare de acordo com cada tempo de atraso, antes e depois do processo de filtragem. . .	43
Tabela 5.	Resultados da análise de dependência espacial dos dados pelo método do semivariograma.	47
Tabela 6.	Menor efeito pepita e respectivo tempo de atraso para as 12 regiões e as três variáveis dos dados de colheita monitorada.	52
Tabela 7.	Parâmetros do semivariograma para os dados brutos e filtrados.	56

LISTA DE FIGURAS

	p.
Figura 1. Organograma para geração de mapa de produtividade e processamento de dados de colheita (adaptado de BLACKMORE & MARCHALL, 1996).	5
Figura 2 Parâmetros de um semivariograma típico.	8
Figura 3 Fluxograma de etapas de aplicação do processo de filtragem de dados brutos (MENEGATTI, 2002).	22
Figura 4 Colhedora equipada com sistema de monitoramento de produtividade.	25
Figura 5 Esquema interno de funcionamento da colhedora.	26
Figura 6 Módulos do programa SMS Advanced 4.02® de descarregamento dos dados do cartão PCMCIA da colhedora para o computador e suas principais características.	28
Figura 7 Efeito do intervalo de enchimento (gráficos a esquerda) e esvaziamento (gráficos a direita) na coleta de dados de produtividade (prod1, prod2, prod3, prod4, prod5 e média) para os tempos de atraso que vão de zero a 27 segundos.	32
Figura 8 Exemplo de um conjunto de dados com distância entre pontos menores e maiores que um metro (tempo de atraso 3 segundos).	38
Figura 9 Histogramas de distribuição de freqüência dos dados de produtividade para diferentes tempos de atraso.	40
Figura 10 Distribuição da quantidade de pontos dos dados brutos e filtrados, para os vários tempos de atraso.	42
Figura 11 Histogramas de distribuição de freqüência do tempo de atraso 12 s, antes e depois do processo de filtragem.	43
Figura 12 Divisão do talhão principal em 12 sub-áreas para determinação do tempo de atraso correto.	44
Figura 13 Gráficos dos efeitos pepita da variável produtividade úmida (PROD), umidade (UM) e elevação (ELEV), das 12 regiões, para os tempos de atraso que vão de 0 a 27 segundos.	45

LISTA DE FIGURAS

	p.
Figura 14. Mapa pontos de produtividade úmida após a limpeza e correção dos dados.	53
Figura 15. Mapa de pontos de umidade de grãos após a limpeza e correção dos dados.	54
Figura 16. Mapa de pontos de elevação após a limpeza dos dados e correção dos dados.	55
Figura 17. Semivariogramas ajustados aos dados antes (test) e depois (trat) do processo de filtragem e determinação do tempo de atraso.	57

Resumo

A colheita monitorada é feita de vários processos, e nesses, podem ocorrer erros, por isso, uma metodologia de filtragem de dados torna-se necessária para obtenção de mapas confiáveis e ela gira em torno do principal fator de erro, que é o tempo de atraso. O tempo de atraso é aquele despendido entre o corte da planta na barra de corte da plataforma e a passagem do grão pelo sensor de produtividade e umidade. Para determinação destes erros, um conjunto de dados foi analisado com 10 tempos de atraso diferentes, sendo de zero a 27 segundos, com um intervalo de 3 segundos. A filtragem começa pela determinação do tempo de enchimento e esvaziamento, que é o tempo em que todos os espaços e componentes internos da colhedora são preenchidos, ou esvaziados, pela massa de grãos, ocorrida em cada entrada e saída da colhedora. Neste processo foram eliminados 5,69% dos pontos totais, sendo o processo que mais eliminou pontos, pois, atuou principalmente nas cabeceiras do talhão, onde ocorreu a maioria dos erros. Para o erro de largura de plataforma foram eliminados apenas 0,09% dos pontos de dados. Nos pontos com falha do sinal de correção diferencial do GPS, foram eliminados em média 2,04%. Na filtragem de dados de umidade, foram eliminados em média 2,27% dos pontos. Em erros de localização, foram removidos todos os pontos com até um metro de distância, eliminando em média 0,14% dos dados. Ao término do processo de filtragem, a etapa subsequente foi à determinação do correto tempo de atraso para as variáveis produtividade úmida, umidade e altitude. Consideraram-se 12 zonas com velocidades de deslocamento homogêneas. Cada uma das 12 zonas dos 10 conjuntos de dados foram submetidas ao processo de análise de dependência espacial. O resultado mais marcante na análise espacial dos dados é a linearidade dos efeitos pepita para o fator elevação, proveniente da própria “falta” do tempo de atraso destes dados, já que a elevação é transmitida juntamente com as coordenadas geodésicas pelo

DGPS, para o monitor de produtividade. O método de determinação dos tempos de atraso e o processo de filtragem foram satisfatórios, principalmente para produtividade úmida e umidade, apesar da alta variabilidade natural dos dados.

Palavras-chave: colheita monitorada, tempo de atraso, agricultura de precisão, geoestatística.

Abstract

The automation of the the monitored harvest ends introducing systematic errors to the process, for this reason, a methodology of filtering of data became necessary for obtaining confident maps and it treats about the mean error factor, which is the delay time. The delay time is that spent between the cutting of the plant by the platform's bar and the passage of the grain by the sensor of productivity and humidity. For its determination, a data set will be analysed with 10 different delay time, from 0 to 27 seconds, in an interval of 3 seconds. The filtering begins by the determination of the time of stuffing and emptying that is the one which all the spaces and internal components of the combine are filled or deflated by the grains mass occurred in each input and output of the combine. In this process were eliminated 5,69% of the total points, being the process more efficient in the elimination of points, because it acts mainly in the plot's heads, where the most errors occurs. For the width error of platform were eliminated only 0,09% of the points of data. At the points having sign fails of GPS differential correction, in average 2,04% were eliminated. In the filtering of data, in average 2,27 % of the points were eliminated. In localization errors, all the points having until one meter of distance were removed, eliminating in average 0,14% of the data. At the end of the filtering process, the subsequent phase was the determination of the correct delay time for the variables humid productivity, humidity and elevation. As the delay time is directly linked with the combine speed inside the transport, areas with homogeneous speed were considered. Each one of the 12 sub- areas from 10 data sets were submitted to the process of analysis of spatial dependence of the better semivariogram's adjust. The trend more emphasized in the tabulation of the semivariogram parameters is the linearity of the nugget effect for the factor elevation, originating from own "absence" of the delay time of this data, since the elevation is passed jointly to the geodetic coordinates by DGPS, for the harvest monitor. The determination method of the delay time and the

filtering process were satisfactory, mainly for humid productivity and humidity, despite of the high natural data variability.

Key words: monitored harvest, time delay, precision agriculture, geostatistic.

1. Introdução

A Agricultura de Precisão nada mais é que a aplicação fiel e correta de agronomia clássica (DALLMEYER, 2003), ou seja, um sistema de gerenciamento agrícola baseado na variabilidade espacial, com o tratamento localizado dos pontos do terreno e possível maximização do uso da terra e dos insumos, aumentando a produtividade, diminuindo custos de produção e minimizando o impacto sobre o ambiente.

Com apenas uma década de publicações e estudos sobre o assunto, ainda são poucas as certezas e muitos os questionamentos para formação da base brasileira de Agricultura de Precisão (AP). Ela é necessária para que não sejamos pegos de surpresa por técnicas e experiências estrangeiras, que nem sempre vão ao encontro das nossas necessidades e realidades. O principal exemplo disto são os famosos “pacotes fechados” propondo o “ciclo completo da AP”, induzidos principalmente pela corrida da indústria de máquinas agrícolas e equipamentos, vendidos a técnicos e produtores rurais brasileiros. A lacuna no domínio das técnicas em AP fez com que o preço do pioneirismo fosse bem alto aos primeiros adeptos, que em raríssimos casos obtiveram sucesso com a utilização destas técnicas até então desconhecidas.

Medição e mapeamento da produtividade do campo tem sido a chave do desenvolvimento para a AP, principalmente no início dos anos 90, quando SEARCY et al. (1989) aperfeiçoaram alguns modelos de sensores de fluxo de grãos instalados em colhedoras, que medem a produtividade em intervalos de tempo. Mais tarde essas leituras de produtividade foram associadas a dados de localização geográfica, com a disponibilidade comercial do sinal de GPS. Esta automação da coleta de dados de produtividade permitiu que grandes quantidades de informações fossem disponibilizadas a baixo custo. Entretanto, pode ocorrer a introdução de erros, como por exemplo, produtividade nula em pontos do talhão devido a falhas do sensor de fluxo de grãos.

Monitoramento de produtividade e a criação de mapas são conceitualmente fáceis de entender, mas, a obtenção de um mapa preciso e seguro é um desafio. Informações como manejo de nutrientes (adubação de culturas com base nas quantidades de nutrientes exportados pela cultura

anterior), viabilidade do uso do solo (zoneamento de talhões) e efeitos de estratégias de tratamentos fitossanitários (aplicação de inseticidas, herbicidas, fungicidas e adubos foliares) são estratégias gerenciais que podem ser tomadas sobre um mapa de produtividade, onde a presença de erros gera informações incompatíveis com a realidade e que vai, conseqüentemente, afetar todo o empreendimento agrícola. Para que isso não aconteça, filtragem de dados pós-colheita e técnicas de correção têm sido comumente utilizadas. BECK, SERCY & ROADES (2001) utilizaram um algoritmo para filtragem de dados de colheita para 10 campos de milho, sorgo e arroz em que se removeu em média 11% dos pontos de dados.

Este trabalho teve como objetivo geral propor uma metodologia de filtragem de dados de produtividade da cultura de milho, obtidos com monitor de colheita, para que se tornem confiáveis na tomada de decisões gerenciais do empreendimento agrícola.

Para isso se tornar possível, foram investigados erros de tempo de atraso, de tempo de enchimento, de umidade dos grãos, de acurácia, de velocidade de resposta dos sensores de colheita, de erros de posicionamento, de deslocamento, do GPS, de valores extremos de produtividade e de entrada errada da largura de corte da plataforma no monitor.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Obtenção de Mapa de Produtividade

Segundo BLACKMORE & MARSHALL (1996) o primeiro mapa de produtividade foi produzido, pela classificação e coloração de cada ponto de dado coletado conforme o valor de produtividade. Isto não deixava de ser preciso, mas tratava erroneamente os pontos como sendo espacialmente independentes. Esses primeiros mapas foram produzidos no início da década de 90, com sistema de posicionamento via rádio, previamente localizado nas fronteiras do talhão (HANEKLAUS et al., 2000).

A aquisição de dados de produtividade e posição baseada em sensores montados sobre colhedoras de cereais, aperfeiçoados no final dos anos 80 por SEARCY et al. (1989) resultaram na criação de mapas de produtividade e na considerável diminuição do esforço para obtê-los. BORGELT (1993) também descreveu várias técnicas das quais algumas são utilizadas atualmente na medição de fluxo de sólidos, como fluxo de massa, medidas volumétricas etc.

Seguindo esta tendência evolutiva, a primeira companhia a produzir uma colhedora comercial com sistema de mapeamento de produtividade de grão foi a Massey Ferguson¹, atual AGCO (BLACKMORE, 1994).

BALESTREIRE (1998), PECZE et al. (1999), e CHUNG et al. (2000) consideram que a geração de mapas de produtividade é a fase que apresenta maior facilidade de execução dentro do ciclo da Agricultura de Precisão. Devido a grande variedade de equipamentos e pesquisas principalmente sobre colheitas de cereais, mais especificamente, sobre soja e milho, pode-se coletar grande quantidade de informações sobre a área a um baixo custo operacional

1- A citação de marcas e modelos comerciais não significa recomendação de uso por parte do autor.

(SCHUELLER, 2000). Os monitores atuais coletam informações sobre a produtividade da cultura com intervalo de 1 a 5 segundos e essa informação é associada com o posicionamento, pelo “Sistema de Posicionamento Global” sem correção diferencial (GPS) ou com correção diferencial (DGPS). Estes conjuntos de dados são combinados a sintaxe Latitude, Longitude e produtividade, e geralmente armazenados num cartão PCMCIA (Personal Computer Memory Card International Association) de capacidade de memória variável, no formato computacional “Comma Delineated ASCII ou ADIS”.

Alguns sistemas ainda podem incluir dados adicionais no cartão de memória, como data, tempo do DGPS, qualidade do sinal DGPS, umidade dos grãos, velocidade de deslocamento, largura da plataforma de corte e altitude (BLACKMORE & MARSHALL, 1996), que são fornecidos ao monitor a partir de um conjunto de sensores instalados na colhedora, que são: sensor dielétrico de umidade dos grãos, sensor de velocidade do elevador dos grãos limpos e sensor de velocidade da roda motriz, sensor de fluxo dos grãos e do sensor DGPS.

Os dados coletados são transmitidos do cartão PCMCIA para um computador, onde em um software SIG (Sistema de Informações Geográficas) são gerados mapas para representação da produtividade, umidade e altitude da área colhida. O que geralmente ocorre é cada empresa fornecer juntamente com o monitor de colheita, seu próprio software SIG, que também servirá para análise dos dados.

O próximo passo após a coleta dos dados é a interpretação do mapa de produtividade. Devido à quantidade de informações brutas, é relevante definir fatores principais a serem considerados, além de técnicas algorítmicas de suavização ou alisamento de dados que tornarão as práticas gerenciais e administrativas possíveis. A interpretação dos mapas requer conhecimento prático e do local de coleta para identificar quais tendências espaciais são mais importantes. Nesta fase, os erros potenciais contidos nos mapas, também devem ser retirados, pois podem comprometer toda a confiabilidade do processo.

Os passos anteriormente citados podem ser facilmente visualizados no organograma da Figura 1:

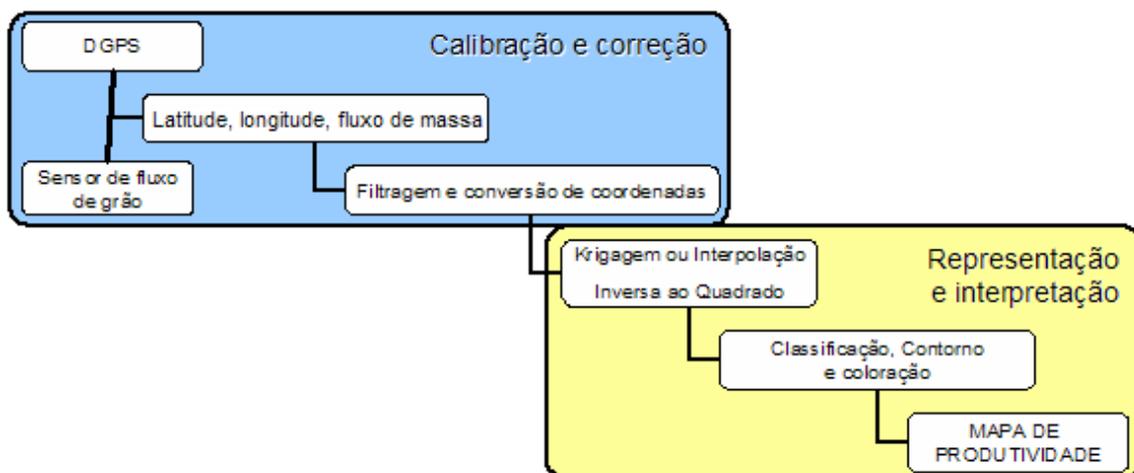


Figura 1. Organograma para geração de mapa de produtividade e processamento de dados de colheita (adaptado de BLACKMORE & MARCHALL, 1996).

2.2. Erros em mapas de produtividade

Diversas pesquisas em todo o mundo têm demonstrado fontes potenciais de erros que podem influenciar na acurácia de dados brutos provenientes de colheita monitorada e que posteriormente são introduzidos em um mapa de produtividade.

BLACKMORE & MARSHALL (1996) citam como sendo seis os principais erros em mapas de produtividade e são eles: tempo de atraso ou de transporte dos grãos dentro do mecanismo de debulha, determinação errada da largura da plataforma durante a colheita, erro natural do GPS, sobra de grãos através do mecanismo de transporte, perda de grãos pelo conjunto, acurácia e calibração do sensor de fluxo. MOORE (1998) identificou três erros durante seis anos de trabalho com mapeamento de produtividade e são eles: calibração de volume, tempo de enchimento dos espaços internos da colhedora, suavização e largura de corte da plataforma incorreta.

Alguns desses erros podem ser facilmente removidos por programas computacionais adquiridos juntamente com o conjunto instalado na colhedora, como por exemplo, o tempo de atraso e tempo de enchimento e esvaziamento, mas sua determinação ainda depende de processos manuais e sistemáticos. Já erros como pontos coletados sem sinal diferencial, umidades muito altas ou baixas e pontos discrepantes no conjunto de dados podem facilmente ser retirados com auxílio de planilha eletrônica.

2.2.1. Tempo de atraso

Segundo MOORE (1998), o tempo de espera ou de atraso é aquele dispendido entre o corte da planta pela barra da plataforma e a passagem do grão pelo sensor de produtividade. O fluxo de grãos medido no sensor de produtividade deve ser correlacionado com a posição da colhedora quando a cultura foi ceifada pela barra de corte. Um tempo incorreto pré-estabelecido pelo usuário ao monitor de colheita para este processo resulta em erros no cálculo da produtividade e tem ainda o efeito de deslocamento da sua coordenada, devido a diferenças de áreas com movimentos acelerados ou retardados da colhedora, resultando em produtividades maiores ou menores que a real.

De acordo com BLACKMORE & MARSHALL (1996) e MOORE (1998), no momento em que a plataforma corta as plantas num determinado ponto, as coordenadas deste ponto são guardadas na memória do sistema por um período equivalente ao tempo de espera sendo que, ao final deste tempo tal

posição é associada com a produtividade medida pelo sensor. Quando o tempo de atraso é errôneo, ocorre um deslocamento dos pontos em relação à posição real para frente ou para trás, dependendo da direção e sentido do movimento da colhedora e também se o valor inserido no sistema está super ou subdimensionado.

Um grande número de fatores afeta o fluxo de grãos da cultura através dos mecanismos ativos da colhedora, tais como o tipo de cultura e a umidade dos grãos (MOORE, 1998). Tais fatores variam espacialmente, dificultando a definição de um único tempo de atraso para a máquina (BLACKMORE & MARSHALL, 1996).

COLVIN & ARSLAN (2000) observaram que o tempo de atraso para colhedoras convencionais é maior que aquele das axiais. As diferenças de funcionamento entre elas, principalmente a ausência de estruturas como o saca-palhas nas colhedoras axiais favorecem o fluxo de grãos pelos sistemas até atingir o sensor de fluxo. THYLÉN, JURSCHIK & MURPHY (1997) identificaram que o tempo que o fluxo de grãos leva para atingir o sensor de produtividade quando o sistema de trilha da colhedora está vazio (fill time) é diferente se comparado ao tempo para o mesmo processo, com o sistema cheio (lag time). A maioria dos sistemas comerciais não faz distinção entre ambos.

PANTEN, HANEKLAUS & SCHUNG (2002) usaram um monitor de controle de fluxo montado sobre uma colhedora Massey Ferguson, em duas colheitas de aveia (anos de 2000 e 2001) para determinar o tempo de atraso dos grãos. O resultado foi de aproximadamente 18 segundos, correspondendo a 20 metros no percurso do talhão.

CHUNG, SUDDUTH & DRUMMOND (2002) utilizaram o processo geoestatístico da semivariância (Equação 1), que é o indicador de dependência espacial, para determinação do correto tempo de atraso.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} \{Z(s_i) - Z(s_i + h)\}^2 \quad (1)$$

Onde: h : separação de distância ou atraso;

$\gamma(h)$: semivariância para classe h do intervalo de distância;

$Z(s_i)$: valor simples medido no ponto i ;

$Z(s_{i+h})$: valor simples medido no ponto $i+h$, e

$N(h)$: número total de pares para o intervalo de distância.

A Figura 2 mostra um semivariograma típico e seus parâmetros. Com o aumento da distância, a semivariância cresce até atingir um máximo conhecido como patamar. O alcance (range), limite da dependência espacial, é definido como a distância de separação a qual o semivariograma alcança seu patamar (WEBSTER & OLIVER, 1990).



Figura 2. Parâmetros de um semivariograma típico.

Outra característica do semivariograma é o efeito pepita (nugett), que aparece como uma descontinuidade na origem. A variância do efeito pepita ocorre devido a erros de medida ou micro-variabilidade em distâncias menores que a distância mínima entre observações. Na prática, o efeito pepita e os outros parâmetros do semivariograma (alcance e patamar) são calculados pelo uso ajuste de modelos geoestatísticos a semivariância sobre certa distância de separação com um modelo apropriado (CHUNG, SUDDUTH & DRUMMOND, 2002).

Sendo que a variância do efeito pepita mede a quantidade de variação de pequena escala em um conjunto de dados espaciais, pode-se supor uma dependência entre o efeito pepita e o tempo de atraso. A variação do efeito pepita deve ser minimizada com o verdadeiro tempo de atraso (CHUNG, SUDDUTH & DRUMMOND, 2002).

Devido a natureza dispersa e não normal dos dados, se utiliza o semivariograma experimental proposto por CRESSIE & HAWKINS (1980), apresentada na Equação 2:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2} \frac{\left[N(h)^{-1} \sum_{N(h)} \sqrt{|Z(si+h) - Z(si)|} \right]^4}{0,457 + \frac{0,494}{N(h)}} \quad (2)$$

Onde: h : separação de distância ou atraso;

$\hat{\gamma}(h)$: semivariância para h classes do intervalo de distância;

$Z(si)$: valor simples medido no ponto i ;

$Z(si+h)$: valor simples medido no ponto $i+h$ e

$N(h)$: número total de pares para o intervalo de distância.

Para determinação do melhor ajuste do semivariograma utiliza-se um dispositivo do programa GEOCAC® (SILVA et al., 2002), chamado Indicador de Melhor Ajuste – IGF, desenvolvido por PANNATIER (1996) e apresentado pela Equação 3, também chamado de método de mínimos quadrados ponderados:

$$IGF = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \sum_{i=0}^{n(k)} \frac{P(i)}{\sum_{j=0}^{n(k)} P(i)} \cdot \frac{D(k)}{d(i)} \cdot \left[\frac{\gamma(h_i) - \hat{\gamma}(h_i)}{\sigma^2} \right] \quad (3)$$

Onde: N : número de semivariograma direcionais;

$n(k)$: número de *lag* relativo ao k -ésimo semivariograma;

$D(k)$: distância máxima do k -ésimo semivariograma;

$P(i)$: número de pares do i -ésimo *lag* do k -ésimo semivariograma;

$d(i)$: distância média dos pares do i -ésimo *lag* do k -ésimo semivariograma;

$\gamma(h_i)$: valor real do semivariância para o i -ésimo *lag*;

$\hat{\gamma}(h_i)$: valor real experimental da semivariância para o i -ésimo *lag*;

σ^2 : é a variância dos dados.

O trabalho de PANTEN, HANEKLAUS & SCHUNG (2002) confirma a complexidade do fluxo dinâmico dos grãos através da colhedora e sugere a necessidade de modelos não-lineares que precisam ser desenvolvidos para superar problemas como, por exemplo, o tempo de atraso dos grãos, o que não só requer investigações adicionais em dinâmica de fluxo de grão, mas também soluções práticas para outras fontes de erros que influenciam a qualidade de dados de produtividade.

2.2.2. Tempo de enchimento e esvaziamento

Tempo de enchimento é o intervalo de tempo que a máquina leva para que todos os seus espaços e componentes internos (cilindro, saca-palhas, peneiras e elevadores) sejam preenchidos pela massa de palha e grãos, ocorrendo sempre no início de cada manobra de cabeceira. Durante o tempo de enchimento, todos os pontos coletados devem ser eliminados do mapa de rendimento, pois a máquina ainda não entrou em um estado normal de

trabalho, conseqüentemente, o fluxo de grãos registrado pelo monitor pode ser menor que o real.

MOORE (1998) estudou tal efeito em mapas de produtividade e sugeriu quatro fases para caracterizar o erro. A primeira fase representa o tempo que a máquina leva para atingir a cultura. A segunda fase é representada pelo tempo em que a máquina atingiu a cultura e a primeira leitura do sensor de produtividade. O terceiro estágio é o tempo que a máquina requer para entrar em regime de funcionamento normal, ou seja, é o tempo em que a produtividade registrada pelo sensor de produtividade aumenta rapidamente (tempo de enchimento). A quarta fase se inicia quando a máquina entra em regime de operação normal e assim prossegue por toda a passada de colheita ou até onde ocorra uma interrupção no fluxo de grãos (tempo de atraso).

Algumas correções têm sido sugeridas para o problema. THYLÉN, JURSCHIK & MURPHY (1997), sugerem que os primeiros 40 segundos de cada passada sejam eliminados dos dados para excluir o erro do tempo de enchimento da máquina em mapas de produtividade de soja. MOORE (1998) sugere que um tempo de 36 segundos é suficiente para eliminar 100% do tempo de enchimento. NOLAN et al. (1999), relatam que o tempo de enchimento varia entre 10 e 40 segundos. Este tipo de erro é caracterizado nos mapas de baixa produtividade nas cabeceiras do talhão, ou onde a colhedora fizer as manobras.

CHUNG, SUDDUTH & DRUMMOND (2002), utilizaram uma colhedora equipada com monitor de produtividade AgLeader® e encontraram tempos de enchimento de 14 a 16 segundos para a produtividade e de 15 a 21 segundos para umidade, através de análise geoestatística.

Para retirada de pontos gravados durante o intervalo de enchimento, MENEGATTI (2002) escolheu cinco passadas aleatórias da colhedora. Calculou a produtividade média em função da distância do início da passada, limitada em 50 metros e então, definiu o intervalo de enchimento como sendo o espaço necessário para que a produtividade média atingisse 90% da produção máxima. O autor obteve com esta técnica, um intervalo de enchimento de 14 metros para um monitor da marca AgLeader® que equipam as colhedoras New Holland®.

Erro de mesma natureza, porém em sentido contrário, é denominado tempo de esvaziamento da colhedora. De acordo com MOORE (1998), o tempo de esvaziamento é o período requerido pela colhedora para esvaziar seus sistemas após a interrupção no corte das plantas. Representa o tempo durante o qual pontos de produtividade podem ser gravados apesar da barra de corte da colhedora ter sido levantada.

MOORE (1998) dividiu o erro de tempo de esvaziamento em três estágios. O primeiro estágio corresponde ao tempo existente entre a colhedora deixar a lavoura e o operador suspender a plataforma acima de uma altura predeterminada, o que interrompe a coleta de dados. O seguinte estágio representa o tempo entre a suspensão da plataforma e a primeira redução no fluxo de grãos registrado pelo sensor de produtividade e o terceiro representa o tempo em que o fluxo de grãos cai rapidamente até que os mecanismos da colhedora se esvaziem de grãos.

2.2.3. Densidade dos grãos

A densidade dos grãos também pode induzir o sensor de fluxo volumétrico a erros, pois a medição da massa de grãos é feita pelo volume, sem considerar sua densidade. MOORE (1998) indica que nenhuma compensação automática foi feita nos monitores encontrados no mercado, apesar da flutuação da densidade existente dentro de um talhão. Os monitores de fluxo volumétricos são os que introduzem o maior erro nos mapas de produtividade e por esse motivo, são menos utilizados.

Sensores de fluxo baseados no princípio de detecção de massa não estão sujeitos a influências devido à variação de densidade dos grãos. Este tipo de sensor é comumente encontrado em dois modelos: com placa de impacto ou por interrupção de sinal eletromagnético. O sensor com placa de impacto medem o deslocamento da placa causada pelo fluxo de grãos, utilizando um potenciômetro ou célula de carga, e posteriormente fazendo a conversão em massa. O sensor que utiliza interrupção de sinal eletromagnético tem dois dispositivos, sendo uma fonte que irradia e outra que absorve energia. O fluxo de grãos interrompe ou atenua a passagem de energia, e assim, a

partir dessa diferença em relação ao máximo emitido é calculada a massa (MENEGATTI, 2002).

2.2.4. Umidade dos grãos

MOORE (1998) reporta que a maioria dos monitores de produtividade comerciais possuem sensores de umidade de grãos, e registram a variação de umidade em tempo real.

Segundo SHEARER et al. (1999), o teor de umidade do grão colhido é determinado por um sensor de propriedades dielétricas. O nível de umidade dentro do grão afeta a capacitância do grão (sua habilidade para armazenar uma carga elétrica) que é medido limitando um volume predeterminado de grãos entre duas superfícies de metal condutivas. Para a maioria dos monitores de produtividade, isto é realizado pela instalação de um sensor de umidade montado ao lado do elevador de grãos limpos. Este local é melhor que no tanque graneleiro, porque os sensores encontram menor fluxo de grãos, reduzindo a acúmulo de resíduos nas placas do sensor. Esta formação introduz influência nas medidas de umidade. O sensor de umidade é essencialmente uma armação condutiva ou placas de metal com uma barbatana de metal interna eletricamente isolada.

MENEGATTI (2002) cita a umidade dos grãos como sendo outro fator potencial de erro em mapas de produtividade, que deve ser considerado na interpretação, porque ela é variável no talhão. Segundo o autor, o problema é agravado quando a colheita é iniciada em condições de alta umidade, e no decorrer do processo os grãos secam a uma umidade constante. Tal situação é muito comum e ocorre numa pequena escala de tempo, ao longo do dia. Outra fonte de variabilidade da umidade é o estágio de maturação das plantas ao longo do talhão, que pode variar de acordo com a disponibilidade hídrica do solo, com a exposição à radiação solar e também a ventos.

2.2.5. Acurácia do sensor de fluxo de grãos

A acurácia do sensor de fluxo é outra fonte de erros de mapas de produtividade. STTOT, BORGELT & SUDDUTH (1993) trabalharam com um monitor de produtividade Claydon Yield-o-meter[®] medindo continuamente a produtividade numa cultura de milho de 2 talhões de 4 hectares. Comparando o peso fornecido pelo monitor com aquele obtido em um vagão de pesagem, observaram que o erro de totalização foi de -3,78% para o talhão 1 e -3,25% para o talhão 2, caracterizando uma situação em que o monitor acusou consistentemente pesos inferiores aos reais.

REITZ & KUTZBACK (1996) estudaram os erros potenciais em um monitor de produtividade com sensor de fluxo volumétrico RDS Ceres 2[®] quando utilizado em declives, ensaiando também outros sensores que visaram melhorar a acurácia dos dados. Um aparato media constantemente a densidade e alimentava automaticamente o sistema para compensar sua variação e um sensor foi adicionado ao monitor para compensar as diferenças na umidade dos grãos. Em ensaios de campo, o erro do sensor foi menor que 3% durante todo o tempo. Entretanto, para erro individual de cada carga da colhedora, esse erro atingiu valores de 5%. Em pequenas parcelas, foram obtidos erros de até 10%. Os autores concluíram que a acurácia do sistema é influenciada pela espécie da cultura, sua umidade e a inclinação horizontal e transversal da colhedora. PECZE et al. (1999), ensaiando o mesmo monitor em três culturas diferentes, determinaram que a acurácia geral na totalização do monitor foi de 1,02%.

MOLIN & GIMENEZ (2000) trabalharam com dados obtidos em duas colheitas num mesmo talhão, comparando pesagens parciais fornecidas pelo monitor RDS Ceres 2[®] e os pesos reais, obtidos com balança. Os autores encontraram que no primeiro ano de colheita, o monitor apresentou erro de -0,5% e no segundo ano, -1,03%. Os autores concluíram que alguns fatores de erros são dificilmente controlados e que os erros encontrados estão dentro de níveis aceitáveis se comparados com valores fornecidos pelos fabricantes e com os dados obtidos em outros trabalhos.

AUERNHAMMER et al. (1993) compararam o desempenho do monitor de produtividade AGCO[®] com outro monitor da empresa Claas[®] em 274 cargas do tanque graneleiro, tendo como referência o peso fornecido por uma balança,

em duas safras consecutivas nos anos de 1991 e 1992. Concluíram que desempenho geral dos monitores foi bastante similar.

BIRREL, SUDDUTH & BORGELT (1996) comparando a operação de um sensor volumétrico (Class[®]) e um sensor de placa de impacto AgLeader modelo PF2000[®] em experimentos de campo, concluíram que os sensores de produtividade mostraram alta correlação com os pesos reais. Entretanto, o sensor volumétrico introduziu significativa quantidade de erros no cálculo da produtividade instantânea.

De acordo com MOORE (1998), quando comparado o fluxo de massa de grãos acumulado com uma referência obtida a partir de uma balança, a acurácia dos sensores de produtividade geralmente se apresentam dentro do intervalo de $\pm 5\%$. Em seu trabalho com sensor de produtividade da empresa AGCO[®], encontrou que os pesos medidos pelo sensor estavam dentro da faixa de erro de $\pm 2\%$, sendo que apenas uma medida ficou fora desta faixa. Quando comparou medidas instantâneas de fluxo, o autor encontrou que o erro médio durante os ensaios instantâneos foi de 0,8% ressaltando, no entanto, que o erro médio pode levar a interpretações errôneas, visto que o mais importante neste caso é a amplitude de variação do erro, que ficou no intervalo de -22,13% a 16,29%.

ARSLAN & COLVIN (1999) em condições de laboratório e baseado em comparações de pesos totais, obtiveram um erro nas taxas de fluxo constantes de 2,1%, para sensores de fluxo de grãos. O erro aumentou a 3,2% e 4,3% quando contribuições gradativas e não duradouras foram aplicadas, respectivamente. A precisão global ficou dentro do intervalo de $\pm 4\%$ informada pelo fabricante, enquanto que o erro máximo foi maior que 5%. O intervalo da taxa de fluxo usada na calibração foi o fator mais importante, e segundo o autor, foi à chave para alcançar alta precisão no ensaio. Normalmente, quando se calculou a média acumulada do fluxo de grãos por mais que 4 a 6 segundos, ocorreram erros menor que 4%. Para manter a precisão em condições adversas, como por exemplo, grande variação do fluxo de grãos, o tempo necessário foi de aproximadamente 10 segundos. Os efeitos de fontes potenciais de erros (como variação da velocidade da colhedora no terreno, condições variáveis de colheita, e perfil de fluxo de grão variado) também

precisam ser consideradas para usar os resultados deste estudo para aplicações de campo.

BURKS et al. (2003) identificou a dinâmica do fluxo de grãos, a vibração do reservatório de grãos e a sensibilidade de célula de carga como prejudiciais a acurácia do sistema de fluxo instantâneo. Concluíram ainda que leituras de fluxo de grãos com baixas taxas que variam de 1 a 4 kg s⁻¹, podem estar comprometidas por estes fatores. Para evitar que, por exemplo, a vibração influencie no fluxo de grãos, o monitor AgLeader® tem a capacidade de determinar a mesma e eliminá-la das leituras de produtividade.

2.2.6. Velocidade de resposta do monitor

A habilidade dos monitores em responder rapidamente às mudanças no fluxo de grãos durante a colheita é um fator essencial para a detecção da variabilidade espacial da produtividade e também para garantir a acurácia na determinação da produtividade. De acordo com DOELBELIN (1966), tempo de resposta é o tempo que um sistema leva para reagir a uma entrada com 95% da intensidade máxima. Segundo MOORE (1998), o tempo de resposta é função de um algoritmo suavizador utilizado pelo computador do monitor de produtividade para filtrar os sinais brutos de saída do sensor de fluxo. Esse sinal que tem todas as irregularidades removidas é utilizado para dar uma indicação acurada do fluxo de grãos. Entretanto, deve haver um compromisso entre a acurácia do sinal de saída do sensor de fluxo e a habilidade do monitor de produtividade de registrar rapidamente as mudanças no fluxo de grãos. Trabalhando com um sensor da empresa AGCO®, o autor encontrou uma equação quadrática que descreve o comportamento do tempo de resposta em função da alteração do fluxo de grãos. Concluiu que a reação do sensor é mais rápida para degraus maiores de mudança se comparado com o tempo de resposta a degraus menores, sendo o tempo de resposta médio de 13 segundos.

ARSLAN & COLVIN (1999) observaram num teste de laboratório que o sensor de produtividade teve uma resposta rápida à mudanças súbitas em fluxo de milho.

BURKS et al. (2001) estudaram a influência da variação dinâmica da taxa de alimentação na acurácia do monitor de produtividade fabricado pela empresa John Deere®. Para a realização do ensaio, montaram um elevador de grãos limpos em laboratório com tanques de alimentação e de pesagem, possibilitando assim, a variação controlada do fluxo de grãos. Os autores concluíram que o sensor de produtividade estimava com erro de 4% a menos a massa acumulada para taxas de alimentação de 4,2 a 16,9 kg s⁻¹. O erro médio da medida instantânea de velocidade foi 4,4%.

2.2.7. Erros de deslocamento, de posicionamento e do GPS

MOORE (1998) destaca que o sensor de velocidade pode inserir erros de posicionamento na medida da área, principalmente no caso dos sensores magnéticos que medem a rotação das rodas de tração. Quando em situações de curva, a velocidade diferencial entre as rodas não é compensada pelo sensor, se instalado em apenas uma das rodas.

BLACKMORE & MARSHALL (1999) classificaram os erros de posicionamento em dois tipos: aqueles que afetam um pequeno número de pontos e aqueles que são efetivamente os deslocamentos de posição. No primeiro tipo, encontram-se pontos ocasionais fora da posição devido à perda do sinal de correção diferencial por alguns segundos, por exemplo. Também podem ocorrer, no mesmo tipo de erro, pontos fora do talhão que são, evidentemente, erros de GPS ou ainda do operador, que não desligou o monitor no final do traslado. O segundo tipo de erro é evidenciado pela superposição de mapas de produtividade produzidos em diferentes anos que, quando colocado um sobre o outro, evidenciam deslocamento de fronteiras. Outra manifestação do mesmo tipo de erro é representada pelo deslocamento na posição devido à diferença de posição entre aquela dada pelo GPS e a da plataforma da colhedora, visto ser pouco prático posicionar a antena do GPS na plataforma.

Esta diferença de distância entre a posição do GPS, que geralmente é colocado sobre a cabine da colhedora e a plataforma pode ainda gerar um

tempo de atraso negativo, pois, do ponto em que foi cortada a planta até o GPS atingir o local, o grão colhido no primeiro momento do corte já pode ter sido processado pela trilha de grãos e atingido o sensor de fluxo. Para que não ocorra tempo de atraso negativo, devido ao posicionamento do GPS, programas específicos para geração dos mapas de colheita, permitem um “off set” desta distância.

Por outro lado, o sistema GPS está sujeito a diversos erros aleatórios que influenciam na identificação da posição do receptor. Esses erros são descritos por diversos autores (HURN, 1989; MORGAN & ESS, 1997 e MOORE, 1998) e podem ser resumidos em erros atribuídos a interferências da ionosfera e troposfera, erros do relógio do satélite e do receptor, erros na órbita dos satélites e erros de reflexão ou multicaminhamento. De acordo com MORGAN & ESS (1997), a correção diferencial, que pode ser obtida via satélite, por estações locais ou por outras maneiras, elimina os erros do relógio e órbita do satélite e de refração, e reduz consideravelmente os erros do relógio do receptor, da interferência da ionosfera e da troposfera, contribuindo com uma melhoria significativa na qualidade do posicionamento.

MENEGATTI (2002) retirou os erros grosseiros de posicionamento através da inserção dos dados em uma ferramenta SIG (Sistema de Informações Geográficas). Nesta fase o mapa de colheita foi confrontado com o mapa dos limites do talhão, e os pontos de colheita localizados fora do talhão foram eliminados, totalizando 3,9% dos 8356 pontos colhidos pelo monitor de produtividade AgLeader®, instalado em uma colhedora New Holland®.

2.2.8. Valores extremos de produtividade

Erros de valores extremos de produtividade foram reportados por JUERSCHIK & GIEBEL (1999) num conjunto de dados coletados durante a colheita de um talhão. Os autores consideram que a eliminação de tais pontos deve ser criteriosa por que os dados de produtividade com valores muito altos e muito baixos podem, de fato, ocorrer na natureza. Esse tipo de erro é eliminado do conjunto de dados de colheita através da eliminação de pontos discrepantes.

Para eliminação de tais pontos discrepantes, devemos levar em consideração os limites de produtividades regionais, condições ambientais como temperatura, fotoperíodo e precipitações pluviométricas durante o ciclo da cultura, potencial genético de produtividade para cada variedade dentre outras coisas.

2.2.9. Largura de corte errada

Em todos os sistemas, a medição da área é necessária para converter o fluxo de grãos (kg s^{-1} ou t s^{-1}) em produtividade (kg m^{-2} ou t ha^{-1}), e é obtida multiplicando-se a largura da barra de corte da colhedora pela distância percorrida num determinado tempo. Para tanto se pode utilizar a Equação 4:

(4)

Onde: Y : Produtividade ($t\ ha^{-1}$)

m_{seco} : fluxo de massa corrigido ($t\ s^{-1}$)

t : Período de amostragem (s)

d : Distância percorrida (m)

w : Largura indicada da plataforma (m)

Tal medição está sujeita a erros tanto na medida da largura de corte real da plataforma quanto na distância percorrida pela colhedora. A largura da barra de corte é um valor programado no monitor de produtividade. De acordo com BLACKMORE & MOORE (1999), na prática, o valor inserido no sistema pode ser 95% da largura total, assumindo-se assim perda de 5% devido a deficiências na operação da colhedora.

Em plataformas despigadoras, tal erro é minimizado, mas a operação com plataforma parcial pode levar a erros maiores se o monitor não possuir um sistema de larguras parciais que corresponda ao número de linhas da plataforma. Esses monitores possuem uma chave seletora para indicar ao sistema a utilização de larguras parciais de plataforma. Além disso, eles possuem também uma chave que aciona a coleta de dados e a contagem de área quando a plataforma é baixada no início da colheita e interrompe a coleta quando a plataforma é suspensa nos finais do translado, para manobras de cabeceira.

Segundo MOORE (1998), é essencial para o operador da colhedora combinar a largura de corte informada ao monitor com largura efetivamente utilizada. Qualquer desvio ocorrido entre a largura efetiva e a largura informada ao sistema resulta em erros na medição de área e, conseqüentemente, em erros na medição da produtividade da cultura.

REITZ & KUTZBACK (1996) sugerem que, melhor que confiar na habilidade em manter constante a relação entre largura de corte informada ao sistema e largura de corte efetiva, seria a medição automática e contínua da largura de corte. Para tanto, desenvolveram um sensor ultrassônico instalado nos limites da plataforma de corte. Os autores concluíram que, na prática, a acurácia desse sensor era limitada pelo espaçamento das fileiras e que problemas de acamamento dificultavam a utilização do sensor, que inseria significativos erros na medição da área. VANSICHEN & DE BAERDEMACKER

(1992) reportaram as determinações da largura de corte com acurácia menor que dois centímetros utilizando um transdutor ultrassônico de distância durante colheita de trigo.

MOORE (1998) estudou o efeito de passadas com larguras de plataforma parcial em seis talhões durante três anos, comparando-as com valores vizinhos obtidos com largura de plataforma total e encontrou diferenças que variam de 1,19 a 3,02 t ha⁻¹, devido à medição incorreta da área de corte da plataforma. De acordo com o autor, a diferença entre a largura de corte efetiva e a largura de corte informada ao sistema resultou numa redução da produtividade média em 0,31 t ha⁻¹, correspondendo a uma redução de 2,4%.

Para minimizar este problema, MENEGATTI (2002) selecionou e retirou com o auxílio de planilha eletrônica, todos os pontos que continham a largura da plataforma nula ou maior que a máxima.

2.3. Correção pós-processada de erros em mapas de produtividade

A filtragem pós-processada em erros de mapas de produtividade se tornou uma prática mundialmente adotada devido sua segurança e praticidade. Essa filtragem tem sido atualmente feita por dois métodos. O de aplicação de algoritmos de filtragem, que é mais rápido, mas que na prática é menos confiável, devido a grande quantidade de pontos retirados, e a aplicação de filtros simples, para eliminação manual de pontos. Este último método requer do especialista certo conhecimento sobre a área colhida e uma grande quantidade de tempo, mas em geral obtém resultados mais confiáveis.

CHUNG, SUDDUTH & DRUMMOND (2002) determinaram o tempo de atraso em mapas de colheita, para os fatores produtividade, umidade e elevação, através de três procedimentos: método geoestatístico, método visual e método de decomposição de imagens binárias. O primeiro método assume que a dependência espacial entre as observações pode ser expressa através do semivariograma, e aumento das medidas de variação do efeito pepita, que prevê o erro aleatório em um conjunto de dados espaciais, supõe seu relacionamento com o tempo de atraso. Esta variação do erro aleatório poderia ser minimizada com o verdadeiro tempo de atraso. O segundo método assume

que a direção de passagem da colheita é alternada, então o tempo de atraso causa grande similaridade entre os vizinhos transversais, e transforma-se em áreas homogêneas. Se o tempo de atraso inapropriado é usado, então as bordas de algumas áreas não têm o mesmo valor, portanto tem colorações diferentes. Os resultados obtidos foram comparados com tempos de atrasos já conhecidos e os métodos de determinação com bases geoestatísticas levaram vantagem sobre os métodos de análise de imagens binárias e o visual.

YANG, EVERITT & BRADFORD (2002) estimaram o tempo de atraso ótimo para cultura de sorgo nas safras de 1998 a 2000, através de imagens de sensoriamento remoto. O método consiste em assumir que um tempo de atraso incorreto causaria uma redução da correlação entre produção e a imagem de sensoriamento remoto do campo.

BLACKMORE & MARSHALL (1996) propuseram a técnica chamada *Potential mapping*, que teoricamente eliminaria o erro na medição de área, sugerindo que os monitores de produtividade gravassem a produtividade, enquanto a área poderia ser definida posteriormente por um sistema de informação geográfica. Tal técnica foi abandonada por que introduzia significativa quantidade de erros nas bordas do talhão, além da sua difícil aplicabilidade.

HANEKLAUS et al. (2000) ressaltaram que a qualidade de um mapa de produtividade depende dos procedimentos adotados em campo e que os erros presentes devem ser retirados. Os autores retiraram e trataram erros de posicionamento e produtividade improváveis, altas e baixas. Eles identificaram ainda problemas não resolvidos na produção de mapas de produtividade como tempo de atraso de grãos e largura efetiva de corte pela plataforma da colhedora.

MOLIN & GIMENEZ (2000) desenvolveram um algoritmo para a redução de erros em mapas de produtividade. Os autores trabalharam com os parâmetros: média e diferença entre pontos a varias distâncias na linha, sendo o algoritmo programado e aplicado em planilhas eletrônicas. O algoritmo foi aplicado em dois conjuntos de dados e foram retirados de 21 a 41% dos pontos, resultando em aumento da produtividade média, redução da variância e do desvio padrão, ressaltando o fato de que a qualidade da informação pode ser prejudicada em parte pela eliminação de grande quantidade de pontos, mas

que ainda assim, a densidade dos pontos se manteve elevada. Os autores concluíram que é bastante simples a criação do algoritmo, mas que é necessário conhecimento dos principais tipos de erros presentes nos mapas.

TAYLOR, KASTENS & KASTENS (2000) avaliaram uma nova técnica chamada “Multi-purposing Grid Mapping - (MPGM)”, para criação de mapas de produtividade. A técnica consiste na determinação de células dentro das quais os pontos de produtividade são analisados. Com base no coeficiente de variação do fluxo de grãos, as células são classificadas como boas ou ruins para a criação final do mapa de produtividade. Os autores concluíram que a técnica é efetiva na criação de mapas de produtividade, especialmente para as condições onde se sabe da existência de erros da largura de plataforma.

MENEGATTI (2002) desenvolveu uma metodologia para identificação, caracterização e remoção de erros em mapas de produtividade gerados pela maioria dos monitores comercializados no mercado brasileiro. Na Figura 3 o autor mostra um fluxograma com etapas de aplicação do processo de filtragem de dados brutos, obtidos do monitor de colheita.

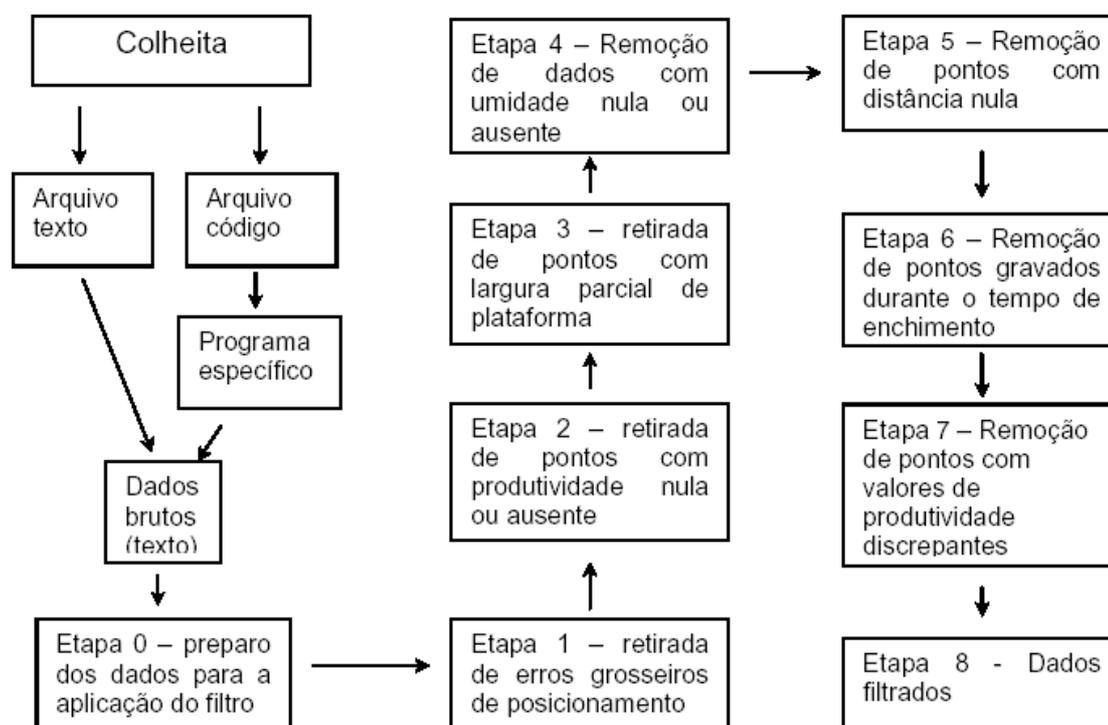


Figura 3. Fluxograma de etapas de aplicação do processo de filtragem de dados brutos (MENEGATTI, 2002).

Como podemos observar o autor não propõe uma metodologia específica para correção do tempo de atraso dos grãos no conjunto de colheita, o que é tratado pelos autores CHUNG, SUDDUTH & DRUMMOND (2002) e YANG, EVERITT & BRADFORD (2002) como sendo o principal problema na geração de mapas de produtividade confiáveis.

3. Material e métodos

3.1. Colheita monitorada

Os dados de produtividade utilizado neste estudo foram coletados na propriedade rural do Sr. Dircio Dambros, localizada na zona rural do município de Cascavel, Estado do Paraná, com localização geográfica de 53° 31' 26.4" de longitude Oeste e 24° 58' 44.4" de latitude Sul de Greenwich, com elevação média de 650 metros, em uma cultura comercial de milho safrinha, com ciclo fisiológico de aproximadamente 120 dias e que foi semeada entre os dias 25 a 30 de janeiro de 2004, com espaçamento entre plantas de 0,20 metros e espaçamento entre linhas de 0,70 metros.

A colheita foi realizada do dia 30 de junho a 02 de julho de 2004, em uma área total de 32,80 ha, de onde foi retirada uma sub-área de 13,23 ha para ser analisada neste trabalho. A densidade de coleta foi de 589,8 pontos ha⁻¹, totalizando, nesta sub-área, 7803 pontos. Esta densidade de pontos é fruto do intervalo de leitura do monitor, que foi de 3 segundos e também da velocidade de deslocamento da colhedora, que foi em média de 5 km h⁻¹.

O único problema no ciclo da cultura foi o alto teor de umidade dos grãos que ocorreu devido ao excesso de precipitação pluviométrica na fase de maturação fisiológica da cultura, o que além de provocar a germinação dos grãos na própria espiga, atrasou a colheita em uma semana. Com a germinação dos grãos, ocorre acúmulo de umidade, além da queda na qualidade do produto comercializado devido ao ataque de fungos e doenças.

O monitor de produtividade utilizado foi o AgLeader®, modelo PF 3000®, montado no ano de 2001 a uma colhedora New Holland TC 57®, ano de fabricação 1994, com potência nominal de 123,6 kW, e plataforma despigadora de minho com 6 linhas, espaçadas entre si com 0,7 metros e capacidade de armazenamento no graneleiro de 5000 litros.

Este monitor de produtividade é composto por vários sensores como: sensor de fluxo de grãos, o sensor dielétrico de umidade, sensor de velocidade do elevador de grãos limpos, o sensor de altura da plataforma, além do DGPS e do próprio monitor, que faz a calibração dos sensores, as alterações de acordo com a necessidade do usuário e também armazenagem dos dados obtidos, assim como podemos observamos na Figura 4.



Figura 4. Colhedora equipada com sistema de monitoramento de produtividade.

O processo de monitoramento de colheita iniciou-se com o corte da planta pela barra de corte da plataforma da colhedora, onde se encontra o sensor de altura. Ele permite que a partir de uma altura pré-estabelecida pelo usuário, seja interrompida ou iniciada a coleta de dados pelo monitor e com isso garante uma correta coleta de dados quando a máquina estiver manobrando nas cabeceiras do talhão.

A partir do corte das plantas, elas passam pelas partes internas da máquina, onde são trilhadas em partes como: cilindros, peneiras, retilhas e

saca-palhas, como podemos observar na Figura 5. Já separados das plantas, os grãos tem de seguir pelo elevador de grãos limpos até o graneleiro. No elevador de grãos limpos estão fixados o sensor de umidade e o sensor de fluxo de grãos, nesta ordem. Sua disposição vai influenciar a coleta de informações pelo monitor, porque influencia diretamente o tempo de atraso dos dados.

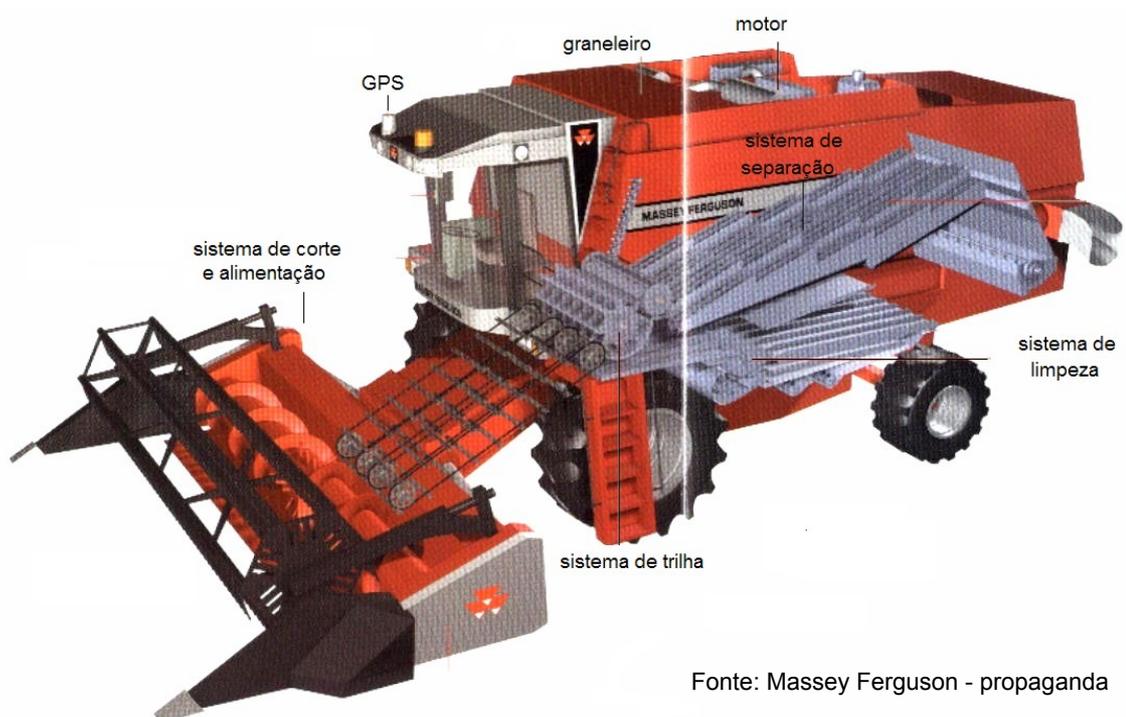


Figura 5. Esquema interno de funcionamento da colhedora.

O sensor dielétrico de umidade dos grãos encontra-se fixado lateralmente ao elevador de grãos limpos e monitora a umidade da massa de grãos durante o translado no talhão. Neste sensor também é determinada a temperatura da massa de grãos, para fins de calibração interna do monitor.

Na seqüência os grãos passam pelo sensor principal, que é o sensor de fluxo, que fundamenta seu princípio de leitura na detecção de massa. Os

grãos são arremessados pelo elevador de grãos limpos contra a placa de impacto, que possui uma célula de carga para medir a força aplicada pela massa, que é proporcional ao fluxo de grãos. Para um perfeito funcionamento desse sistema, há necessidade de monitoramento da velocidade do elevador, que é feito por um sensor de interrupção eletromagnética. Finalizado o processo de monitoramento, os grãos caem no graneleiro onde são posteriormente descarregados.

No momento em que ocorre o corte da planta pela plataforma, o monitor registra o posicionamento e o associa depois de um intervalo de tempo às leituras de umidade e produtividade. Este posicionamento é fornecido por um receptor DGPS Trimble®, modelo AG114®, que recebe sinais diferenciais do satélite *Oministar* na frequência L1 e na linguagem NMEA (*National Marine Electronics Association*) com um erro máximo de 1,00 metro. O receptor DGPS também faz o trabalho de sensor de deslocamento para o monitor de produtividade, determinando velocidade e distância entre pontos do translado.

3.2. Filtragem dos dados de colheita

Após a coleta, o próximo processo foi a filtragem ou remoção de dados considerados errados. A metodologia de determinação de erros e filtragem considera dados que podem ser identificados no mapa de produtividade, após sua confecção, e após o acompanhamento da correta calibração e funcionamento de todos os sensores da colhedora.

O primeiro passo desse processo foi a inserção do arquivo gravado no cartão de memória do monitor, em um programa específico para representação na forma de mapas dos dados coletados, que neste caso foi o SMS Advanced 4.02® - *Advanced Spatial Management System* (AGLEADER TECHNOLOGY, 2002), produzido pela empresa AgLeader®. No momento do descarregamento do cartão PCMCIA com os dados de colheita, o programa solicita ao usuário o tempo de atraso em segundos, bem como o tempo de enchimento e esvaziamento do sistema, como pode ser visualizado na Figura 6. Também são dadas várias opções de dados a serem exportados (tempo de trabalho entre os pontos, fluxo de grãos colhidos, data e hora em que o ponto foi gravado, e

muitas outras características), mas nesta primeira fase só serão pedidos ao sistema as coordenadas geodésicas dos pontos colhidos, o número de identidade do ponto (ID) e a produtividade úmida.

Tempos de atraso de zero a 27 segundos (com intervalo de 3 segundos) foram usados para determinação do tempo de atraso real, totalizando 10 repetições do mesmo conjunto de dados, só que com tempos de atraso diferentes. Para tempo de enchimento e esvaziamento nesta primeira fase, foi usado valor zero nas 10 repetições. Isso foi necessário para que estes dois fatores fossem calculados no próximo passo do processo.

Archiving Options Resource Tracking **Processing Settings** GPS Settings File Info Preview Map

Physical Product
MILHO

Operation Settings
Weight To Volume 0.721 tonne/m³
Dry Moisture 14.00 %
Expand Dry Moisture
Use Manual Swath
Manual Swath Width 4.572 m
Use Manual Moisture
Manual Moisture 14.00 %

Equipment Settings
Start Delay [] s
Stop Delay [] s
Flow Shift [] s

Filter Settings
Min. Yield Mass 0.628 tonne/ha
Max. Yield Mass 25.11 tonne/ha

Tempo de enchimento

Tempo de esvaziamento

Tempo de atraso

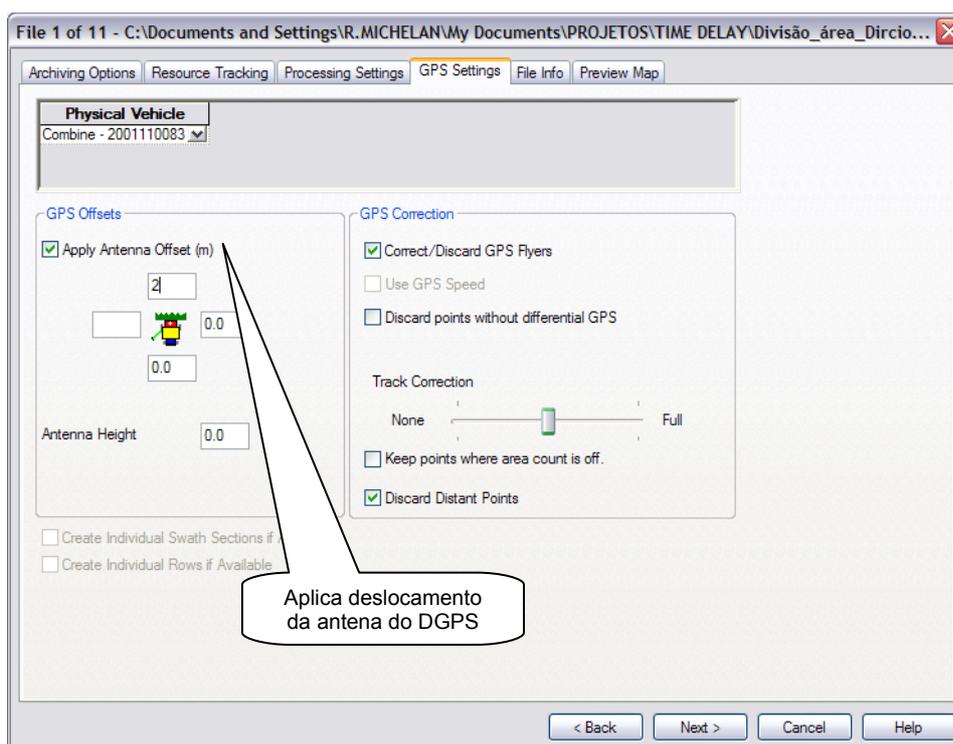


Figura 6. Módulos do programa SMS Advanced 4.02[®] de descarregamento dos dados do cartão PCMCIA da colhedora para o computador e suas principais características.

Autores como CHUNG, SUDDUTH & DRUMMOND (2002) trabalharam com tempos de atraso negativos em seus ensaios. Para se trabalhar somente com tempos de atraso positivos, e assim facilitar este processo, existem opções de “*off-set*” no posicionamento do DGPS, no momento de abertura dos dados, após a determinação do tempo de atraso, do enchimento e do esvaziamento. Essa correção de distância é necessária para que o sistema “interprete” que o DGPS esteja exatamente sobre a barra de corte da plataforma, mas que na verdade está sobre a cabine da máquina, e assim o grão não possa passar pelo sensor de fluxo antes do DGPS passar sobre o local onde o mesmo foi cortado. Neste caso o “*off-set*” foi de 2 metros à frente.

O segundo passo na filtragem foi à exportação dos dados do programa específico para uma planilha eletrônica, onde puderam ser manipulados. Nesta fase do processo, as coordenadas geodésicas foram convertidas em métricas, na projeção UTM (*Universal Transverse Mercator*), utilizando Datum WGS 84, na zona 22 Sul. Isso foi feito com o software *GPS TrackMaker Professional*® versão 3.7. (FERREIRA JUNIOR, 2002)

O terceiro passo foi à determinação do tempo de enchimento e esvaziamento. Para cada conjunto de dados foram separadas as mesmas cinco passadas da colhedora, e as informações de cada ponto foram colocadas de forma seqüencial, com base no sentido de translado, determinado pelo número de identificação dos pontos (ID) dentro da linha. Com a informação de distância entre pontos, foi calculada a distância acumulada nos 50 metros iniciais e finais de cada linha analisada. Também com o cálculo da média da produtividade das passadas escolhidas, os pontos foram agrupados em gráficos de dispersão da produtividade em função da distância acumulada. O intervalo de enchimento foi considerado aquele referente à distância necessária para que ocorresse o primeiro valor correspondente a 95% da média das 5 passadas. No intervalo de esvaziamento, foi feito o mesmo processo, mas no sentido contrário, ou seja, na média dos 50 metros finais.

De posse do tempo de enchimento e esvaziamento para os 10 conjuntos de dados, os dados brutos do cartão de colheita foram reprocessados da mesma forma quanto aos tempos de atraso, mas agora com tempo de enchimento e esvaziamento corrigidos. Quando se insere o valor de tempo de enchimento e

esvaziamento dentro do programa específico, são eliminados todos os pontos do início e do fim da passada, mesmo ela tenha sido finalizada ou iniciada no meio do talhão. Isso foi feito considerando o sentido de deslocamento da colhedora.

Os 10 conjuntos de dados foram novamente exportados para planilha eletrônica, agora com uma série de informações obtidas durante o processo de colheita. Uma dessas informações é a largura da plataforma indicada pelo operador. Como a colhedora opera com uma plataforma despigadora com largura de 0,70 metros entre linhas, valores diferentes de 0,70, 1,40, 2,10, 2,80, 3,50 e 4,20 metros foram eliminados do conjunto de dados.

Outra informação que podemos encontrar nos dados exportados pelo monitor é o *status* do sinal diferencial. Se o mesmo falhou em algum momento da colheita, o erro máximo de posicionamento pode aumentar de um para cinco metros, podendo o ponto ser registrado em outro local que não o coletado. Para que isso não ocorra, todos os pontos coletados sem sinal DGPS foram eliminados do conjunto de dados.

Para os dados de umidade dos grãos foram feitas às remoções dos pontos representados por valores nulos ou com o mínimo aceito pelo sistema que é de 5%, e que representa ausência de sinal deste sensor.

O próximo passo foi a retirada dos pontos com mesma localização e fora do talhão. Isso foi feito com uma ferramenta SIG (Sistema de Informações Geográficas), que além de verificar pontos que se encontram fora dos limites do talhão, também calcula e identifica pontos próximos ou iguais geograficamente, e neste caso, com limite de distância de um metro.

Também foi conduzida para os dados de produtividade, uma análise estatística exploratória, com média, mediana, quartil superior e inferior, para determinação de limites de dados discrepantes, apresentadas pelas equações 5 e 6. A eliminação de dados discrepantes de produtividade foi necessária, para que valores extremamente altos, que não poderiam ocorrer naturalmente em um plantio comercial de milho, sejam considerados como normais, assim como dados extremamente baixos, que na verdade podem ocorrer na natureza, mas que geralmente são ocasionados por erros no sistema de coleta.

$$LS = Q3 + 1,5 \cdot AI \quad (5)$$

$$LI = Q1 - 1,5 \cdot AI \quad (6)$$

Onde: LS: limite superior;

LI: Limite inferior;

Q3: terceiro quartil;

Q1: primeiro quartil e

AI: Amplitude interquartilica (Q3-Q1).

O próximo e mais importante processo de filtragem foi à escolha do correto tempo de atraso, dentre os 10 conjuntos de dados existentes. Como este tempo está ligado diretamente à velocidade de deslocamento da colhedora, procedeu-se na determinação de sub-áreas com velocidade de deslocamento homogênea dentro do mapa. Estas sub-áreas foram obtidas através da divisão aleatória do talhão em uma ferramenta SIG, onde todos os pontos dentro de uma mesma região foram separados e então, tratados diferencialmente, analisando-se sua dependência espacial através do método do semivariograma. Por ultimo foi selecionado dentre as 10 repetições dos dados o que mostrou menor efeito pepita na análise do semivariograma e foi utilizado como tempo de atraso correto.

Desde que os sensores de fluxo de grãos, de umidade e o DGPS são localizados em posições diferentes, tempos de atraso para cada um destes fatores foram determinados para cada sub-área de velocidade homogênea. As regiões com tempo de atraso mais apropriado foram reintegradas a área total, finalizando o processo. O Software Surfer 8 (2002) foi utilizado para confecção dos mapas temáticos de produtividade úmida, umidade e elevação dos dados reintegrados e corrigidos do fim do processo. Esses dados também foram submetidos a uma análise de dependência espacial e confrontados com dados brutos, ou seja, sem nenhum processo de filtragem e com um único tempo de atraso de zero segundo, para que fosse possível avaliar a importância do processo.

4. Resultados e discussão

Na Figura 7 está apresentada a produtividade de cinco passadas da colhedora escolhidas aleatoriamente dentro da área monitorada para a determinação do intervalo de enchimento e esvaziamento. Este intervalo pode ser observado nos gráficos da produtividade úmida de cada linha e de sua média em função da distância acumulada, crescente no início do traslado para o intervalo de enchimento e decrescente no fim para o esvaziamento.

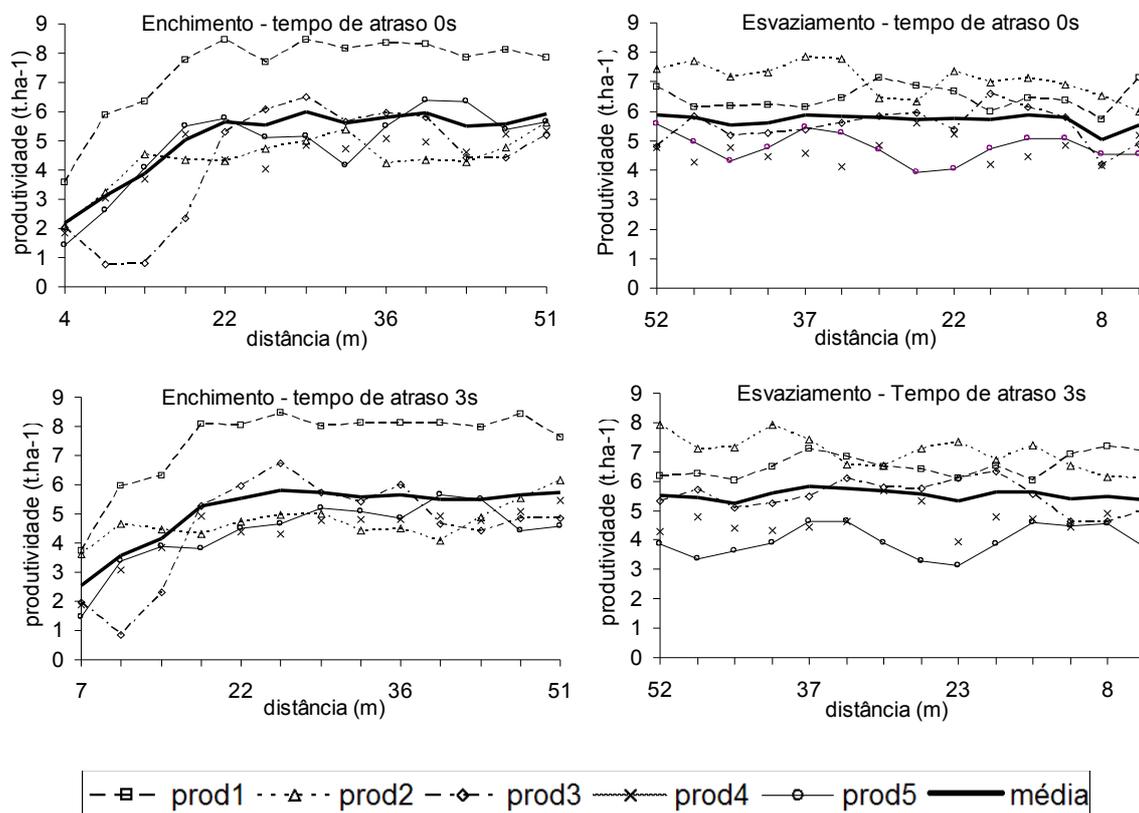


Figura 7. Efeito do intervalo de enchimento (gráficos a esquerda) e esvaziamento (gráficos a direita) na coleta de dados de produtividade (prod1, prod2, prod3, prod4, prod5 e média) para os tempos de atraso que vão de zero a 27 segundos.

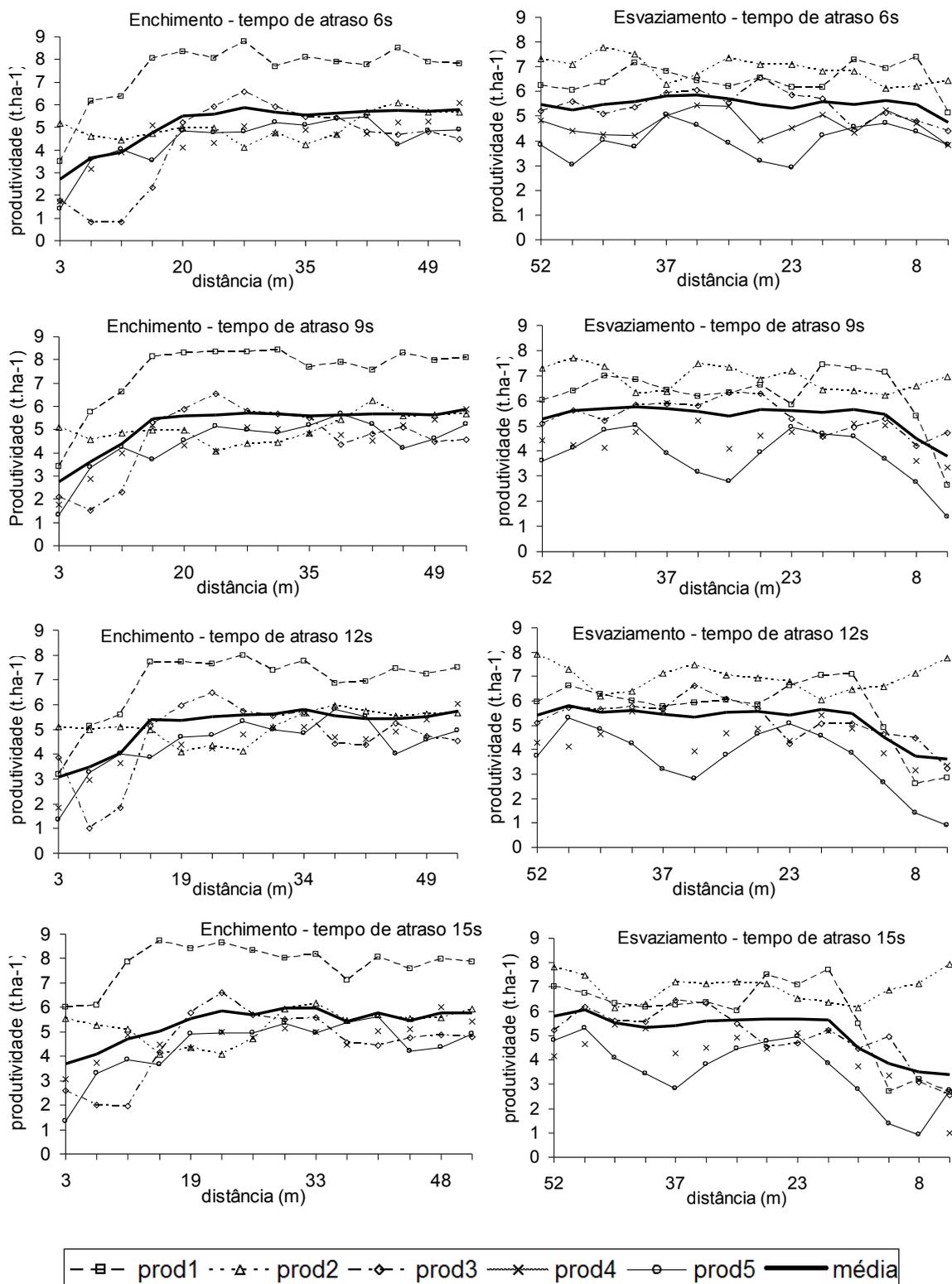


Figura 7 (cont.). Efeito do intervalo de enchimento (gráficos a esquerda) e esvaziamento (gráficos a direita) na coleta de dados de produtividade (prod1, prod2, prod3, prod4, prod5 e média) para os tempos de atraso que vão de zero a 27 segundos.

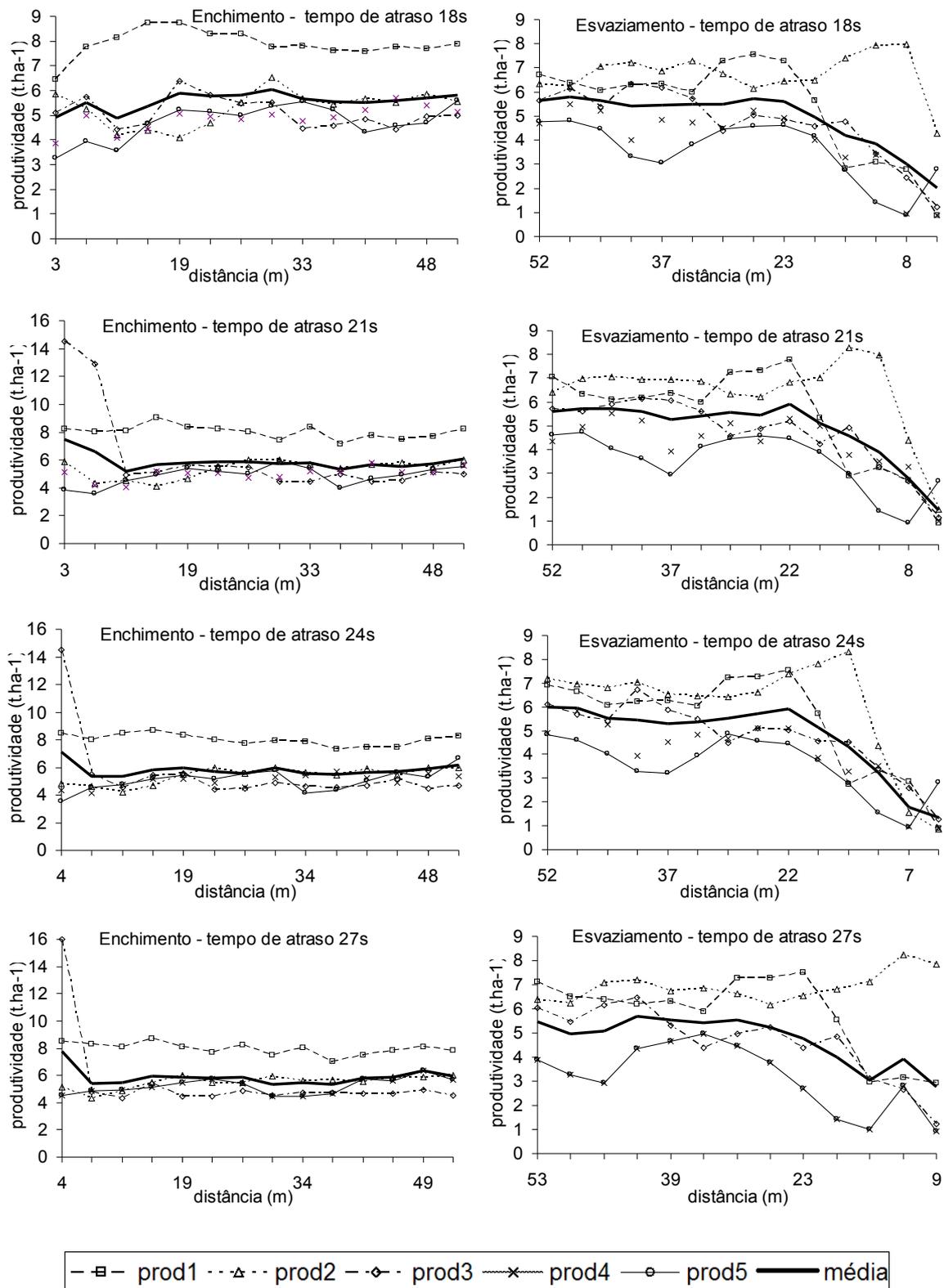


Figura 7 (cont.). Efeito do intervalo de enchimento (gráficos a esquerda) e esvaziamento (gráficos a direita) na coleta de dados de produtividade (prod1, prod2, prod3, prod4, prod5 e média) para os tempos de atraso que vão de zero a 27 segundos.

Nenhuma das linhas de produtividade amostradas teve seu início em zero $t\ ha^{-1}$, pelo próprio treinamento recebido pelo operador, que durante toda a operação acionou manualmente a coleta de dados do monitor, no máximo a dois metros de avanço dentro da passada de colheita, o que reduziu o efeito do tempo de enchimento e do tempo de atraso, pois a máquina já continha plantas e grãos no sistema de trilha, no momento inicial do funcionamento dos sensores. E a linha representa nos gráficos como “*prod1*” deteve os maiores valores para todos os tempos de atraso, no caso dos gráficos de enchimento, porque, apesar da aleatoriedade na seleção das linhas, esta foi amostrada dentro de uma região de alta produtividade.

Para gráficos de tempo de enchimento, nos tempos de atraso que vão de zero a 15 segundos, existe um acréscimo nítido na média de produtividade com a distância, caracterizando uma curva ascendente que se estabiliza em uma reta, após a distância aproximada de 20 metros. Para os outros gráficos, com os tempos de atraso de 18 a 27 segundos, esse comportamento não é notado.

Já para os gráficos do tempo de esvaziamento, ocorre o contrário. Existe uma tendência de decréscimo acentuado na média de produtividade, que se torna visível a partir do gráfico de atraso de 12 e vai até 27 segundos, também perto da distância de 20 metros.

Resultados como estes já eram esperados, pois quando não se trabalha apenas com o tempo de atraso correto, o deslocamento de dados pode eliminar ou aumentar os intervalos de enchimento e esvaziamento, porque, se o deslocamento dos pontos for no sentido do início da passada pode ocorrer diminuição do intervalo de enchimento e aumento do intervalo de esvaziamento. Já se o deslocamento dos pontos for no sentido do fim da passada, pode ocorrer o resultado contrário, com diminuição do intervalo de esvaziamento e aumento do intervalo de enchimento.

Como resultado dos gráficos de enchimento e esvaziamento apresentados na Figura 7 se tem a Tabela 1, que indica os respectivos intervalos de tempo e distância para que ocorresse o primeiro valor de 95% da produtividade média entre 5 passadas da colhedora. Os valores dos intervalos em segundos, para cada tempo de atraso foram inseridos no programa específico

para remoção dos pontos que estiverem dentro destes intervalos, sendo estes nas bordas ou no meio do talhão, caso ocorra uma parada no meio de um translado.

Tabela 1. Distância e tempo de enchimento e de esvaziamento obtido com o primeiro valor correspondente a 95% da produtividade média das 5 passadas da colhedora.

Tempo de atraso	Enchimento		Esvaziamento	
	Distância (m)	Tempo (s)	Distância (m)	Tempo (s)
0	21,7	15,0	0,0	0,0
3	17,9	12,0	0,0	0,0
6	20,0	15,0	7,7	6,0
9	16,3	12,0	11,5	9,0
12	15,6	12,0	15,2	12,0
15	18,6	15,0	18,9	15,0
18	14,9	12,0	22,6	18,0
21	0,0	0,0	18,7	15,0
24	0,0	0,0	18,6	15,0
27	0,0	0,0	27,2	18,0

Na Tabela 1 também se pode notar outro efeito de deslocamento da produtividade em relação às coordenadas de pontos, provocadas pelo tempo de atraso, onde intervalos de esvaziamento e enchimento com mesmo tempo tem distâncias diferentes. Na Tabela 1 se observa que os tempos de atraso de 18 e 27 segundos, o tempo de esvaziamento de 18 segundos é comum para ambos, mas as distâncias são de 22,6 e 27,2 metros, respectivamente. Como o intervalo de coleta do monitor foi de 3 segundos fixo entre pontos, o deslocamento de coordenadas acaba influenciando na distância média acumulada entre eles, pois ocorrem mudanças na quantidade de pontos no início e no fim de cada passada.

No processo de filtragem, os intervalos de enchimento e esvaziamento foram os primeiros a serem utilizados e o que contribuiu para a remoção da maior quantidade de pontos, resultando numa eliminação média de 5,69% dos pontos. Isso tende a facilitar a aplicação dos outros filtros, tendo em vista que ele atua principalmente nas bordas dos talhões, onde ocorre a maior concentração de erros. Em vários casos, um mesmo ponto pode ter mais de um erro, mas a eliminação do mesmo é feita pela primeira etapa de filtragem que o identifique.

Depois do reprocessamento com os 10 tempos de atraso diferentes e já descartando os intervalos de tempo de enchimento e esvaziamento segundo a

Tabela 1, os dados foram novamente exportados pelo programa específico e seguem no processo de filtragem manual, onde foram ordenados e eliminados segundo parâmetros estabelecidos pelo usuário na planilha eletrônica. Na execução da ordem de filtragem aleatória, foram eliminados do conjunto de dados os pontos com largura da plataforma diferentes de 0,70, 1,40, 2,10, 2,80, 3,50 e 4,20 metros, pressupondo a correta operação do sistema, onde as variações de largura das linhas colhidas foram corretamente informadas pelo operador. Isso correspondeu a uma eliminação média de apenas 0,09% dos pontos, reduzindo de 94,30% para 94,21% a quantidade de dados brutos iniciais.

Na eliminação de pontos com falha do sinal de correção diferencial do GPS, foram eliminados em média 2,04%, passando a quantidade de pontos de 94,21 para 92,18% a quantidade inicial.

Na filtragem de dados de umidade, foram eliminados em média 2,27% dos pontos, reduzindo de 92,18 para 89,90% a quantidade inicial de pontos. Neste caso, não foram observados dados nulos ou com valor zero, mas os valores de 4,8 e 5,2% foram comumente encontrados, pois o sensor de colheita passa por um processo de estabilização, quando não tem grãos em seu interior. Este processo ocorre na retomada da colheita, após o descarregamento dos grãos, mas que em alguns segundos, volta ao funcionamento normal.

No caso da localização, como não ocorreram pontos com distância zero em nenhum dos 10 tempos de atraso, foram removidos todos com até um metro de distância, eliminando em média 0,14% dos dados, reduzindo de 89,90 para 89,76% a quantidade inicial de pontos. Neste caso, são eliminados os dois pontos próximos, pois não se pode ter certeza de qual deles é o correto, devido à natureza destrutiva do processo de colheita. A Figura 8 mostra o exemplo de um conjunto de dados com pontos próximos até 1 metro.

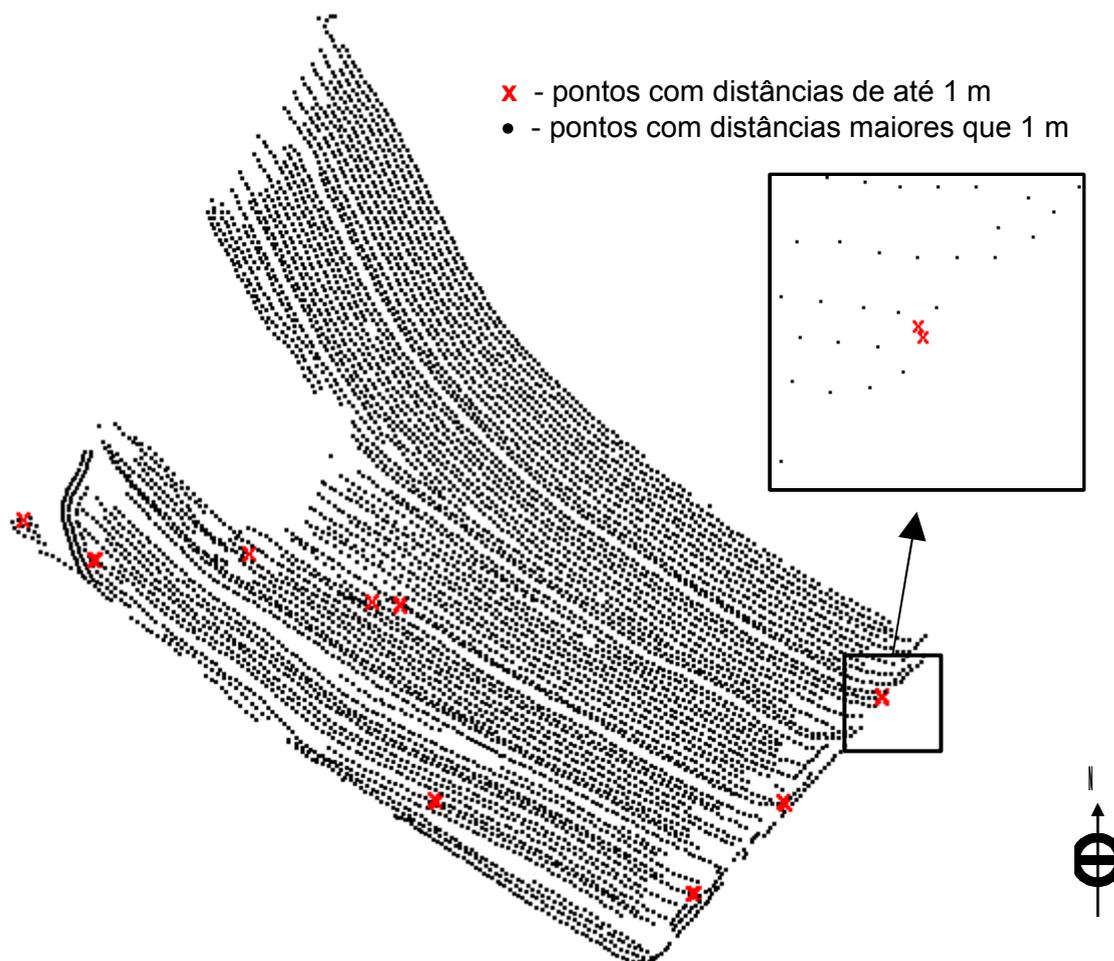


Figura 8. Exemplo de um conjunto de dados com distância entre pontos menores e maiores que um metro (tempo de atraso 3 segundos).

Na Tabela 2 são apresentadas às estatísticas descritivas da produtividade úmida para cada tempo de atraso. Na análise de dados discrepantes podemos observar uma relativa simetria para todos os tempos de atraso com o valor médio bastante próximo da mediana.

Tabela 2. Análise estatística descritiva dos dados brutos de produtividade úmida de milho, de acordo com cada tempo de atraso.

Medidas de dispersão	Tempos de atraso										Média
	0s	3s	6s	9s	12s	15s	18S	21s	24s	27s	
Média (t ha ⁻¹)	5,37	5,35	5,4	5,4	5,42	5,45	5,45	5,36	5,37	5,39	5,40
Erro padrão (t ha ⁻¹)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Desvio padrão (t ha ⁻¹)	1,72	1,71	1,66	1,67	1,68	1,65	1,63	1,7	1,7	1,7	1,68
Variância	2,94	2,93	2,76	2,8	2,82	2,71	2,66	2,88	2,89	2,88	2,83
Quartil inferior (t ha ⁻¹)	4,35	4,37	4,4	4,39	4,43	4,48	4,46	4,34	4,36	4,38	4,40
Mediana (t ha ⁻¹)	5,56	5,56	5,59	5,59	5,61	5,63	5,63	5,57	5,56	5,59	5,59
Quartil superior (t ha ⁻¹)	6,59	6,59	6,59	6,62	6,61	6,63	6,64	6,6	6,59	6,61	6,61
Amplitude Interquartilica	2,24	2,22	2,19	2,23	2,18	2,15	2,18	2,25	2,23	2,24	2,21
Mínimo (t ha ⁻¹)	0,81	0,81	0,79	0,77	0,81	0,76	0,77	0,65	0,74	0,65	0,75
Máximo (t ha ⁻¹)	31,8	31,4	17,6	16,6	31	26,8	17,3	20,5	19,2	21,6	23,38
Amplitude (t há ⁻¹)	31	30,6	16,8	15,9	30,2	26	16,5	19,9	18,5	21	22,63
Contagem de pontos	6967	7052	6903	6902	6818	6657	6647	7041	7024	6929	6894
Coefficiente de Variação (C.V. %)	32,0	32,0	30,8	31,0	31,0	30,2	29,9	31,7	31,7	31,5	31,2
Limite inferior (t.ha ⁻¹)	0,98	1,03	1,12	1,05	1,16	1,26	1,2	0,96	1,01	1,02	1,08
Limite superior (t.ha ⁻¹)	9,96	9,92	9,88	9,95	9,88	9,85	9,9	9,98	9,94	9,96	9,92
Pontos abaixo do limite inferior	26	39	14	34	43	32	38	25	25	28	30,4
Pontos acima do limite superior	7	10	8	8	8	7	7	7	12	13	8,7

O limite estatístico médio inferior foi de 1,08 t ha⁻¹, com desvio padrão de 0,10 t ha⁻¹, resultando em média 30 pontos abaixo do limite inferior de produtividade úmida. O tempo de atraso que apresentou a maior quantidade de pontos abaixo deste limite foi 12 segundos, com 43 pontos encontrados, e para o tempo de atraso de 6 segundos, foi encontrada a menor quantidade com 14 pontos. O limite superior para classificação de dados discrepantes foi calculado com produtividade média igual a 9,92 t ha⁻¹, com desvio padrão de 0,04 t ha⁻¹, havendo ocorrência de aproximadamente 9 pontos em média com valores superiores a este limite. O tempo de atraso que apresentou a maior quantidade de pontos acima deste limite foi 27 segundos, com 13 pontos encontrados, e com o mínimo de 7 pontos, para os tempos de atraso de 0, 15, 18 e 21 segundos.

A localização dos limites superior e inferior no gráfico de distribuição de frequência de produtividade coincidem com os pontos onde visualmente pode-se verificar alteração no padrão de distribuição, nos histogramas de frequência de produtividade da Figura 7. No entanto, podem ocorrer pontos corretos, principalmente com baixa produtividade que são classificados como discrepantes, mas devido à quantidade de pontos reais classificados, que passa de 6600 pontos para qualquer tempo de atraso, este problema terá um efeito não significativo.

Observa-se na Tabela 2 de análise descritiva de dados, podemos notar a importância da eliminação dos dados discrepantes do conjunto, pois produtividades de milho que chegam a máxima de $31,8 \text{ t ha}^{-1}$ são impossíveis de se obter em condições de campo.

Na Figuras 9, onde são representados todos os histogramas dos dados brutos, se pode notar uma concentração dos dados a esquerda do gráfico, onde a produtividade varia, de 0 a 10 t ha^{-1} , o que também é confirmado pela mediana ser maior que a média em todos os casos.

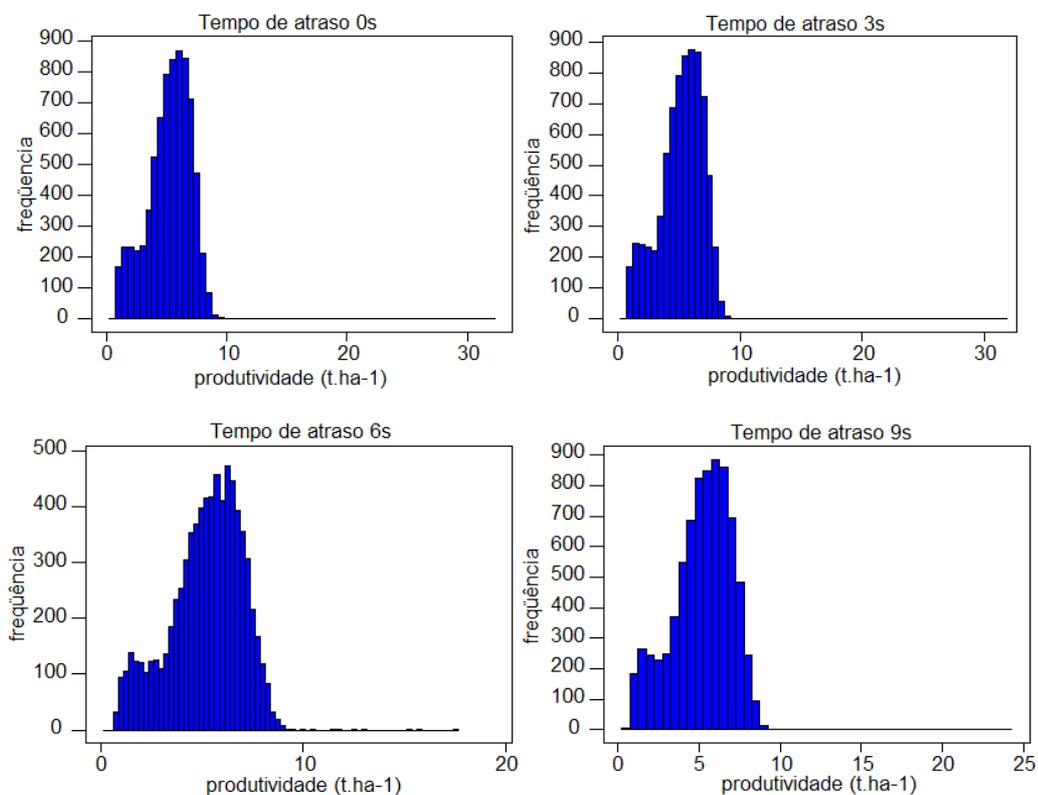


Figura 9. Histogramas de distribuição de frequência dos dados de produtividade para diferentes tempos de atraso.

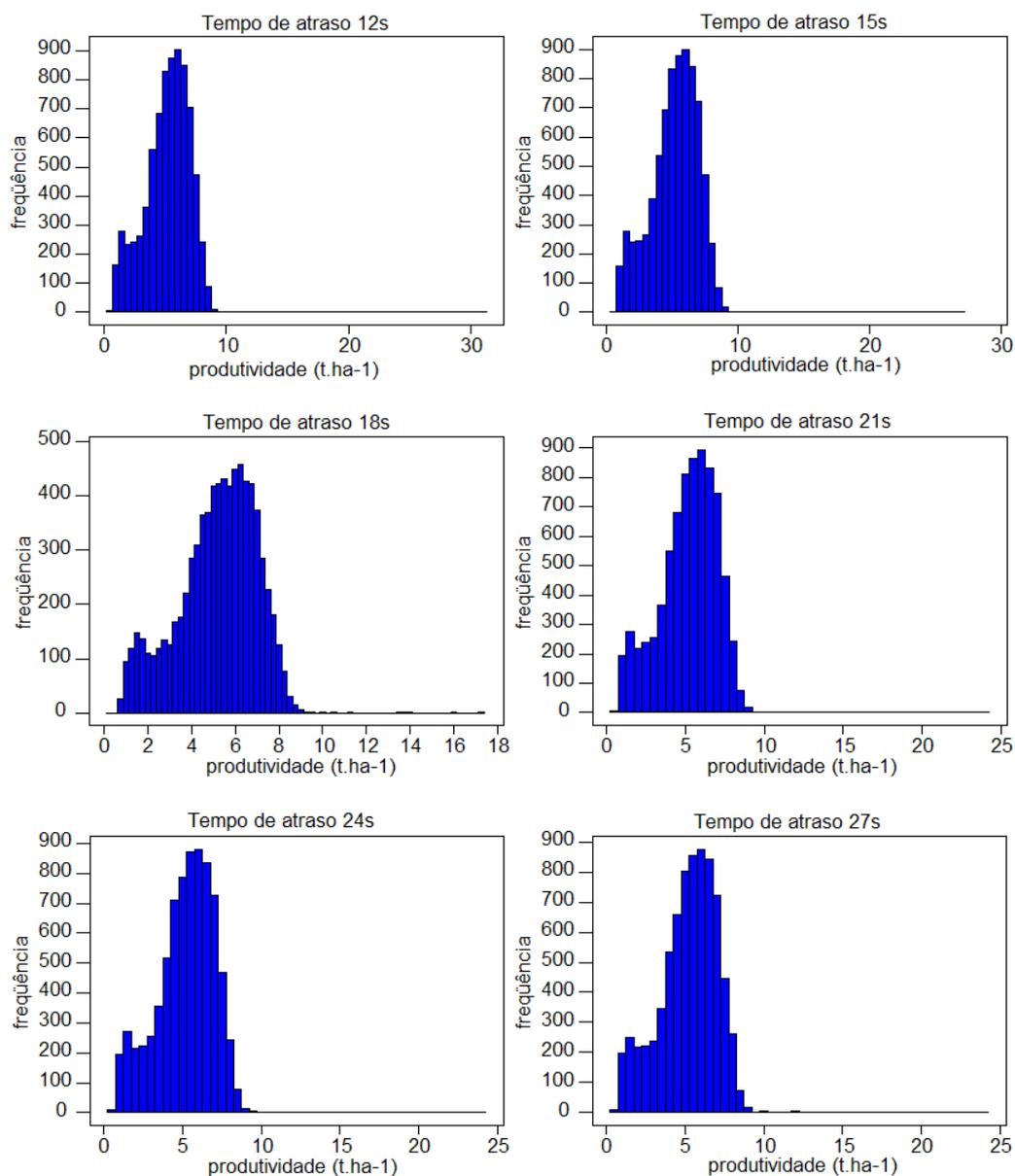


Figura 9. (Cont.) Histogramas de distribuição de frequência dos dados de produtividade para diferentes tempos de atraso.

A Tabela 3 apresenta o resumo do processo de filtragem, indicando a retirada de pontos em função de cada etapa aplicada aos dados. O tempo de atraso de 15 segundos que apresenta a maior quantidade de pontos brutos ou iniciais é o mesmo que tem a maior quantidade de pontos eliminada, ficando no final do processo de filtragem com apenas 84,5% dos dados. O principal problema deste tempo de atraso foi com o intervalo de enchimento e esvaziamento, onde se observa a maior eliminação de pontos.

Tabela 3. Dados remanescentes da mesma área em função de cada etapa da filtragem, para 10 tempos de atraso diferentes.

Tempo de atraso (s)	Dados Brutos	Filtros Aplicados						
		Tempo de enchimento e esvaziamento	Largura da plataforma Incorreta	Falha do DGPS	Umidade discrepante	Erros de Posição	Produtividade discrepantes	
0	7484	7314	7307	7166	6987	6967	6957	
3	7567	7412	7405	7254	7070	7052	7000	
6	7651	7226	7219	7082	6909	6903	6859	
9	7733	7235	7228	7082	6908	6902	6858	
12	7783	7144	7137	6994	6824	6818	6765	
15	7803	6965	6958	6826	6663	6657	6592	
18	7792	6967	6961	6819	6655	6647	6609	
21	7750	7434	7426	7237	7057	7041	7007	
24	7675	7419	7411	7217	7037	7024	6986	
27	7593	7316	7308	7117	6940	6929	6888	
		Porcentagens em relação ao total						
0	100	97,7	97,6	95,8	93,4	93,1	93,0	
3	100	98,0	97,9	95,9	93,4	93,2	92,5	
6	100	94,4	94,4	92,6	90,3	90,2	89,6	
9	100	93,6	93,5	91,6	89,3	89,3	88,7	
12	100	91,8	91,7	89,9	87,7	87,6	86,9	
15	100	89,3	89,2	87,5	85,4	85,3	84,5	
18	100	89,4	89,3	87,5	85,4	85,3	84,8	
21	100	95,9	95,8	93,4	91,1	90,9	90,4	
24	100	96,7	96,6	94,0	91,7	91,5	91,0	
27	100	96,4	96,2	93,7	91,4	91,3	90,7	

Como resumo ilustrativo desta tabela tem-se a Figura 10, onde observamos a quantidade inicial de dados brutos e a quantidade final de dados filtrados, onde coincidentemente o tempo de atraso 15s tem a maior quantidade de dados brutos iniciais e também a menor quantidade de dados filtrados.

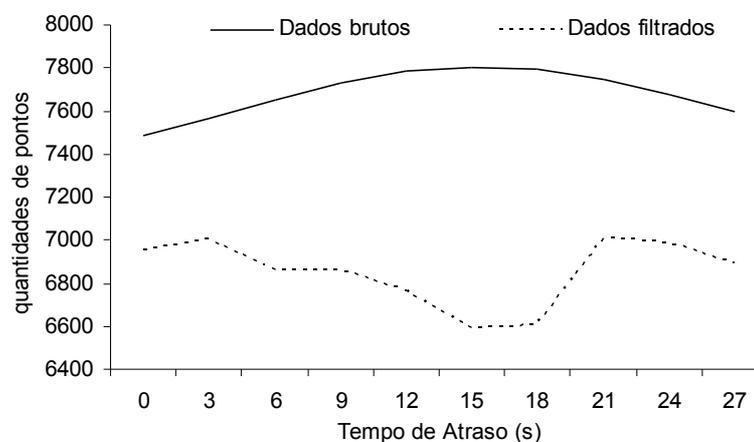


Figura 10. Distribuição da quantidade de pontos dos dados brutos e filtrados, para os vários tempos de atraso.

A retirada de pontos pelo processo de filtragem variou de no mínimo 7,5 e no máximo 15,5 % do total, para os dados obtidos com os tempos de atraso 3 e 15 segundos, respectivamente. A densidade de pontos após a filtragem também foi afetada, passando em média de 580,7 para 517,9 pontos ha⁻¹, como podemos observar na Tabela 4.

Tabela 4. Densidade de pontos por hectare de acordo com cada tempo de atraso, antes e depois do processo de filtragem.

Dados	Tempo de atraso (s)										média
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	
Brutos	565,7	572	578,3	584,5	588,3	589,8	589	585,8	580,1	573,9	580,7
Filtrados	525,9	529,1	518,4	518,4	511,3	498,3	499,5	529,6	528	520,6	517,9
Diferença	39,8	42,8	59,8	66,1	76,9	91,5	89,4	56,1	52,0	53,2	62,8

Apesar de ter se seguido uma ordem na filtragem dos dados, isso não significa que uma ordem oposta influenciaria na quantidade final de pontos. A mudança na ordem de filtragem influenciaria apenas nas quantidades parciais de dados após cada etapa.

O processo de filtragem dos dados atuou principalmente nos pontos localizados nas extremidades da distribuição de freqüência dos mapas de produtividade, diminuindo consideravelmente o limite máximo superior, como se pode observar nos histograma de distribuição dos dados filtrados (à direita), na Figura 11.

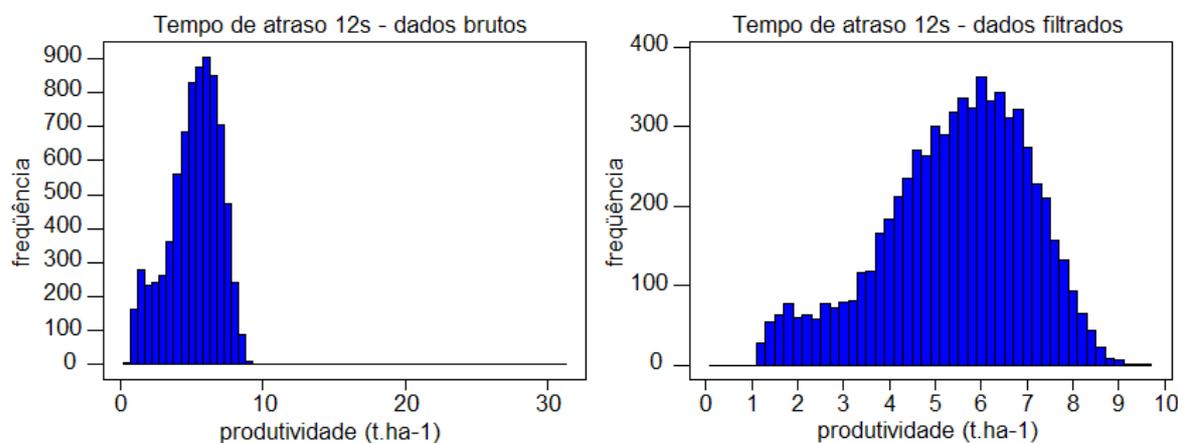


Figura 11. Histogramas de distribuição de frequência do tempo de atraso 12 s, antes e depois do processo de filtragem.

Figura 12. Divisão do talhão principal em 12 sub-áreas para determinação do tempo de atraso correto.

Cada uma das 12 sub-áreas representadas na Figura 12 foi inserida em uma ferramenta SIG, onde serviu de parâmetro para divisão dos 10 conjuntos de dados com tempos atraso diferentes, e foram submetidas ao processo de análise de dependência espacial do melhor ajuste do semivariograma, para cada uma de suas três variáveis (produtividade úmida, umidade e elevação) totalizando 360 análises. Os resultados das análises de dependência espacial para todos os conjuntos de dados podem ser vistos na Tabela 5. Destes semivariogramas, todos os efeitos pepita para os fatores produtividade úmida, umidade e elevação foram tabulados e podem ser observada por região, na Figura 13.

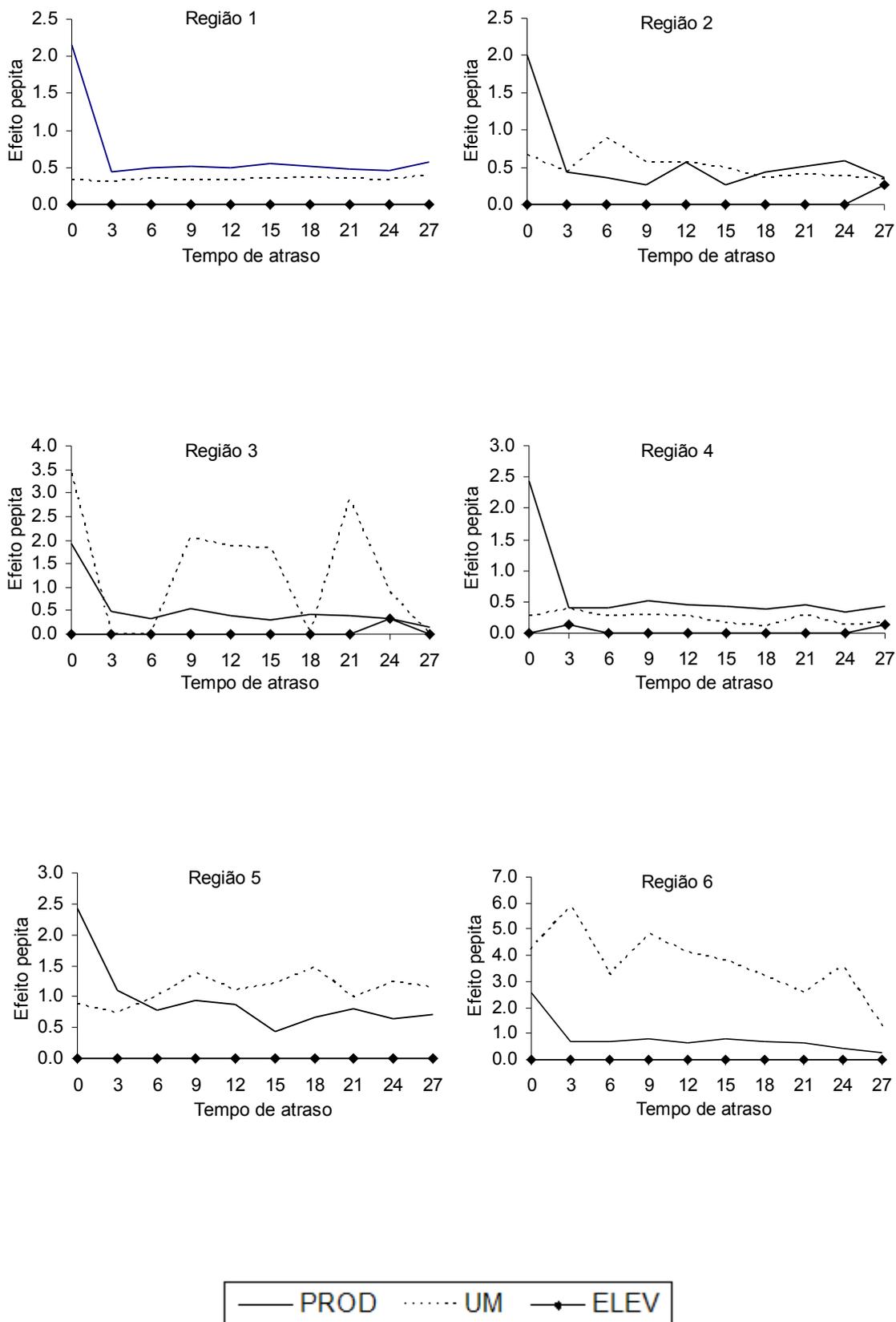


Figura 13. Gráficos dos efeitos pepita da variável produtividade úmida (PROD), umidade (UM) e elevação (ELEV), das 12 regiões, para os tempos de atraso que vão de 0 a 27 segundos.

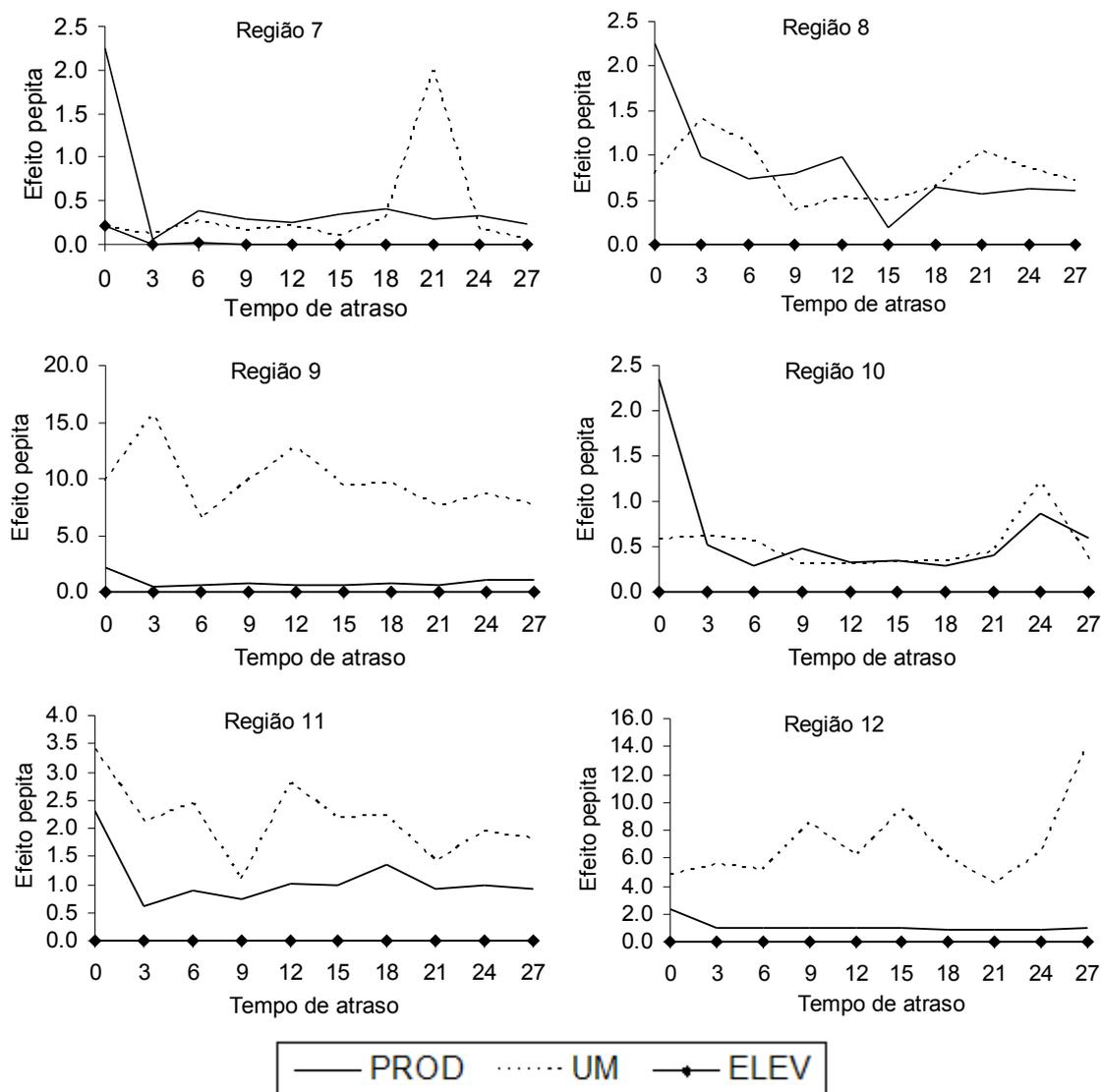


Figura 13. (Cont.) Gráficos dos efeitos pepita da variável produtividade úmida (PROD), umidade (UM) e elevação (ELEV), das 12 regiões, para os tempos de atraso que vão de 0 a 27 segundos.

Pode-se observar em todos os gráficos da Figura 13 que existe certa tendência no fator produtividade úmida, quando se trata do tempo de atraso de zero segundo, tendo o efeito pepita deste ponto, sempre com valores superiores aos demais. Isso se deve a alta variabilidade causada por este tempo de atraso a todas as 12 regiões. Ainda para o fator produtividade, o comportamento do efeito pepita dos tempos de atraso em todas as regiões pode ser considerado homogêneo devido à baixa variação dos valores do gráfico.

Tabela 5. Resultados da análise de dependência espacial dos dados pelo método do semivariograma.

Continua ...

Continua ...

Continua ...

Continua ...

Outra tendência dos gráficos da Figura 13 é a linearidade constante, próximo de zero dos efeitos pepita para o fator elevação. Esse comportamento de baixa variação é proveniente da própria “falta” do tempo de atraso deste dado, já que a elevação é transmitida juntamente com as coordenadas geodésicas pelo DGPS para o monitor de produtividade, e não sofre deslocamento entre os pontos com o tempo de atraso, como os fatores produtividade úmida e umidade.

Tabela 6. Menor efeito pepita e respectivo tempo de atraso para as 12 regiões e as três variáveis dos dados de colheita monitorada.

Região	Fator Produtividade		Fator Umidade		Fator Elevação	
	Menor Efeito Pepita	Tempo de Atraso (s)	Menor Efeito Pepita	Tempo de Atraso (s)	Menor Efeito Pepita	Tempo de Atraso (s)
1	0,431	3	0,299	3	0	0
2	0,262	9	0,332	27	0	0
3	0,144	27	0	3	0	0
4	0,346	24	0,115	18	0	0
5	0,445	15	0,741	3	0	0
6	0,263	27	1,280	27	0	0
7	0,064	3	0,060	27	0	3
8	0,198	15	0,388	9	0	0
9	0,415	3	6,443	6	0	0
10	0,279	18	0,302	12	0	0
11	0,622	3	1,079	9	0	0
12	0,827	18	4,175	21	0	0

Após os dados de produtividade úmida, umidade e elevação serem reagrupados em um só conjunto com a simples união dos pontos, de acordo com os tempos de atraso da Tabela 6, eles foram representados nos mapas de pontos da Figuras 14, 15 e 16:

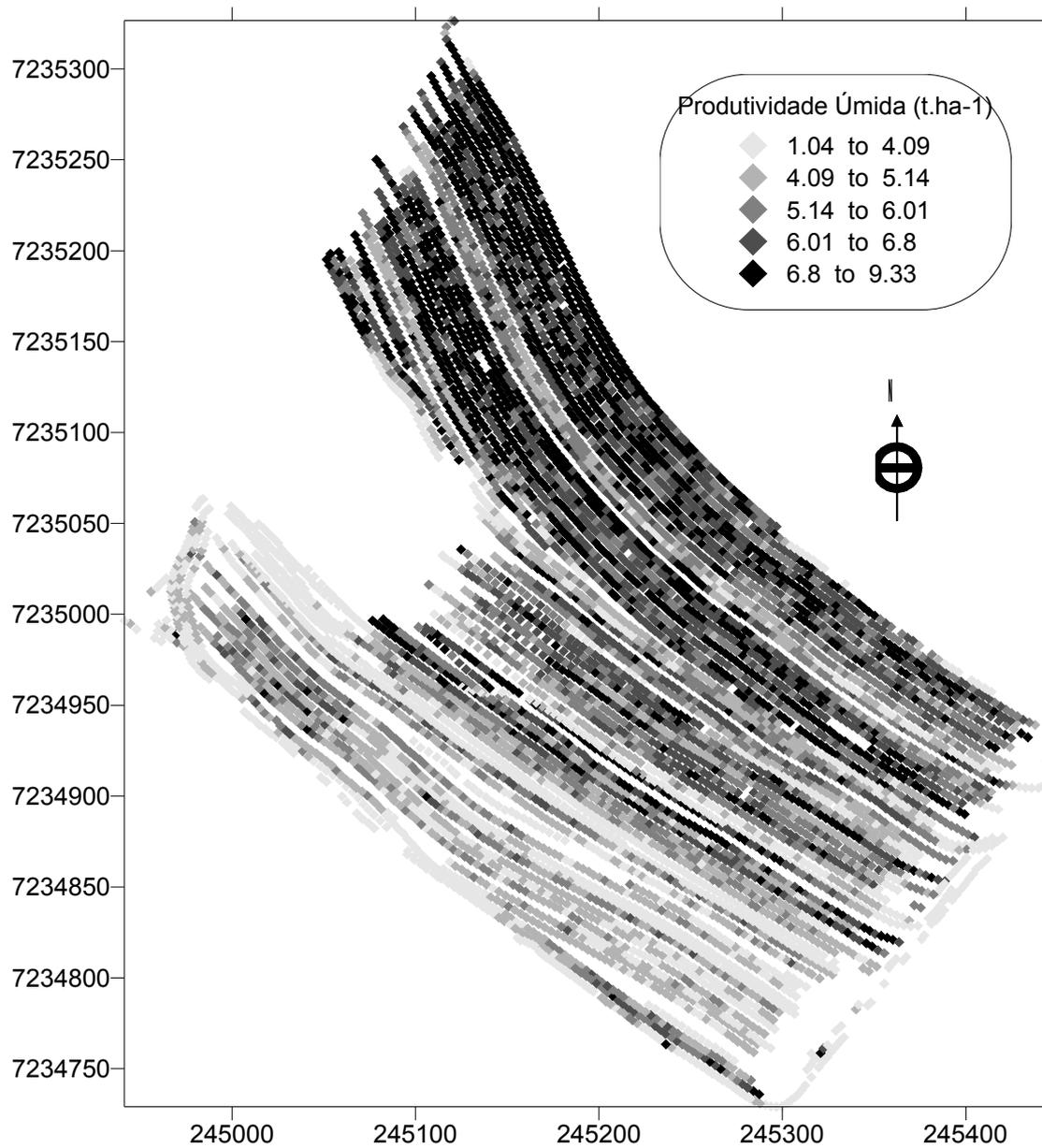


Figura 14. Mapa pontos de produtividade úmida após a limpeza e correção dos dados.

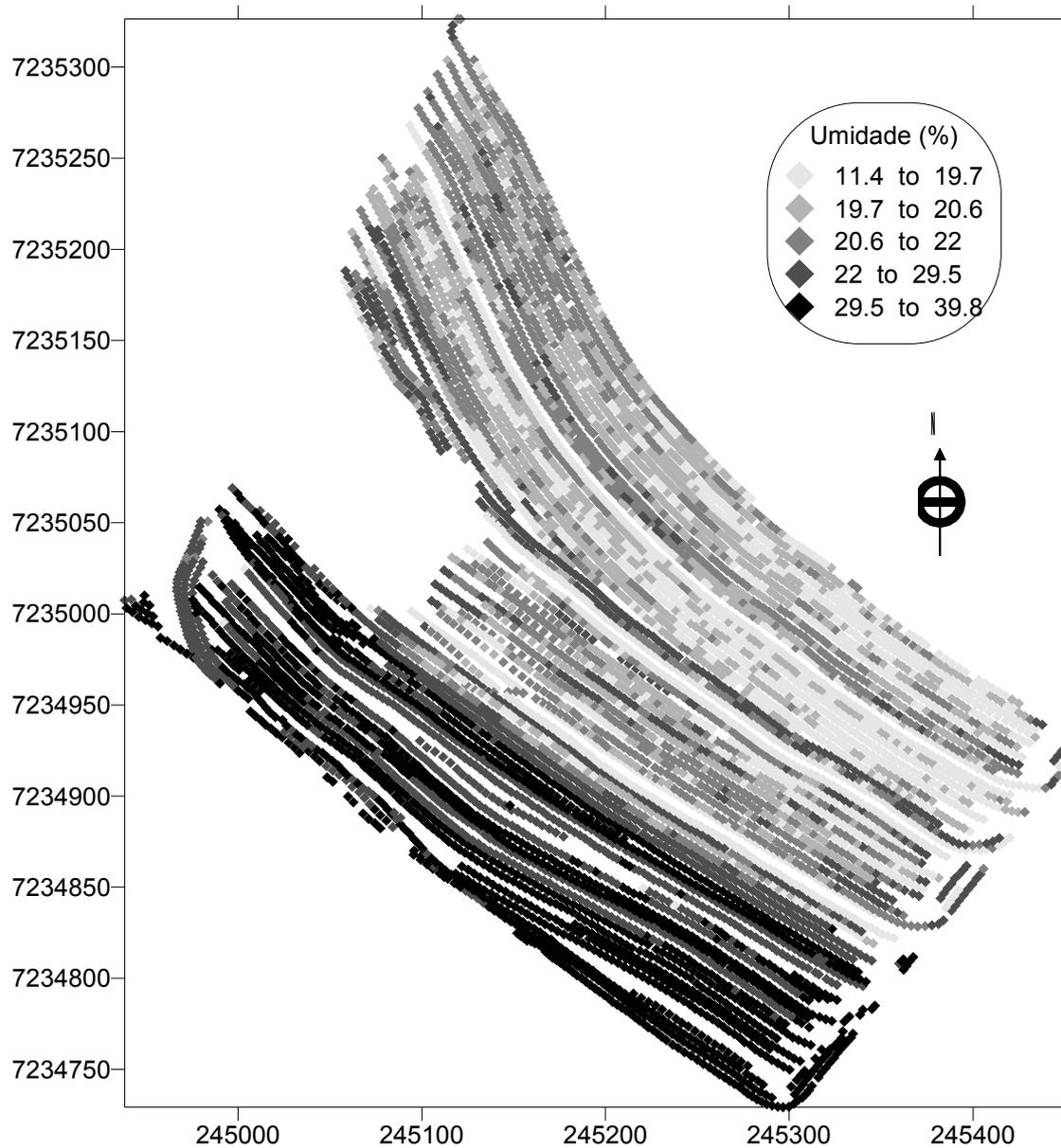


Figura 15. Mapa de pontos de umidade de grãos após a limpeza e correção dos dados.

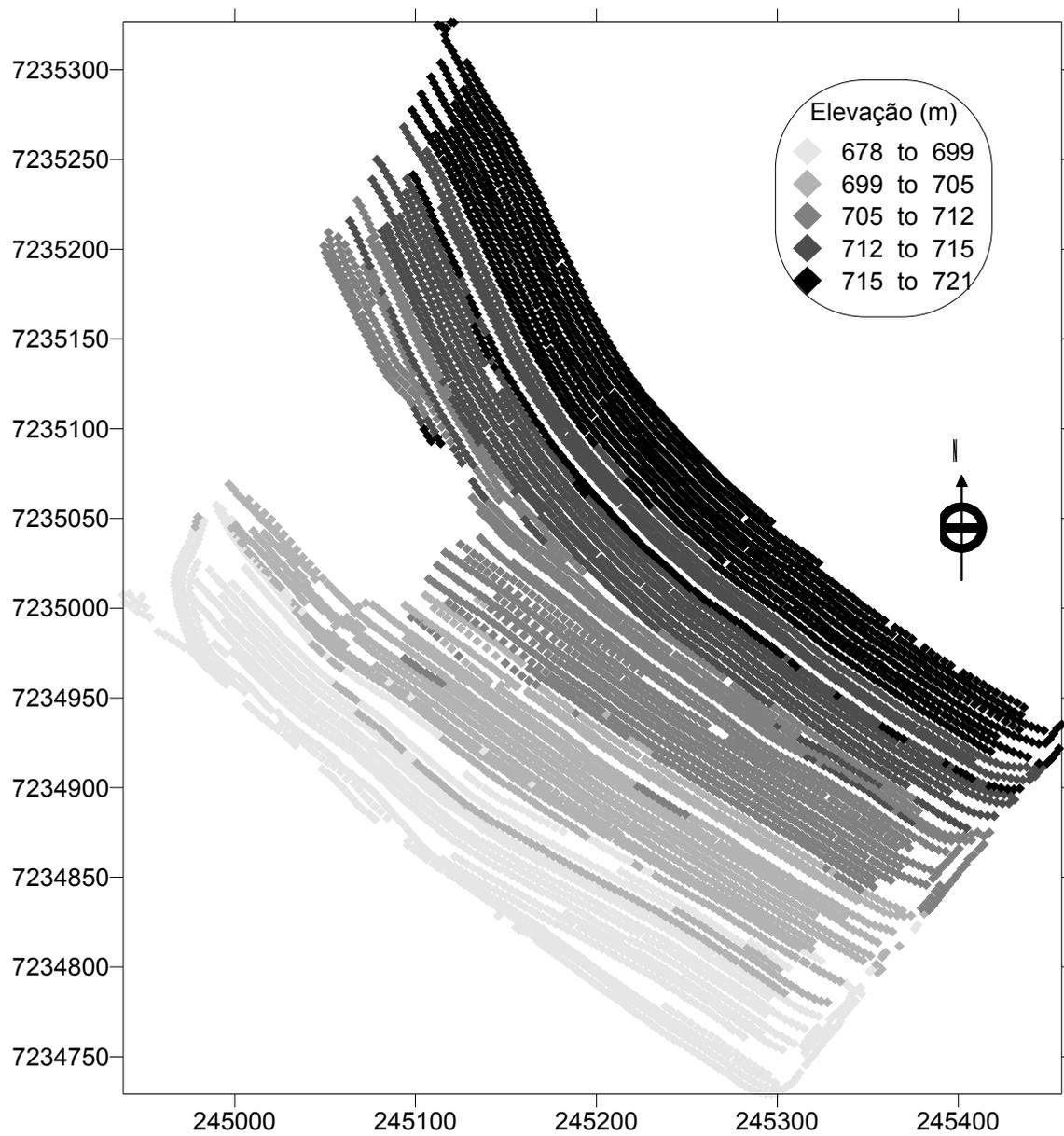


Figura 16. Mapa de pontos de elevação após a limpeza dos dados.

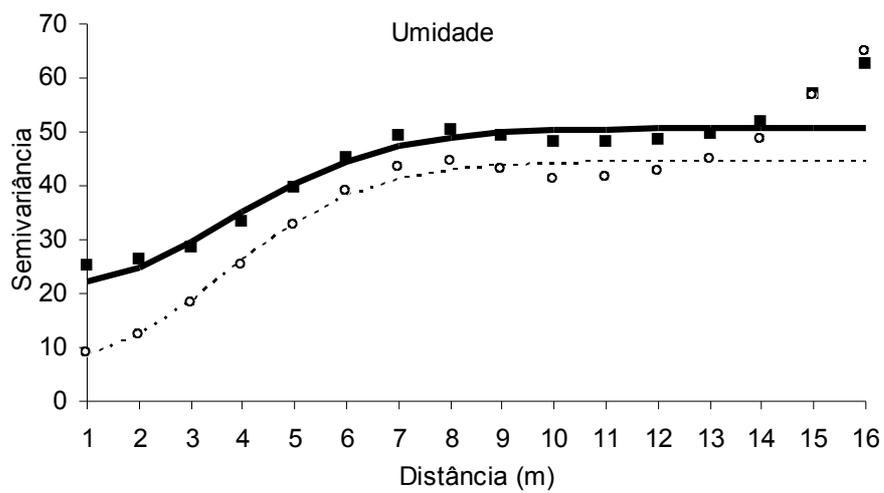
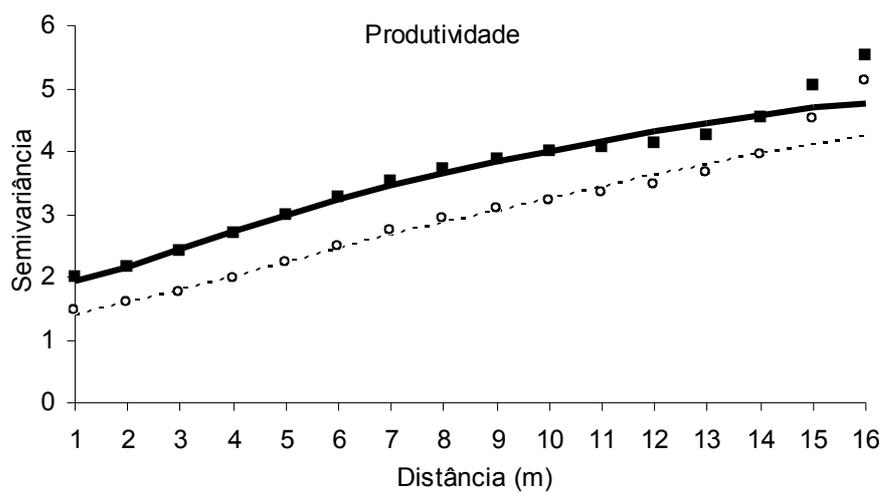
Analisando as Figuras 14, 15 e 16 se pode observar a influencia que o relevo exerce nos mapas de produtividade e umidade. Quanto maior a elevação do relevo, se pode observar uma diminuição considerável na produtividade e um significativo aumento na umidade.

Para verificar a influência do tempo de atraso e do processo de filtragem na qualidade dos dados, eles foram comparados com um conjunto de dados brutos, sem nenhum processo de filtragem e com o tempo de atraso único de zero segundo. Os parâmetros ajustados ao semivariograma produzidos pelos dados brutos e filtrados podem ser observados na Tabela 7, assim como os semivariogramas e seus ajustes, que podem ser vistos na Figura 17.

Tabela 7. Parâmetros do semivariograma para os dados brutos e filtrados.

Variável	Dados	Parâmetros do semivariograma			
		Modelo	Pepita (C0)	Patamar (C0+C1)	Alcance (a) [m]
Produtividade	brutos	Exponencial	1,594	4,44	374,1
	filtrados	Exponencial	1,159	8,30	1013,9
Umidade	brutos	Gaussiano	20,670	29,95	136,1
	filtrados	Gaussiano	6,306	38,10	128,4
Elevação	brutos	Gaussiano	0,552	141,30	193,5
	filtrados	Gaussiano	0,537	142,80	196,4

Em geral, a filtragem dos dados e a determinação regionalizada do tempo de atraso contribuíram para a caracterização da dependência espacial, reduzindo a variabilidade não explicada pelos modelos ajustados aos dados, representada pelo efeito pepita (C0). A filtragem teve maior resposta nos dados de umidade, onde o efeito pepita abaixou de 20,67 para 6,302. Já para os dados de elevação e produtividade úmida houve um resultado pouco expressivo, já que o efeito pepita variou de 0,552 para 0,537 e de 1,594 para 1,159, respectivamente.



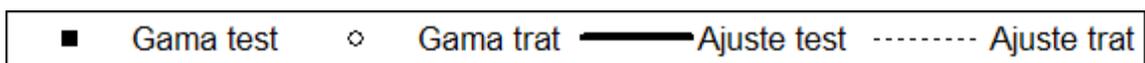
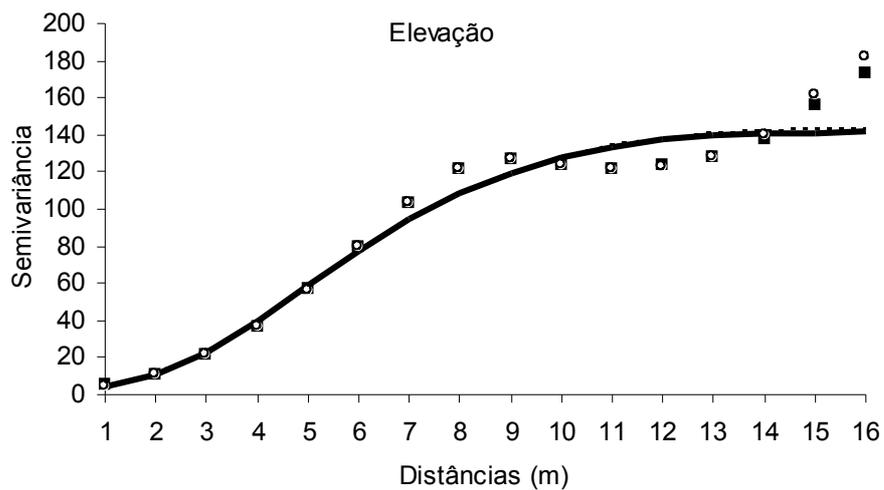


Figura 17. Semivariogramas ajustados aos dados antes (test) e depois (trat) do processo de filtragem e determinação do tempo de atraso.

5. Conclusões

Apesar da metodologia de filtragem e limpeza de dados de colheita ter sido desenvolvida na cultura de milho, ele se adaptaria facilmente a outros tipos de cereais como, por exemplo, soja, trigo, sorgo ou arroz. O principal problema seria a metodologia para limpeza de erros da largura da plataforma e parâmetros discrepantes para produtividade de cada cultura.

O método de determinação dos tempos de atraso pelo melhor ajuste do semivariograma foi satisfatório, apesar das condições atípicas, ou seja, alta variabilidade natural dos dados para os três fatores (produtividade úmida, umidade e elevação), provando as mudanças do tempo de atraso em uma área relativamente pequena.

Como o principal fator de influência na interpolação de dados para geração de um mapa é o efeito pepita (C_0) e não o alcance (a) do semivariograma, visualmente os mapas gerados a partir dos dados filtrados e não filtrados teriam poucas diferenças quando se trata de produtividade e elevação. Já para o fator umidade, a diferença visual seria significativa.

A incorporação de filtros em programas de geração de mapas de colheita vem avançando significativamente, mas ainda não permite uma total identificação de erros e limpeza de dados de produtividade gerados pelos monitores, o que diminui a confiabilidade do processo quando decisões gerenciais têm de serem tomadas a partir destes dados.

6. Referência Bibliográfica

AGLEADER TECHNOLOGY, INC. **Advanced Spatial Management System (SMS)** v. 4.02. Ames, USA, 2002.

ARSLAN, S; COLVIN T. S. Laboratory performance of a yield monitor. **Applied Engineering In Agriculture**. v. 15. n. 3. p. 189-195. mai. 1999.

AUERNHAMMER, H.; DEMMEL, M.; MUHR,K.; ROTTMEIER, J.; WILD, K. Yield measurement on combine harvesters. In: **ASAE WINTER MEETING**, Chicago, 1993. Chicago: ASA;CSSA;SSSA. p.15. 1993. (ASAE Paper 01-1507)

BALESTREIRE, L. A. Estudo de caso, uma pequena pesquisa brasileira em agricultura de precisão, In: Silva, F. M.; BORGES, P. H. de M. **Mecanização e agricultura de precisão**. Lavras: UFLA; SBEA, p. 302-231. 1998.

BECK, A. D.; SERCY, S. W.; ROADES, J. P. Yield data filtering techniques for improved map accuracy. **APPLIED ENGINEERING I AGRICULTURE**. v. 17. n. 4. p. 423-431. jul. 2001.

BIRREL, S. J.; SUDDUTH, K. A.; BORGELT, S. C. Comparison of sensors and techniques for crop yield mapping. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 14, n. 2, p. 215-223. 1996.

BLACKMORE, B. S. Precision Farming: an overview. **Agricultural Engineering**. St. Joseph, p. 86-88. 1994.

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.

BLACKMORE, B. S.; MOORE, M. Remedial Correction of yield map data. **Precision Agriculture**. v. 1. n. 1. p. 51-66. 1999.

BORGELT, S. C. Sensing and measuring technologies for site specific management. In: SOIL SPECIFIC CROP MANAGEMENT. 1., Madison, 1993. **Proceedings...** Madison: ASA;CSSA;SSSA, p. 141–157. 1993.

BURKS, T. F.; SHEARER, S. A.; FULTON, J. P.; SOBOLIK, C. J. Combine yield monitor test facility development and initial monitoring test. et al. **Applied Engineering In Agriculture**. v. 19. n. 1. p. 5-12. 2003.

BURKS, T. F.; FULTON, J. P.; SHEARER, S. A.; SOBOLIK, C. J. Influence of dynamically inflow rates on clean grain elevator yield monitor accuracy. In: **ASAE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING**, 1., Sacramento, 2001. Sacramento: ASAE;CSSA;SSSA, p. 1182-1196. 2001. (ASAE Paper 10-1182)

CHUNG, S. O.; SUNG, J. H.; SUDDUTH, K. A.; DRUMMOND, S. T.; HYUN, B. K. Spatial variability of yield, chlorophyll content, and soil properties in a Korean rice paddy field (Compact disc). In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 5. Madison, 2000, **Proceedings...** Madison: ASA, 20 p. 2000.

CHUNG, S. O.; SUDDUTH, K. A.; DRUMMOND, S. T. Determining yield monitoring system delay time with geostatistical and data. **Transactions of the ASAE**. v. 45. n.2, p. 915-926. 2002.

- COLVIN, T. S.; ARSLAN, S. A review of yield reconstruction and sources of errors in yield maps (compact disc). In: INTERNACIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 5., Madison, 2000. **Proceedings...** Madison: ASA, 15 p. 2000.
- CRESSIE, N. R.; HAWKINS, D.M. Robust estimation of the variogram. In: **Mathematical Geology**. New York, v.12, n.2, p.115-125. 1980.
- DALMEYER, A. **Agricultura de precisão e marketing**. Cultivar Maquinas, Pelotas, v. 26, p. 38. dez. 2003.
- DOELBELIN, E. O. **Measurement systems: application and design**. New York: D. M. Considini, 1966, 743 p.
- FERREIRA JUNIOR, O. **GPS TrackMacker Professional, v. 3.7**. Minas Gerais, Brazil, 2004.
- HANEKLAUS, S.; LILIENTHAL, H.; SCHNUG, E.; PANTEN, K.; HAVERECH, E. Routines for efficient yield mapping (Compact disc). In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 5. Madison, 2000, **Proceedings...** Madison: ASA, 2000.
- HURN, J. **GPS A guide to the next utility**. 3. ed. Sunnyvale:Trimble Navigation Ltd., 1989. 76 p.
- JOURNEL, A. G., HUIJBREGTS, C. J. **Mining Geoestistics**. London, U.K.: Academic Press. 1978.
- JUERSCHIK, P.; GIEBEL, A. Processing of point data from combine harvesters for precision farming. In: **EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 2.**, Denmark, 1997. Precision agriculture'99. Denmark: BIOS Scientific Publishers. v. 1, p. 297-307. 1999.

MENEGATTI, L. A. A. **Metodologia para identificação, caracterização e remoção de erros em mapas de produtividade**. 2002. 84 p. (Mestrado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo, São Paulo.

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.

MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L. M. Desenvolvimento de um algoritmo para redução de erros em mapas de rendimento obtidos em agricultura de precisão (compact disc). In: CONGRESSO E AMOSTRA DE AGROINFORMÁTICA, 1., Ponta Grossa, 2000. **InfoAgro 2000**. 17 p. Ponta Grossa, 2000.

MOORE, M. **An investigation into the accuracy of yield maps and their subsequent use in crop management**. Silsoe College, Silsoe. 1998. 379 p.

MORGAN, M.; ESS, D. **The precision farming guide for agriculturists**. Moline: Deer, 1997, 117 p.

NOLAN, S. C.; HAVERLAND, G. W.; GODDARD, T. W.; GREEN, M.; PENNY, D. C.; HENRIKSEN, J. A.; LACHAPELLE, G. Building a yield map from georeferenced harvest measurement. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 2.**, Denmark, 1999. Programme abstracts (poster session 2) list of exhibitors. Denmark: BIOS Scientific Publishers, 1999. p. 50.

PANNATIER, Y. **VARIOWIN: Software for Spatial Data Analysis in 2D**. New York: Springer, 1996, 91p.

PANTEN, K.; HANEKLAUS, S.; SCHUNG, E. Spatial accuracy of online yield mapping. **Landbauforschung Volkenrode**. v. 52. n. 4. p. 205-209. 2002.

PECZE, Z.; NEMÉNYI, M.; KISS, E.; PETROCZKI, F. Investigation of the accuracy of the RDS yield mapping system. In **EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 2**, Denmark, 1999. Programme abstracts (pôster session 2) list of exhibitors. Denmark: BIOS Scientific Publishers, 1999, p. 70.

REITZ, P.; KUTZBACK, K. H. Investigation on a particular yield mapping system for combine harvesters. **Computer and Eletronics in Agriculture**, v. 14, n. 2/3. p. 137-150, 1996.

SCHUELLER, J. K. O Estado-da-arte da agricultura de precisão nos Estados Unidos. In: BALASTREIRE, L. A. (Ed.). **O estado-da-arte da agricultura de precisão no Brasil**. Piracicaba, p. 8-15. 2000.

SEARCY, S. W., SCHUELLER, K., BAE, Y. H., BORGELT, S. C., STOUT, B. A. Mapping of spatially variable yield during grain combining. **Transactions of the**

ASAE. v. 32, n.3, p. 826-829. 1989.

SHEARER, S. A.; FULTON, J. P.; MCNEILL, S. G.; HIGGINS, S. F. Elements of precision agriculture: basics of yield monitor installation and operation. In: **Biosystems and Agricultural Engineering.** T.G. Mueller. University of Kentucky, Kentucky. 1999. 10. p.

SILVA, E. A. A.; OPAZO, M. A. U.; VILAS BOAS, M. A.; LAMPARELLI, R. **Programa computacional para produção e ajuste de modelos teóricos a semivariogramas experimentais em variáveis regionalizadas – Geocac.** In: XXXI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2002, Salvador. XXXI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2002.

STTOT, B. L.; BORGELT, S. C.; SUDDUTH, K. A. Yield determination using an instrumented Class combine. In: ASAE WINTER MEETING, Chicago, 1993. Chicago: ASA;CSSA;SSSA, p.1507-1521. 1993. (ASAE Paper 93-1507)

SURFER VERSION 8.00, Golden Software, Inc., Golden Colorado USA, 2002.

TAYLOR, R. K.; KASTENS, D. L.; KASTENS, T. L. Creating yield maps from yield monitor data using multi-purpose grid mapping (mpgm) (compact disc). In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 5., Madison, 2000. **Proceedings...** Madison: ASA, 2000.

THYLÉN, L; JURSCHIK, P.; MURPHY, D. L. P. Improving the quality of yield data. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 1., Warwick, 1997. **Precision agriculture'97**, Warwick: BIOS Scientific Publishers, v.1, p. 743-750. 1997.

VANSICHEN, R.; DE BAERDEMACKER, J. Measuring the actual cutting width of a combine by means of an ultrasonic sensor. TRENDS IN: AGRICULTURAL ENGINEERING, 1. Prague, 1992. **Proceedings...** Prague, p. 15-18. 1992.

WEBSTER, R.; OLIVER M. A. **Statistical Methods in Soil and Land Resource Survey**. New York, N. Y.: Oxford University Press. 1990.

YANG, C.; EVERITT, J. H.; BRADFORD, J. M. Optimum time lag determination for yield monitoring with remotely sensed imagery. **Transactions of the ASAE**. v. 45. n. 6, p. 1737-1745. 2002.