

**UFRRJ**  
**INSTITUTO DE TECNOLOGIA**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA**  
**AGRÍCOLA E AMBIENTAL**

**DISSERTAÇÃO**

Distribuição Espacial do Ruído Emitido por Máquinas  
Agrícolas

**FABIANO BATTEMARCO DA SILVA MARTINS**

**2020**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**  
**INSTITUTO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA E**  
**AMBIENTAL**

## Distribuição Espacial do Ruído Emitido por Máquinas Agrícolas

**FABIANO BATTEMARCO DA SILVA MARTINS**

*Sob a orientação do Professor*  
**GABRIEL SILVA E ARAÚJO FERRAZ**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Agrícola e Ambiental, no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental.

Seropédica, RJ  
Fevereiro de 2020

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M378d MARTINS, Fabiano Battemarco da Silva , 1977-  
Distribuição Espacial do Ruído Emitido por Máquinas  
Agrícolas / Fabiano Battemarco da Silva MARTINS. -  
Rio de Janeiro, 2020.  
90 f.

Orientador: Gabriel Silva e Araújo FERRAZ.  
Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal Rural  
do Rio de Janeiro, PGEAAmb, 2020.

1. Conforto Acústico. 2. Níveis de Ruído. 3.  
Variabilidade Espacial. I. FERRAZ, Gabriel Silva e  
Araújo , 1985-, orient. II Universidade Federal Rural  
do Rio de Janeiro. PGEAAmb III. Título.

“O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001”

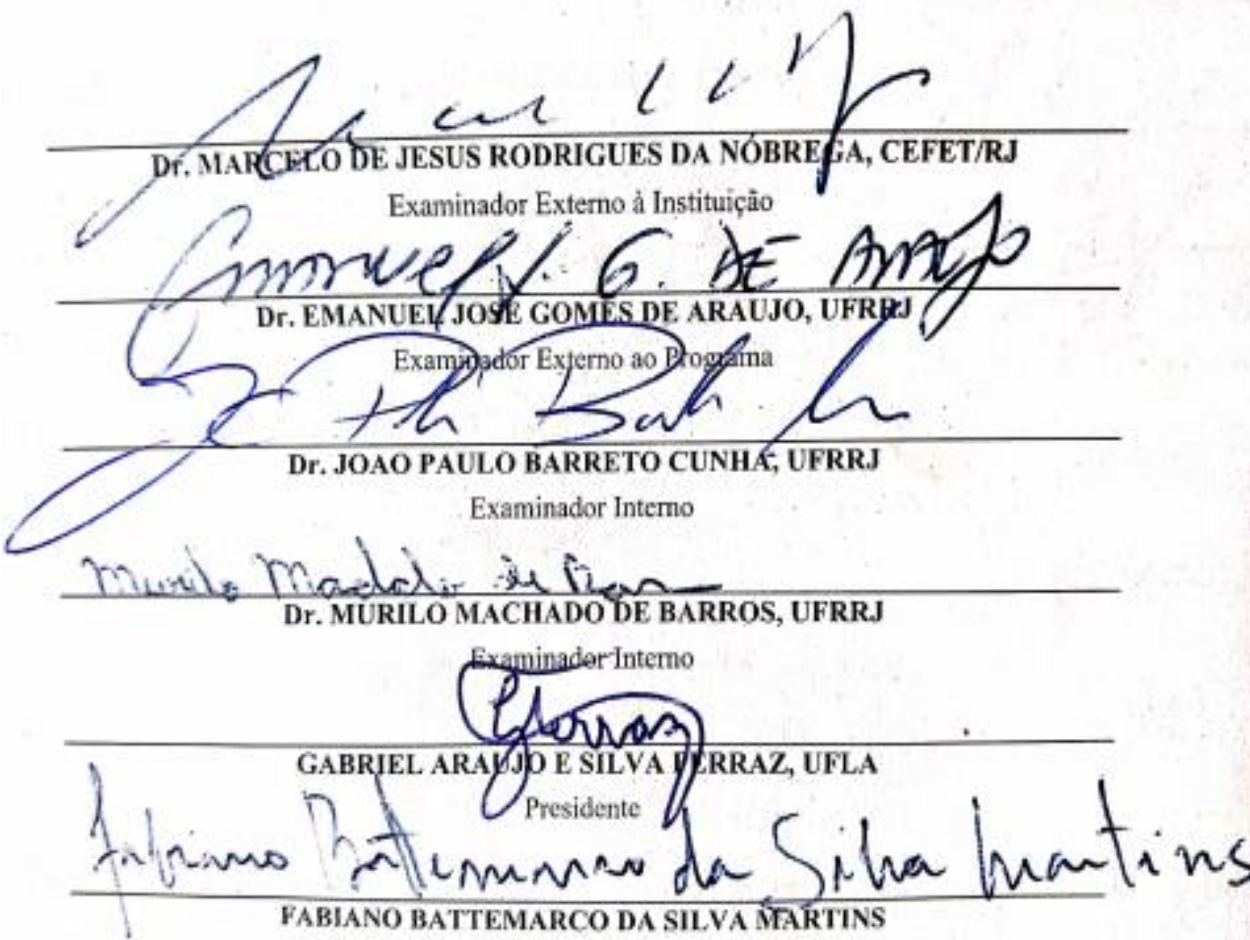
“This study was financed in part by The support of the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) - Finance Code 001”

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**  
**INSTITUTO DE TECNOLOGIA**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL**

**FABIANO BATTEMARCO DA SILVA MARTINS**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Agrícola e Ambiental**, no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental, área de Concentração em Sistemas Agrícolas.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 07/02/2020.



*Marcelo de Jesus Rodrigues da Nóbrega*  
\_\_\_\_\_  
Dr. MARCELO DE JESUS RODRIGUES DA NÓBREGA, CEFET/RJ  
Examinador Externo à Instituição

*Emanuel José Gomes de Araújo*  
\_\_\_\_\_  
Dr. EMANUEL JOSÉ GOMES DE ARAUJO, UFRJ  
Examinador Externo ao Programa

*João Paulo Barreto Cunha*  
\_\_\_\_\_  
Dr. JOAO PAULO BARRETO CUNHA, UFRRJ  
Examinador Interno

*Murilo Machado de Barros*  
\_\_\_\_\_  
Dr. MURILO MACHADO DE BARROS, UFRRJ  
Examinador Interno

*Gabriel Araújo e Silva Ferraz*  
\_\_\_\_\_  
GABRIEL ARAUJO E SILVA FERRAZ, UFLA  
Presidente

*Fabiano Battemarco da Silva Martins*  
\_\_\_\_\_  
FABIANO BATTEMARCO DA SILVA MARTINS

## RESUMO

MARTINS, Fabiano Battemarco da Silva. Distribuição Espacial do Ruído Emitido por Máquinas Agrícolas, 2020. 90p Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola e Ambiental). Instituto de Engenharia, Departamento de Engenharia Agrícola e Ambiental), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2020.

O ruído é um dos agentes físicos que oferecem riscos ocupacionais no qual os trabalhadores quando expostos demasiadamente a estes podem estar sujeitos à uma série de lesões. As máquinas agrícolas são uma importante fonte emissora de ruídos no meio agrícola. Dessa maneira, objetiva-se no presente trabalho, utilizar a geoestatística e, também, o controle estatístico de processos (CEP) para mapear a distribuição espacial do ruído emitido por tratores agrícolas com e sem acionamento de implementos agrícolas de forma a avaliar as zonas de salubridade para todos os trabalhadores envolvidos na operação mecanizada, a luz da Norma Regulamentadora 15 (NR 15). O experimento foi desenvolvido na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Seropédica-RJ e na Universidade Federal de Lavras (UFLA). Os tratores foram testados com e sem acionamento de implementos agrícolas. Os implementos à serem acionados pelos tratores foram, à roçadora, a enxada rotativa e a esparramadora de adubos. O decibelímetro digital foi utilizado para a coleta dos níveis de ruído em pontos distribuídos numa malha amostral regular de 1,0 x 1,0 m na UFRRJ e 2,0 x 2,0 m na UFLA ao redor destas máquinas. A dependência espacial do ruído foi analisada por meio de ajuste de semivariograma do tipo *Wave* e interpolação por krigagem ordinária. E, também, através de cartas individuais no controle estatístico de processos (CEP). Assim sendo, foi possível caracterizar a estrutura e a magnitude da dependência espacial dos níveis de ruído emitido pelo trator, bem como realizar o mapeamento de sua distribuição espacial de forma a identificar zonas salubres aos trabalhadores.

**Palavras-chave:** Conforto Acústico; Níveis de Ruído; Variabilidade Espacial.

## **ABSTRACT**

MARTINS, Fabiano Battemarco da Silva. Spatial Distribution of Noise Emitted by Agricultural Machines, 2020. 90p Dissertation (Master in Agricultural and Environmental Engineering). Institute of Engineering, Department of Agricultural and Environmental Engineering), Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2020.

Noise is one of the physical agents that offer occupational hazards in which workers, when overexposed to them, may be subject to a series of injuries. Agricultural machines are an important source of noise in the agricultural environment. Thus, the objective of the present work is to use geostatistics and, also, statistical process control (CEP) to map the spatial distribution of noise emitted by agricultural tractors with and without the activation of agricultural implements in order to evaluate the areas of healthiness for all workers involved in mechanized operation, in the light of Regulatory Standard 15 (NR 15). The experiment was developed at the Federal Rural University of Rio de Janeiro (UFRRJ), Seropédica-RJ and at the Federal University of Lavras (UFLA). The tractors were tested with and without driving agricultural implements. The implements to be driven by the tractors were, the brushcutter, the rotary hoe and the spreader of fertilizers. The digital decibel meter was used to collect noise levels at points distributed in a regular sampling grid of 1.0 x 1.0 m at UFRRJ and 2.0 x 2.0 m at UFLA around these machines. The spatial dependence of the noise was analyzed by adjusting the wave semivariogram and interpolation by ordinary kriging. And also, through individual letters in the statistical process control (CEP). Therefore, it was possible to characterize the structure and magnitude of the spatial dependence on the noise levels emitted by the tractor, as well as to map its spatial distribution in order to identify healthy areas for workers.

Keywords: Acoustic Comfort; Noise Levels; Spatial variability.

## LISTA DE ABREVIACOES E SMBOLOS

CEP - controle estatístico de processos;  
dB(A) - unidade de medida do nível do som, da intensidade sonora;  
ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas;  
OCDE - Organizao de Cooperação e Desenvolvimento Econmico;  
CNEEMA - Centro Nacional de Estudo e de Experimentao de Máquinas Agrícolas;  
NIOSH - National Institute for Occupational Safety and Health;  
GeoEAS - Geostatistical Environmental Assessment Software;  
OLS - Mínimos Quadrados Ordinários.  
Min – valor mínimo da variável;  
Md – Mediana;  
 $\bar{x}$  - Média;  
Máx – valor máximo da variável;  
DP – Desvio Padrão;  
Var – Variância;  
CV – Coeficiente de Variação (%);  
K – Coeficiente de Curtose;  
C<sub>0</sub> – Efeito Pepita;  
C<sub>1</sub> – Contribuição;  
C<sub>0</sub>+C<sub>1</sub> – Patamar;  
a – alcance;  
a` – alcance aparente;  
EM – Erro Médio;  
DP<sub>EM</sub> – Desvio Padrão do Erro Médio;  
ER – Erro Médio Reduzido;  
S<sub>ER</sub> – Desvio Padrão dos Erros Médios Reduzidos;  
EPI - equipamento de proteção individual.

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 1.** Amostragem em duas dimensões.

**Figura 2.** Semivariograma experimental, modelo teórico e o semivariograma típico e seus componentes.

**Figura 3.** Representação gráfica do modelo wave.

**Figura 4.** Coleta de dados experimentais, (a) decibelímetro digital modelo dec 460 utilizado nas medições da emissão do nível de ruído e (b) posicionamento da haste de coleta de dados.

**Figura 5.** Distribuição dos pontos amostrais dos níveis de ruído emitido pelo trator em estudo.

**Figura 6.** Semivariogramas dos tratores estudados: (a) Trator 1a, (b) Trator 1b, (c) Trator 1c e (d) Trator 1d.

**Figura 7.** Semivariogramas dos tratores estudados: (a) Trator 2a, (b) Trator 2b, (c) Trator 2c e (d) Trator 3a.

**Figura 8.** Semivariogramas dos tratores estudados: (a) Trator 3b, (b) Trator 3c, (c) Trator 4 e (d) Trator 5a.

**Figura 9.** Semivariogramas dos tratores estudados: (a) Trator 5b, (b) Trator 6a, (c) Trator 6b e (d) Trator 7a.

**Figura 10.** Semivariogramas dos tratores estudados: (a) Trator 7b e (b) Trator 8.

**Figura 11.** Mapa da distribuição espacial do ruído emitido pelo (a) Trator 1A, (b) Trator 1B, (c) Trator 1C e (d) Trator 1D.

**Figura 12.** Mapa da distribuição espacial do ruído emitido pelo (a) Trator 2A, (b) Trator 2B e (c) Trator 2C.

**Figura 13.** Mapa da distribuição espacial do ruído emitido pelo (a) Trator 3A, (b) Trator 3B e (c) Trator 3C.

**Figura 14.** Mapa da distribuição espacial do ruído emitido pelo Trator 4.

**Figura 15.** Mapa da distribuição espacial do ruído emitido pelo (a) Trator 5A e (b) Trator 5A.

**Figura 16.** Mapa da distribuição espacial do ruído emitido pelo (a) Trator 6A e (b) Trator 6B.

**Figura 17.** Mapa da distribuição espacial do ruído emitido pelo (a) Trator 7A e (b) Trator 7B

**Figura 18.** Mapa da distribuição espacial do ruído emitido pelo Trator 8.

**Figura 19.** Carta de controle para os níveis de ruído do (a) Trator 3A e (b) Trator 8.

**Figura 20.** Carta de controle para os níveis de ruído do (c) Trator 4 e (d) Trator 6A.

**Figura 21.** Carta de controle para os níveis de ruído do (e) Trator 2A.

**Figura 22.** Carta de controle para os níveis de ruído do (a) Trator 1D.

**Figura 23.** Carta de controle para os níveis de ruído do (b) Trator 1C e (c) Trator 3B.

**Figura 24.** Carta de controle para os níveis de ruído do (d) Trator 6B e (e) Trator 2B.

**Figura 25.** Carta de controle para os níveis de ruído do (f) Trator 2C.

**Figura 26.** Carta de controle para os níveis de ruído do (a) Trator 1A e (b) Trator 1B.



## **LISTA DE TABELAS**

**Tabela 1.** Descrição dos conceitos estudados na pesquisa.

**Tabela 2.** Limite de tolerância para ruído, de acordo com o anexo 1, da NR 15.

**Tabela 3.** Marcas e modelos dos tratores utilizados no experimento.

**Tabela 4.** Implementos dos tratores utilizados no experimento.

**Tabela 5.** Nomenclatura das máquinas em estudo.

**Tabela 6.** Especificações técnicas do decibelímetro digital estudado.

**Tabela 7.** Estatística descritiva de ruídos emitidos pelos tratores estudados.

**Tabela 8.** Método, Modelo e parâmetros estimados do semivariograma experimental para o nível de ruídos emitidos pelos tratores estudados.

## Sumário

<b>1. Introdução .....</b>	<b>11</b>
<b>2. Revisão da Literatura.....</b>	<b>13</b>
2.1 O ambiente e o homem.....	13
2.1.1 O ambiente acústico.....	14
2.2 Mecanização Agrícola no Brasil.....	15
2.2.1 Evolução das máquinas agrícolas.....	16
2.2.1.1 Tratores.....	16
2.3 Operações mecanizadas agrícolas.....	17
2.4 A mecanização agrícola e o ruído.....	18
2.5 Geoestatística.....	20
2.5.1 Geoestatística ou a teoria das variáveis regionalizadas.....	23
2.5.2 O variograma.....	24
2.5.2.1 Parâmetros do semivariograma.....	26
2.5.2.2 Modelos teóricos de semivariograma.....	28
2.5.3 Validação cruzada.....	29
2.5.4 Interpolação por krigagem.....	30
2.5.5 Interpolação ordinária.....	31
2.6 Controle Estatístico de Produção.....	32
2.6.1 Visão geral de um gráfico de controle.....	34
2.6.2 Gráficos de Controle de Soma Acumulada (CUSUM).....	37
2.6.3 Gráficos de Controle de Média Móvel Exponencialmente Ponderada (EWMA).....	38
<b>3. Material e Métodos.....</b>	<b>39</b>
3.1 Caracterização da área experimental.....	39
3.2 Características dos tratores estudados.....	39
3.3 Medição dos níveis de ruído.....	41
3.4 Caracterização da malha amostral.....	42
3.5 Análise de dados.....	43
<b>4. Resultados e Discussões.....</b>	<b>46</b>
4.1 Análise descritiva.....	46
4.2 Análise geoestatística.....	48
4.3 Análise de controle estatístico de processos (CEP).....	65
4.3.1 Máquinas sem implementos.....	65
4.3.2 Máquinas com efeitos de implementos.....	69
4.3.3 Máquinas com efeitos da TDP.....	71
<b>5. Conclusão.....</b>	<b>75</b>
<b>6. Sugestões e recomendações.....</b>	<b>75</b>
<b>7. Referências Bibliográficas.....</b>	<b>76</b>



## 1. INTRODUÇÃO

A preocupação com o bem-estar dos trabalhadores é baseada diretamente em fatores que possibilitam o trabalho com segurança e um maior grau de conforto. Os trabalhadores da agroindústria estão expostos a riscos de integridade física e psicológica, o que implica em seu afastamento da empresa por períodos de tempo consideráveis, prejudicando os mesmos e gerando prejuízos também nas empresas (SAMPAIO *et al.*, 2007).

O som é a variação da pressão ambiente detectável pelo sistema auditivo e ruído; dessa forma pode-se dizer que é um som sem harmonia, em geral de conotação negativa, ou seja, que na maioria das vezes pode ser classificado como um som indesejável (BISTAFA, 2018). Em estudos acerca de ruídos gerados por máquinas agrícolas tais como tratores agrícolas (CAMPANA, 1984, FERNANDES, 1991, SOUZA & LEVITICUS, 1995 e VITÓRIA, 2000), colhedoras combinadas (SILVA *et al.*, 2004), colhedoras tracionadas (SOUZA, 2001) e pulverizadores tracionados (RUAS *et al.*, 2006 e BAESSO *et al.*, 2008) foram observados que nenhuma destas máquinas agrícolas apresentaram condições aceitáveis de trabalho aos seus operadores na cabine de trabalho.

Além do mais, a mecanização agrícola possibilitou ao homem o aumento da eficiência nas operações antes realizadas manualmente (VEIGA *et al.* 2014). Com o advento das máquinas o homem passou a produzir mais em menos tempo, gerenciar melhor e com mais precisão as suas operações agrícolas (VEIGA *et al.* 2015). Entretanto, o trabalhador teve que se adaptar às máquinas disponíveis para realizar suas atividades, expondo sua saúde e segurança em risco.

Nesta adaptação do homem às máquinas, principalmente o trabalhador rural, segundo Poje *et al.* (2015) está exposto à diversos agentes físicos insalubres como: ruído, vibração e partículas. Além disso, muitas vezes estes locais de trabalho não têm nenhum acompanhamento e treinamento o que agrava ainda mais a situação, causando danos à saúde dos trabalhadores envolvidos nestas operações agrícolas.

Dentre os agentes físicos insalubres, o ruído, segundo Cunha e Teodoro (2006), é uma das principais causas de danos à saúde dos operadores, contribuindo para o aumento do estresse, desconforto nas operações de campo, podendo aumentar os acidentes de trabalho e baixa capacidade operacional.

Lashgari & Maleki (2016) menciona que os trabalhadores agrícolas em comparação com outras ocupações, têm taxas mais altas de perda de audição. Infelizmente o setor agrícola percebeu estes danos tardiamente (NASCIMENTO *et al.* 2016).

Segundo Magalhães, Cortez & Nagahama (2012), o ruído produzido por máquinas agrícolas se propaga pelo espaço, diminuindo conforme a distância e podendo ser alterado através das máquinas ou implementos acoplados aos tratores (roçadora, arados, grades, entre outros). Torna-se necessário descobrir de que forma acontece esta propagação e se ocorre este aumento com acionamento de um implemento por meio de um estudo da distribuição espacial destes ruídos, principalmente na avaliação da salubridade a qual os operadores dessas máquinas e os profissionais de apoio a esta operação agrícola estão submetidos.

Percebe-se que a estatística clássica apresenta unidades amostrais independentes e não apresentam dependência espacial. No entanto, a estatística espacial considera que os valores resultantes das parcelas estão associados à sua localização no espaço e, portanto, através de interpoladores é possível realizar a estimativa de pontos não amostrados. O melhor entendimento da interpolação espacial passa pelo conceito de vizinhança (ESRI, 2001; JUNIOR, 2012). De acordo com esse conceito, coisas próximas são mais parecidas que outras mais distantes, portanto os valores medidos distantes dos locais a serem preditos têm pequeno relacionamento com os valores a serem estimados, tendendo a zero de influência.

Os interpoladores espaciais podem ser determinísticos e estatísticos. Os determinísticos são aqueles que geram estimativas a partir de pontos medidos e se baseiam na configuração espacial da amostra. Esses interpoladores não reconhecem agrupamentos de pontos, sendo os pesos proporcionais ao inverso da distância (YAMAMOTO, 2001). Para esses interpoladores, a redundância de informação dos pontos amostrados não é levada em consideração. Além do mais, esses estimadores não fornecem os erros associados a cada estimativa.

O interpolador geoestatístico ou krigagem utiliza propriedades estatísticas e estimativas da configuração espacial dos pontos amostrados para a estimativa do ponto desejado. A técnica de krigagem baseia-se no estudo da variabilidade espacial da característica de interesse. Essa técnica é superior aos demais interpoladores, por permitir calcular o erro associado a cada estimativa – variância da krigagem (JOURNAL e HUIJBREGTS, 1978; JUNIOR *et al.*, 2007). Assim, a geoestatística é uma técnica que merece estudos como uma possível e eficiente alternativa para controlar a variação no ruído. Como um dos produtos, pode-se considerar a elaboração de mapas, oriundos de interpolações espaciais, com estratos definidos nas primeiras medições do povoamento.

Estudos que avaliaram o ruído emitido por máquinas agrícolas utilizaram a geoestatística. Neste contexto, verificou-se que o ajuste do semivariograma utilizado foi o modelo gaussiano (MISSIO *et al.*, 2015; PIMENTA JUNIOR *et al.*, 2012; SPADIM *et al.*,

2015; YANAGI JUNIOR *et al.*, 2012) e autores como Ferraz *et al.* (2013) analisaram o ruído de derrçadores portáteis de café e ajustaram ao modelo esférico. Entretanto tais modelos não caracterizam o comportamento do ruído, sendo necessário estudos que ajustem modelos que se comportem como função periódica ou função senoidal, como o modelo *Wave* (WEBSTER & OLIVER, 2007).

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi utilizar a geoestatística, como também, as cartas geradas pelo controle estatístico de processos (CEP) para mapear no plano a distribuição espacial do ruído emitido por tratores agrícolas com e sem acionamento de implementos de forma a avaliar as zonas de salubridade para todos os trabalhadores envolvidos na operação mecanizada, considerando a NR 15.

## **2. REVISÃO DA LITERATURA**

Nesse tópico será abordado o tema bem-estar humano, em especial, o efeito do ambiente acústico no conforto de trabalhadores agrícolas, além de um breve estudo sobre a geoestatística e CEP.

### **2.1 O ambiente e o homem**

O meio físico no qual se efetua um trabalho é considerado nas análises ergonômicas. O ruído, as vibrações, o calor, o frio, os gases, a poeira, dentre outros fatores, quando excedem certos limites podem provocar doenças ou alterar o bem-estar do trabalhador (ALVES *et al.*, 2002; SCHIASSI *et al.*, 2013). Situações que envolvem esses fatores são constantemente encontradas em agroindústrias, merecendo estudos para avaliar e quantificar seus níveis, melhorando as condições de trabalho e a saúde do homem.

Bistafa (2018) entende que cada elemento citado apresenta um conceito, como descrito na tabela 1.

**Tabela 1.** Descrição dos conceitos estudados na pesquisa.

ELEMENTO	CONCEITO
Ruído	é o incômodo depende de aspectos psicoacústicos do ser humano.
Som	é a variação de pressão em relação à pressão atmosférica capaz de excitar o aparelho auditivo, produzindo uma sensação.
Frequência	é uma grandeza física que indica o número de ocorrências de um evento (ciclos, voltas, oscilações entre outros) em um determinado intervalo de tempo.

### 2.1.1 O ambiente acústico

O som é a variação da pressão ambiente detectável pelo sistema auditivo. Já o ruído é um som sem harmonia, em geral de conotação negativa, ou seja, que na maioria das vezes pode ser classificado como um som indesejável. A unidade de potência do som é o decibel (dB) e equivale dizer que 1 dB(A) é a mínima variação da potência sonora detectável pelo sistema auditivo humano (RINARD, 2014; BISTAFA, 2018). De acordo com Bistafa (2018), tal unidade de potência de som (dB) foi criado pelos engenheiros da Bell Telephone Laboratories (Bell Labs), como submúltiplo de uma característica essencial do comprimir uma ampla faixa de variação da escala linear logarítmica, chamada de bel (B). E, verificou-se que 1 dB era a mínima variação da potência sonora detectável pelo sistema auditivo. Esse limiar diferencial foi denominado de unidade de sensação (“sensation unit”), o que permitiu reescrever a lei de Fechner-Weber (Eq. 1) na forma:

$$\text{unidade de sensação} = 10 \log \left( \frac{W}{W_0} \right) \text{ dB (re. } W_0) \quad (1)$$

em que  $W$  é a potência sonora e  $W_0$  uma potência sonora de referência.

Diferente de outros tipos de poluição, a poluição sonora<sup>1</sup> não deixa traços visíveis de sua influência no ambiente. Essa é, depois da poluição do ar e da água, o problema ambiental que afeta o maior número de pessoas. Aliás, o ruído é um dos agentes físicos nocivos mais comuns encontrados em ambientes de trabalho (NASCIMENTO *et al.*, 2007). Segundo Nääs,

<sup>1</sup> Poluição sonora é o excesso de ruídos que afeta a saúde física e mental da população. É o alto nível de decibéis provocado pelo barulho constante proveniente de atividades que perturbam o silêncio ambiental.

Miragliotta & Baracho (2001, *apud* Andrade, 2010), a ocorrência de perda auditiva acontece em função de fatores relacionados às características individuais do trabalhador exposto ao ruído, ao meio ambiente ou ao próprio agente agressivo, ou seja, o som.

Em resumo, ruído é uma sensação sonora desagradável, pode ser mensurado, não desejado ou inútil e som é uma variação de pressão sonora capaz de sensibilizar os ouvidos.

Na Tabela 2 estão representados os limites de tolerância para ruído preconizado pela NR 15 (2017). De acordo com essa norma, define-se como limite de tolerância à concentração ou intensidade máxima ou mínima relacionada com a natureza e o tempo de exposição ao agente que não causará dano à saúde do trabalhador durante sua vida laboral.

**Tabela 2.** Limite de tolerância para ruído, de acordo com o anexo 1, da NR 15.

<b>Nível de Ruído dB(A)</b>	<b>Máxima exposição diária permissível</b>
85	8 horas
86	7 horas
87	6 horas
88	5 horas
89	4 horas e 30 minutos
90	4 horas
91	3 horas e 30 minutos
92	3 horas
93	2 horas e 40 minutos
94	2 horas e 15 minutos
95	2 horas
96	1 hora e 45 minutos
98	1 hora e 15 minutos
100	1 hora
102	45 minutos
104	35 minutos
105	30 minutos
106	25 minutos
108	20 minutos
110	15 minutos
112	10 minutos
114	8 minutos
115	7 minutos

## 2.2 Mecanização Agrícola no Brasil

De acordo com Baio (2013), a mecanização agrícola tem como objetivo o emprego adequado dos equipamentos e máquinas agrícolas, visando sua otimização, com a racionalização dos custos. Ela exerce um papel fundamental, pois, além de multiplicar a



capacidade produtiva, permite obter maior eficiência na produção agrícola. A adoção da mecanização agrícola no país evoluiu significativamente nas últimas cinco décadas.

Segundo Monteiro (2002, *apud* Silva, 2015), a primeira colheita mecanizada de arroz no Brasil começou nos anos 1930 no Rio Grande do Sul. Era o início de um processo evolutivo que teria consequências não apenas na economia, mas em toda a sociedade.

O grande salto no uso de tratores ocorreu nas décadas de 1930 e 1940, com a mecanização da cafeicultura paulista e, mais tarde, com a abertura de áreas no Paraná (DALLMEYER, 2002; BERNO, 2007). Em algumas décadas, o país passou da tração animal para a tratorização, da subsistência para a economia de escala no campo, do feudo para a agroindústria. Vinte e dois anos mais tarde, em 1952, o presidente Getúlio Vargas deu o grande impulso da mecanização no Brasil. Dessa forma, foi criado o “Planta Trigo”, um projeto que visava à auto-suficiência de trigo no País e impulsionou a agricultura brasileira. A partir desse fato, os agricultores passaram a importar tratores e máquinas agrícolas em grande quantidade (DALLMEYER, 2002).

Com a chegada de máquinas agrícolas de outros países, faltava assistência técnica para esses equipamentos. Sobretudo, na década de 1950, existiam no país 150 marcas e mais de 450 modelos de tratores, um grande problema para reposição de peças e assistência técnica. Para resolver essa questão, por volta de 1960, com a vinda da indústria automobilística para o Brasil, o país deu início à fabricação de máquinas pesadas e implantou-se a produção nacional de tratores (MONTEIRO, 2002). Em 1960, segundo Dallmeyer (2002, *apud* Silva, 2015), foram fabricados os primeiros tratores nacionais, montados pela Valmet (atual Valtra), em Mogi das Cruzes, SP.

Monteiro (2002) explica que todo esse processo de mecanização do campo melhorou a qualidade de vida dos agricultores brasileiros. O trabalho tornou-se menos árduo e em menos tempo, o agricultor produzia muito mais. É claro que esse processo teve como consequência o êxodo rural, mas os produtores que ficaram no campo tiveram melhores condições de trabalho, maior produtividade e obtiveram uma renda maior.

## 2.2.1 Evolução das máquinas agrícolas

### 2.2.1.1 Tratores

De acordo com Monteiro (2002), os tratores foram feitos para substituir os animais, para facilitar o trabalho. O trator era muito semelhante às máquinas movidas a vapor, charrua,

usada na agricultura, que foram muito usadas pelos agricultores americanos e canadenses no século passado (SILVA, 2015). A fabricação de tratores atingiu seu auge em 1913, quando dez mil tratores foram fabricados. O primeiro trator a gasolina foi construído em 1892 na indústria de Froelich, nos Estados Unidos.

Por volta de 1920, permaneceu o mesmo trator durante duas décadas, a partir dele foi sendo incorporados avanços técnicos como o modelo Fordson. Entre 1920 a 1940 foram lançadas outras novidades, o John Deere introduziu o modelo “D” com custo menor que o Fordson. (DALLMEYER, 2002)

Em 1900 – 1920, as novas máquinas com rodagem permitiram que uma mesma força fizesse mais trabalho, e então o uso de tração animal se intensificou, em 1920 - 1950 os tratores foram se difundindo e isso deu liberdade à evolução das semeadoras, que foram se tornando maiores e mais pesadas (MONTEIRO, 2002).

Segundo Monteiro (2002, *apud* Silva, 2015), em 1970 o sistema de cultivo era exclusivamente convencional, mas depois nessa época, teve o surgimento do plantio direto; ele obrigou as semeadoras a serem mais pesadas e eficientes no processo de abrir o solo, distribuir as sementes e adubo, e fechá-lo.

Em 1978 a Embrapa importou uma semeadora dinamarquesa de cultivo mínimo, a Nordestern e em seguida a Bettison-3D da Inglaterra, depois em 1980 a semeadora TD, foi o primeiro projeto nacional de máquina para plantio direto e que na época era sinônimo de culturas de inverno. (DALLMEYER, 2002)

### 2.3 Operações mecanizadas agrícolas

Em conformidade com Mialhe (1974, *apud* Perin, 2008), o trabalho de produção agrícola, em sua maior parte, é realizado por etapas cronologicamente distintas, devido à periodicidade de clima como das fases de desenvolvimento das plantas. Estas etapas que ocorrem numa sequência ordenada recebem o nome de operações agrícolas.

A terminologia, segundo a ABNT (1970), explicita que a operação agrícola é “toda atividade direta e permanentemente relacionada com a execução do trabalho de produção agropecuária”.

Para Mialhe (1974, *apud* Perin, 2008), as operações agrícolas são constituídas de uma série de eventos que se desencadeiam, a partir de uma condição inicial para atingir uma condição final desejada. Se uma parcela significativa destes eventos resulta de uma ação mecânica, pode-se dizer que esta operação é mecanizada. Como exemplo de uma condição

inicial podem ser os grãos de soja presente na lavoura, nas vagens, e como condição final estes grãos no graneliro de uma colhedora.

Do ponto de vista de uma empresa agrícola, a medida que o número, o tamanho e a complexidade das máquinas aumentam, mais importante se torna o impacto de gerenciamento desse sistema sobre a rentabilidade do negócio. A otimização do desempenho dos sistemas mecanizados passa necessariamente por questões que requerem um adequado entendimento das relações existentes entre os aspectos técnicos e econômicos da mecanização (OLIVEIRA, 2000; VALE, 2011).

Oliveira (2009) descreve que para aos tratores agrícolas o acompanhamento sistemático do desempenho e os cálculos dos custos operacionais, ao longo da vida útil, são fatores fundamentais para seu uso racional. Qualquer máquina pode ter sua vida útil prolongada, não fosse o fato do obsolescimento tecnológico e de que os custos operacionais, a partir de determinado instante da vida útil, tornam antieconômico o seu uso.

Para Silveira (2007), os registros dos trabalhos de campo, normalmente usam métodos pessoais ou pouco organizados, geralmente limitados às anotações feitas em caderneta do operador. O levantamento dos dados das operações de campo, não é muito difundido.

Segundo Misener *et al.* (1987, *apud* Silveira *et al.*, 2005), existem exemplos de empresas e pesquisadores que se dedicam a essa atividade, seguindo soluções muito práticas que utilizam o operador como apontador, e soluções mais sofisticadas com o emprego de computadores portáteis para o arquivamento dos dados obtidos diretamente no campo.

#### 2.4 A mecanização agrícola e o ruído.

Dentre muitos fatores ambientais que prejudicam o trabalhador, o ruído pode ser considerado um dos principais, pois pode causar danos auditivos, assim como, outras consequências. Conforme Bistafa (2018) o som é a variação da pressão ambiente detectável pelo sistema auditivo e ruído é um som sem harmonia, em geral de conotação negativa, ou seja, que na maioria das vezes pode ser classificado como um som indesejável.

Infelizmente, o setor agrícola observou esse problema tardiamente, tanto que, na área rural, pouco, ou quase nada, existe a respeito do ruído em máquinas agrícolas e, conseqüentemente, não se pode tirar nenhuma conclusão sobre os problemas ocupacionais, em trabalhadores agrícolas. Além disso, entende-se que agentes físicos como ruído, calor, vibrações, pressões e radiações e agentes químicos como fumo, poeira, gases, vapores são alguns dos estressores ambientais encontrados em vários locais de trabalho. Eles alteram o

funcionamento de todo o organismo e o sono, aumentam a sensibilidade aos agentes estressores ambientais e, conseqüentemente, aumentam o risco de acidentes de trabalho. Combinados, esses estressores podem ter uma série de efeitos sobre a saúde e bem-estar dos trabalhadores (FERNANDES & MORATA, 2002; JUNIOR, 2009).

De maneira geral, o trator se coloca em destaque, quando se pesquisa a relação homem-máquina, na área rural (SOUZA *et al.*, 2003). Ainda, o mesmo autor cita que qualquer estudo, por mais superficial que seja, demonstra que a frota nacional de tratores não está projetada, de acordo com as necessidades do trabalhador, mas sim, com as do trabalho. O tratorista tem que, ao mesmo tempo, controlar o implemento e manter o trator alinhado, enquanto é submetido, durante horas, ao sol, à chuva, ao frio, à poeira e à fumaça do escapamento, além de um nível de ruído e de vibrações desumanos.

Arcoverde *et al.* (2011) ressaltam a importância dos estudos sobre níveis de ruído em operações agrícolas para as necessidades reais de adotar medidas de prevenção, conforto e segurança como o uso e a utilização de equipamentos de proteção individual, conhecidos como protetores auriculares, para minimizar os ruídos.

No ano de 1897, na Suécia, foram realizados os primeiros ensaios oficiais com máquinas agrícolas, porém, o teste para tratores da Universidade de Nebraska é o mais famoso e conhecido, mundialmente. Os "Testes de Nebraska" servem de base para todos os ensaios de hoje. Eles se baseiam em dois tipos de testes: ensaio na tomada de potência e ensaio na barra de tração (SOUZA *et al.*, 2003). Até então, não existia nenhuma preocupação com o nível de ruído em tratores. A primeira legislação que estabelecia valores máximos para o ruído em veículos e máquinas surgiu, na Alemanha em 1958. Foi criada uma tabela que impunha valores decrescentes para o ruído, em veículos, a cada ano de fabricação (SOUZA *et al.*, 2003).

Com a publicação da recomendação ISO R 362, a legislação passou a considerar, como limite máximo de ruído, para máquinas agrícolas, a faixa de 85 a 89 dB(A) (BURK, 1969; ALVES *et al.*, 2011).

Em 1959, surgiu a norma para ensaio de tratores da Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE). Na sua versão de 1970, ela divide os ensaios com tratores em dois tipos: oito ensaios obrigatórios e cinco ensaios facultativos. Para os ensaios obrigatórios, dois deles se referem ao ruído produzido por tratores: "ruído produzido pelo trator, no meio ambiente" e "medida do ruído no ouvido do tratorista" (SOUZA *et al.*, 2003).

Segundo Souza *et al.* (2003), a maioria dos países da Europa adotam as normas da OCDE, como referência. Como exemplo, citam-se a França, que adotou todos os ensaios

(inclusive os de ruído), sob a coordenação do Centro Nacional de Estudo e de Experimentação de Máquinas Agrícolas (CNEEMA); e a Inglaterra, que normalizou os ensaios de tratores, conforme as normas BS 1794 e BS 2800. E, para ensaios específicos de ruído em veículos, usa as normas BS 3489 - 1962 - "Sound Level Meters" e BS 3534 - 1962 - "Sound Level Meters for the Measurement of Noise Emitted by Motor Vehicles".

Nos Estados Unidos, várias normas disciplinam o nível de ruído em máquinas, sendo as principais. De acordo com Fernandes (1991, *apud* Souza *et al.*, 2003): SAE - J919A - 1971 - "SAE Recommended Practice, Sound Measurement at the Operator Station for Agricultural and Construction Equipment" e "SAE - J1013 - 1973 "ASAE Recommended Practice, Measurement of Whole Body Vibration of the seated operator of Agricultural Equipment".

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) possui inúmeras normas a respeito de medições de ruído em máquinas, sendo as principais para máquinas agrícolas: NBR – 9999 (NBR, 1987) "Medição do Nível de Ruído, no Posto de Operação, de Tratores e Máquinas Agrícolas" e NBR - 10400 (NBR, 1988) "Tratores Agrícolas - Determinação das Características Técnicas e Desempenho".

Há controvérsia muito grande a respeito do limite de ruído ocupacional. Vários estados americanos fixaram o limite em 90 dB(A). O critério das leis federais americanas (NIOSH - "National Institute for Occupational Safety and Health") também fixou 90 dB(A), enquanto várias pesquisas científicas têm evidenciado ser este nível elevado.

Normas de alguns países já reduziram esse limite para 85 ou 80 dB(A). Estudando o risco auditivo de trabalhadores expostos a diversos níveis de ruído. Souza *et al.* (2003) afirmaram que "exposição a ruído ocupacional de 85 dB(A) pode modificar o limiar auditivo de certa porcentagem da população exposta ao ruído".

## 2.5 Geoestatística

Na África do Sul, no século XX - mais especificamente na década de 1950 - o engenheiro de minas Daniel Gerhardus Krige e o estatístico Hebert Simon Sichel desenvolveram empiricamente uma técnica própria de prognóstico para o cálculo de reservas minerais, baseada em conceito de regressão, a qual posteriormente recebeu tratamento formal pelo geólogo e matemático Georges Matheron, na França, com o nome Geoestatística. De acordo com Matheron (1962, *apud* Oliveira *et al.*, 2015), a base da Geoestatística<sup>2</sup> vem da

---

<sup>2</sup> A variável alvo, pode ser compreendida como uma realização de um processo estocástico, sendo investigada sob condição de variável regionalizada que são processos típicos de mecanismos gerados por realizações de funções de variáveis aleatórias (Isaaks e Srivastava 1989).

teoria das variáveis regionalizadas, sendo variáveis contínuas com condicionamento espacial. Matheron (1962, *apud* Oliveira *et al.*, 2015) destacava que a diferença nos valores de uma variável tomados em dois pontos no campo pode depender da distância entre eles.

Inicialmente a Geoestatística era aplicada apenas para situações em geologia de minas e, posteriormente, se estendeu para outros campos, inclusive para as Ciências Agrárias. Conforme Chiles *et al.* (2012), para descrever as variações espaciais da variável desejada, tais como grau, espessura, acúmulo, entre outras, a análise estrutural da variável regionalizada é fundamental.

Vieira (1996) considera a Geoestatística como um conjunto de ferramentas que possibilita mapear, com mais precisão, as propriedades dos dados geográficos, permitindo o estudo da dependência espacial. Um requisito básico para utilizar Geoestatística é que as amostras sejam georreferenciadas, não necessariamente por coordenadas geográficas, mas algum tipo de referência que informe a localização de cada ponto (VIEIRA, 1996; CARLIN, 2010).

Harris (1920, *apud* Cichota *et al.*, 2003) entendem que a variabilidade espacial vem sendo uma das preocupações de pesquisadores, praticamente desde o início do século. Numa tentativa de encontrar uma maneira única de analisar uma vasta coleção de dados utilizou-se de uma equação muito semelhante a que hoje é conhecida como variância de blocos.

Waynick e Sharp (1919, *apud* Rangel *et al.*, 2008) estudaram nitrogênio total e carbono no solo, todos com uma grande intensidade de amostras, nos mais variados esquemas de amostragem, mas sempre com a preocupação de caracterizar ou conhecer a variabilidade.

Segundo Chiles *et al.* (2012), a maior causa da descontinuidade de experimentos que, poder-se-iam dar muito mais conhecimento a variabilidade hoje, foi à adoção de técnicas como casualização e repetição, e o melhor conhecimento de funções de distribuição, que levaram à adoção de amostragem ao acaso, desprezando assim as coordenadas geográficas do ponto amostrado. Este procedimento somado a distribuição normal de frequências era, e ainda é, usado para assumir independência entre as amostras, e assim garantir a validade do uso da média e o desvio padrão para representar o fenômeno (VIEIRA, 1996; CARLIN, 2010).

Por outro lado, a distribuição normal não garante a independência entre amostras, a qual pode ser verificada através da autocorrelação. A principal razão para isto é que o cálculo da frequência de distribuição não leva em conta a distância na qual as amostras foram coletadas no campo. A presença de dependência espacial ou temporal requer o uso da geoestatística, a qual surgiu na África do Sul, quando Krige (1951, *apud* Almeida, 2013), trabalhando com dados de concentração de ouro, concluiu que não conseguia fazer sentido

das variâncias, se não levasse em conta a distância entre as amostras. Matheron (1963, *apud* Oliveira *et al.*, 2015), baseado nestas observações, desenvolveu uma teoria, a qual ele chamou de “Teoria das Variáveis Regionalizadas” que contém os fundamentos da geoestatística. Matheron (1963, *apud* Oliveira *et al.*, 2015) define Variável Regionalizada como uma função espacial numérica, que varia de um local para outro, com uma continuidade aparente e cuja variação não pode ser representada por uma função matemática simples.

Schloeder *et al.* (2001, *apud* Schaffrath *et al.*, 2007), menciona que o uso do semivariograma<sup>3</sup> e de um método de interpolação chamado krigagem, possibilitam a construção de mapas de contornos (isolinhas ou curvas de nível) com alta precisão, uma vez que após a interpolação, a densidade espacial de dados será muito maior do que antes, além de oferecer também os limites de confiança para o mapa, através da variância da estimativa. Além do que, conhecendo-se os semivariogramas das variáveis em estudo, e os semivariogramas cruzados daquelas correlacionadas, pode-se usar a krigagem ou a co-krigagem para delinear espaçamento e disposição de amostras no campo para se obter uma variância de estimativa prefixada (BURGESS & WEBSTER, 1980; ANGELICO, 2006).

É importante salientar que o uso da estatística clássica, a qual tem seu espaço, potencialidade e limitações, não deve ser abandonada. São justamente nos problemas onde a estatística clássica tem limitações, que a geoestatística tem suas maiores aplicações (MATHERON, 1963; OLIVEIRA *et al.*, 2015).

De acordo com Schloeder *et al.* (2001), a partir da década de 1980, com as facilidades computacionais, esta metodologia passou a ser aplicada em diversas áreas do conhecimento.

A variabilidade espacial de propriedades do solo (GREGO, 2005) é, ainda, a grande área de aplicação da geoestatística como mostra os trabalhos de Vieira (1995, *apud* Wojciechowski *et al.*, 2006) que verificou o efeito da distância entre amostras na variabilidade. Em outro trabalho, Vieira (1997, *apud* Carvalho *et al.*, 2002), estudou a variabilidade espacial de alguns atributos químicos e granulométricos do solo dentro de uma parcela experimental e mostrou o uso da geoestatística para analisar os dados.

Remacre (1995, *apud* Assis *et al.*, 2008), mostraram que análise variográfica e a dimensão fractal basicamente significam a mesma coisa, ou seja, tem como finalidade caracterizar o grau de irregularidade dos fenômenos em estudo.

---

<sup>3</sup> Semivariograma (Soares, 2014) é uma das ferramentas mais utilizadas para representar a continuidade espacial de uma função aleatória  $Z(u)$  na direção de um vetor  $h$ .

Existem também, trabalhos onde o objetivo principal é tratar do assunto e dar maiores esclarecimentos e aplicações, dentre os quais se tem, JOURNAL & HUIJBREGTS (1978), BRAGA (1990) e VIEIRA (1995).

As aplicações da geoestatística atualmente vêm crescendo e tem sido aplicada em vários campos do conhecimento como ecologia, como o trabalho de RATUCHNE *et al.* (2010), climatologia como o trabalho de OZTURK *et al.* (2016), ruído de máquinas como os trabalhos de CAMPANA (1984), FERNANDES (1991), SOUZA & LEVITICUS (1995), VITÓRIA (2000) e RODRIGUES *et al.* (2013) dentre outros.

### 2.5.1 Geoestatística ou a teoria das variáveis regionalizadas

Segundo Landim (1998, *apud* Dutra, 2014), a geoestatística é um tópico espacial da estatística aplicada que trata de problemas referentes às variáveis regionalizadas, as quais têm um comportamento espacial que mostram características intermediárias entre as variáveis verdadeiramente casuais e as totalmente determinísticas. Apresentam uma aparente continuidade no espaço, sendo representada por funções numéricas ordinárias que assumem um valor definido a cada ponto no espaço e descrevem matematicamente um fenômeno natural. A continuidade geográfica é representada pela tendência que a variável tem, ou seja, valores são parecidos a dois pontos vizinhos e mais diferentes à medida que os pontos vão ficando mais distantes. Esse tipo de variável apresenta outros atributos como: localização, anisotropia e transição.

De acordo com Mulla (1997, *apud* Junior, 2012), após a coleta das amostras do solo e sua análise para determinar propriedades, seus resultados são interpolados para as localidades que não foram amostradas por técnicas de geoestatísticas, e os valores interpolados são classificados usando um sistema de informações geográficas para um número limitado de zonas de gerenciamento. Os contornos dessas zonas são armazenados num “chip” de computador colocado num trator, plantadora ou adubadora capaz de mudar as aplicações de acordo com a localização no campo e nos limites das zonas.

Matheron (1963, *apud* Oliveira *et al.*, 2015), aponta que a geoestatística é uma função que varia de um lugar a outro no espaço com certa aparência de continuidade. São variáveis cujos valores estão relacionados com a posição espacial que ocupam, e já que podem tomar valores diferentes lugares de observações, demonstram uma certa independência de um lugar a outro.



Fanha (1994) explicita que as variáveis regionalizadas têm características quantitativas, tais como: localização, continuidade e anisotropia que estão ligadas ao fenômeno natural que elas representam. A variável regionalizada atua num espaço geométrico em que foi definida e onde será estudada sua variação. (FANHA, 1994)

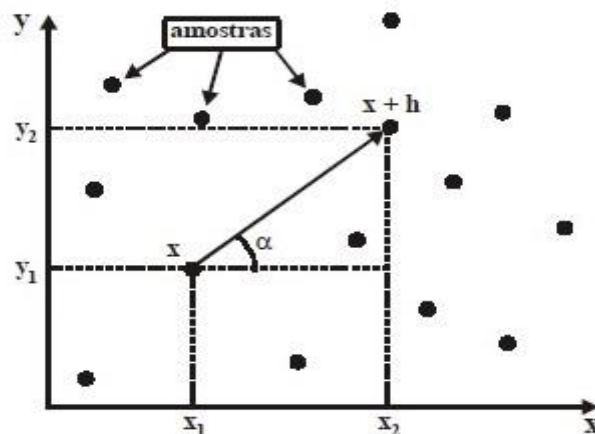
Quando se utiliza a ferramenta geoestatística para a análise dos dados, algumas hipóteses de trabalho são assumidas, principalmente a hipótese intrínseca. (ISSAKS & SRIVASTAVA, 1989; VIEIRA, 1995; WOJCIECHOWSKI, 2006). Por ela, a probabilidade de variação dos valores tomados entre pontos com a mesma distância de separação é igual, ou seja, a relação da dependência espacial é a mesma em qualquer posição de  $h$  ( $h$  é o valor que separa dois pontos amostrais) (ISSAKS & SRIVASTAVA, 1989; VIEIRA, 1995; WOJCIECHOWSKI, 2006). É assumida a estacionaridade dentro do alcance da continuidade espacial. A estacionaridade de primeira ordem é a esperança do valor de um ponto no espaço ser igual à média, admitindo-se que a média amostral é igual à média populacional (ISSAKS & SRIVASTAVA, 1989; VIEIRA, 1995; WOJCIECHOWSKI, 2006). A estacionaridade de segunda ordem assume que há uma variação de média, mas a variância é constante dentro dos limites da continuidade espacial (ISSAKS & SRIVASTAVA, 1989; VIEIRA, 1995; WOJCIECHOWSKI, 2006).

A geoestatística aplicada à Agricultura de Precisão tem por objetivos identificar, na aparente desordem entre as amostras, uma medida da correlação espacial, realizar estimativas de valores de locais não amostrados com base em alguns valores conhecidos na população (krigagem) e reconhecer as inter-relações de propriedade no espaço (análise de correlação entre atributos), além de permitir estudar padrões de amostras adequadas (VIEIRA, 2000; SOUZA 2014).

### 2.5.2 O variograma

O variograma é uma ferramenta básica de suporte às técnicas de krigagem, que permite representar quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado no espaço (HUIJBREGTS, 1975; SANTOS, 2015).

Camargo (1975, *apud* Wojciechowski *et al.*, 2009) considera duas variáveis,  $X$  e  $Y$ , onde  $X = Z(x)$  e  $Y = Z(x+h)$ , neste caso, referindo-se ao mesmo atributo (por exemplo, o teor de zinco no solo) medido em duas posições diferentes, conforme a Figura 1, onde denota uma posição em duas dimensões, com componentes  $(x_i, y_i)$ , e  $h$  um vetor distância (módulo e direção) que separa os pontos.



**Figura 1.** Amostragem em duas dimensões (Camargo, 1997)

Camargo (1997, *apud* Wojciechowski *et al.*, 2009) traz a ideia que o nível de dependência entre essas duas variáveis regionalizadas, X e Y, é representado pelo variograma,  $2\gamma(h)$ , o qual é definido como a esperança matemática do quadrado da diferença entre os valores de pontos no espaço (Eq. 2), separados pelo vetor distância h, isto é,

$$2\gamma(h) = \text{VAR}[Z(x) - Z(x+h)] \quad (2)$$

Camargo (1997, *apud* Wojciechowski *et al.*, 2009) continua afirmar que através de uma amostra  $z(x_i)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , o variograma (Eq. 3) pode ser estimado por:

$$2\gamma^*(h) = \frac{1}{N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i+h)]^2 \quad (3)$$

onde:

$2\gamma^*(h)$  é o variograma estimado.

$N(h)$  é o número de pares de valores medidos  $z(x_i)$ ,  $z(x_i+h)$ , separados por um vetor distância  $h$ .

$z(x_i)$  e  $z(x_i+h)$  são valores da  $i$ -ésima observação da variável regionalizada, coletados nos pontos  $x_i$  e  $x_i+h$  ( $i=1, \dots, n$ ), separados pelo vetor  $h$ .

O mesmo autor define variograma de forma distinta da Equação (4), considerando o que comumente se refere como semivariograma, dado por:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (4)$$

Analogamente, a função semivariograma (Eq. 5) pode ser estimada por Vieira (1995, *apud* Carvalho *et al.*, 2009):

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (5)$$

sendo:

$\gamma^*(h)$  é a semivariância.

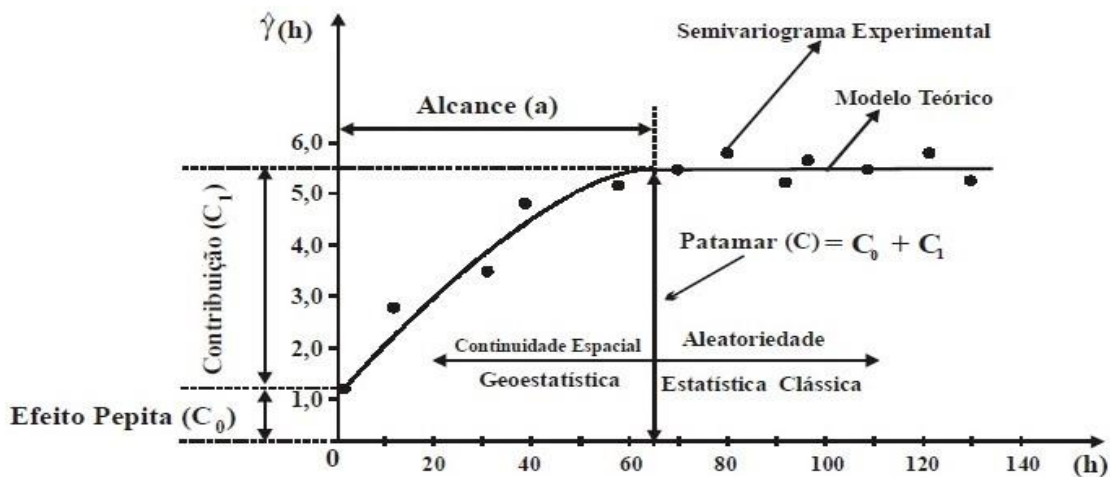
$N(h)$  é o número de pares de valores medidos  $[z(x_i) - z(x_i+h)]$ , separados por um vetor distância  $h$  e  $z$  é a variável em estudo.

$z(x_i)$  e  $z(x_i+h)$  são valores de valores medidos separados por um vetor  $h$ .

Fanha (1994) define o variograma como a medida do grau de dissimilaridade das amostras na proporção em que a distância entre as observações aumenta. O variograma é, portanto, uma função que expressa a variabilidade de uma dada propriedade entre dois pontos separados por uma distância “ $h$ ”, em função desta distância “ $h$ ” (FANHA, 1994).

#### 2.5.2.1 Parâmetros do semivariograma

Segundo Camargo (1997), a Figura 2 ilustra um semivariograma experimental com características muito próximas do ideal. O seu padrão representa o que, intuitivamente, se espera de dados de campo, isto é, que as diferenças  $\{ Z(x_i) - Z(x_{i+h}) \}$  decresçam à medida que  $h$ , a distância que se espera, decresce. É esperado que observações mais próximas geograficamente tenham um comportamento mais semelhante entre si do que aquelas separadas por maiores distâncias (CAMARGO, 1997; WOJCIECHOWSKI, 2009). Dessa maneira, é esperado que  $\gamma(h)$  aumente com a distância  $h$ .



**Figura 2.** Semivariograma experimental, modelo teórico e o semivariograma típico e seus componentes (Camargo, 1997)

Segundo Camargo (1997), o semivariograma experimental é ajustado à curva que proporcione a máxima correlação possível com os pontos plotados. O modelo ajustado é chamado de modelo teórico do semivariograma (CAMARGO, 1997; WOJCIECHOWSKI *et al.*, 2009). Na região onde se observa a continuidade espacial, a geoestatística é aplicada com eficiência (FIGURA 2).

Os parâmetros do semivariograma podem ser observados diretamente da Figura 2:

- Alcance (a): distância dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas especialmente. Na Figura 2, o alcance ocorre próximo de 65m.
- Patamar (C): é o valor do semivariograma correspondente ao seu alcance (a). Desse ponto em diante, considera-se que não existe mais dependência espacial entre as amostras, porque a variância da diferença entre pares de amostras  $Var[Z(x) - Z(x+h)]$  torna-se invariante com a distância.
- Efeito Pepita ( $C_0$ ): Por definição,  $\gamma(0) = 0$ , (refira-se a equação 4). No entanto na prática, à medida que  $h$  tende para 0 (zero),  $\gamma(h)$  se aproxima de um valor positivo chamado Efeito Pepita ( $C_0$ ). O valor de  $C_0$  revela a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras. Parte dessa descontinuidade pode ser também devida a erros de medição (Issaks & Srivastava, 1989), porém é impossível quantificar se a maior contribuição provém dos erros de medição ou da variabilidade de pequena escala não captada pela amostragem.

- Contribuição ( $C_1$ ): é a diferença entre o Patamar (C) e o Efeito Pepita ( $C_0$ ).

### 2.5.2.2 Modelos teóricos de semivariograma

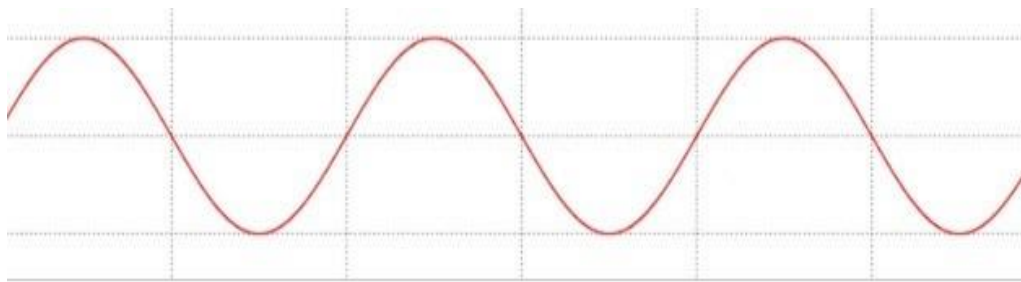
Camargo (1997, *apud* Wojciechowski *et al.*, 2009), expressa que o gráfico do semivariograma experimental,  $\hat{\gamma}(h)$ , calculado pela equação (4), é formado por uma série de valores, conforme ilustra a Figura 2, sobre os quais se objetiva ajustar uma função. É importante que o modelo ajustado apresente a tendência de  $\hat{\gamma}(h)$  em relação a  $h$ . Desse modo, as estimativas obtidas com a krigagem serão mais exatas e, portanto, mais confiáveis.

Além disso, o procedimento de ajuste não é direto e automático, como no caso de uma regressão, por exemplo, mas sim interativo, pois nesse processo o intérprete faz um ajuste e verifica a adequação do modelo teórico (CAMARGO, 1997; WOJCIECHOWSKI *et al.*, 2009). Dependendo do ajuste obtido, pode ou não redefinir o modelo, até obter um que seja considerado satisfatório.

O modelo *Wave* é um modelo senoidal, muitas vezes usado para modelar fenômenos que apresentam variações periódicas (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989; SANTOS *et al.*, 2019). Sua formulação (Eq. 6) é dada por:

$$\gamma(h) = C_0^2 + \frac{h}{a} \operatorname{sen}\left(\frac{h}{a}\right)^4 \quad (6)$$

Esse modelo (FIGURA 3) apresenta variações periódicas, o que é um indicativo de crescimento não monotônico da semivariância com a distância e apresenta modelos com e sem patamar (CHILÈS & DELFINER, 1999; ANDRIOTTI, 2004). Estas estruturas não monotônicas podem ter amplitudes de ondas reduzidas, ser isotrópicas e anisotrópicas (CARVALHO *et al.*, 2004). O alcance prático ( $a'$ ) do modelo “Wave” é atingido quando o  $h$  for aproximadamente igual a 4,5  $a$  (CHILÈS & DELFINER, 1999; ANDRIOTTI, 2004).



**Figura 3.** Representação gráfica do modelo *Wave* (Isaaks & Scrivastava, 1989)

### 2.5.3 Validação cruzada

A etapa de ajuste do modelo ao semivariograma experimental é de grande importância, pois pode influenciar os resultados posteriores. O modelo ajustado deve aproximar-se ao máximo da descrição do fenômeno no campo. Gonçalves *et al.* (1999, *apud* Hongyu, 2012) explanam que a verificação do melhor ajuste do modelo teórico ao semivariograma experimental pode ser realizado pela validação cruzada. Resumidamente, o processo de validação envolve a reestimação dos valores conhecidos através dos parâmetros ajustados ao modelo do semivariograma.

Alguns autores, como Vieira *et al.* (1983, *apud* Oliveira, 2003), não fazem distinção entre a validação cruzada e a técnica denominada “Jackknife”. Segundo Cressie (1991, *apud* Wojciechowski, 2006), a validação cruzada consiste em se retirar do conjunto de dados alguns valores e estimá-los com base nas observações remanescentes. O erro será obtido pela diferença entre predito e medido (CARVALHO *et al.*, 2009). Com várias repetições, pode-se ter uma estimativa da variabilidade do erro de predição. A remoção de observações para melhorar a inferência sobre um parâmetro é denominada “jackknifing”, segundo o próprio autor, sendo, portanto, diferente da validação cruzada (CARVALHO *et al.*, 2009).

Como a interpolação por krigagem está fortemente associada ao modelo de semivariograma escolhido, a validação cruzada pode ser usada para se decidir qual modelo usar dentre alguns candidatos (VIEIRA *et al.*, 1981; CARVALHO *et al.*, 2009). O usual é a retirada de um dado de cada vez do conjunto original e estimá-lo por krigagem, o que permitirá o cálculo do erro de estimativa nesse ponto (ISSAKS & SRIVASTAVA, 1989; SANTOS *et al.*, 2019). De acordo com Vieira (1995, *apud* Lundgren *et al.*, 2017), na validação cruzada, procura-se verificar se o erro reduzido, ou seja, o erro em cada ponto dividido pela variância de krigagem correspondente tem média nula e variância unitária, além

disso, para uma avaliação visual, têm sido usados mapas de valores medidos versus estimados e mapas de erros, como os fornecidos por programas com GeoEAS.

Obtido o semivariograma experimental para um conjunto de valores de uma propriedade e ajustado um modelo matemático a ele, tem-se uma função contínua que descreve a dependência espacial da propriedade, sendo de grande utilidade para a compreensão de vários aspectos da variabilidade do solo, da sua formação, implicações no manejo entre outros (VIEIRA, 1995; LUNDGREN *et al.*, 2017). Trangmar *et al.* (1985, *apud* Spiazzi, 2011), apresentam discussão muito útil sobre essas aplicações. Pode-se dizer que a função de semivariograma descreve uma característica intrínseca àquela propriedade, nas condições estudadas (TRANGMAR *et al.*, 1985; SPIAZZI, 2011). Essa característica, quantificada e descrita por um modelo matemático, pode ser usada para, talvez, o mais importante recurso da geoestatística: a interpolação por krigagem (TRANGMAR *et al.*, 1985; SPIAZZI, 2011).

Segundo Vieira (1995, *apud* Lundgren *et al.*, 2017), o semivariograma mais bem ajustado é aquele que possui o maior ajuste dos lados à reta de 45 graus (valores reais versus estimados) obtido pela validação cruzada.

#### 2.5.4 Interpolação por krigagem

O termo krigagem tem origem no nome Daniel G. Krige, que foi o pioneiro a introduzir, em 1951, o uso de medidas móveis para evitar a superestimação sistemática de reservas de mineração (DELFINER & DELHOMME, 1975; OLIVEIRA, 2003).

O desenvolvimento formal da teoria deve-se a Matheron (1963), para o qual a krigagem é um processo de obtenção do melhor preditor linear não viciado de uma variável desconhecida. Leva em consideração o número de dados e a qualidade deles em cada ponto, a posição dos dados com relação ao campo, a continuidade espacial das variáveis interpoladas e a distância entre os pontos e a área de interesse. Com base em tais observações, constrói-se a melhor função de predição não viciada para cada ponto não observado.

Inicialmente, o método de krigagem foi desenvolvido para solucionar problemas de mapeamentos geológicos, mas seu uso expandiu-se com sucesso no mapeamento de solos (BURGESS & WEBSTER, 1980; BAZZI, 2007), mapeamento hidrológico (KITANIDIS & VOMVORIS, 1983; ÁVILA, 2008), mapeamento atmosférico (LAJAUNIE, 1984; SILVA, 2011) e outros campos correlatos.

Muitos são os métodos de interpolação de valores não amostrados e uma vez que os dados podem ser coletados em um número razoavelmente grande de pontos na área, é pequena a diferença em eficiência de um método para o outro (BURROUGH & McDONNELL, 1998; OLIVEIRA, 2003). Todavia em muitos casos, um número grande de amostras significa um custo muito alto e que não pode ser considerado. Métodos geoestatísticos de interpolação, particularmente o da “krigagem”, apresentam propriedades ótimas de estimação em dados esparsos, bem como uma variedade de métodos para tratar diferentes tipos de dados, assim como dados binários (krigagem indicador), dados que apresentam uma suave tendência (krigagem universal) ou mesmo estratificados (krigagem estratificado) (BURROUGH & McDONNELL, 1998; OLIVEIRA, 2003).

Segundo Camargo (1997, *apud* Wojciechowski *et al.*, 2009), a diferença entre a krigagem e outros métodos de interpolação é a mesma como os pesos são atribuídos às diferentes amostras. No caso de interpolação linear simples, por exemplo, os pesos são todos iguais a  $N^{-1}$  ( $N$  = número de amostras); na interpolação baseada no inverso do quadrado das distâncias, os pesos são definidos com os inversos do quadrado da distância que separa o valor interpolado dos valores observados. Na krigagem, o procedimento é semelhante ao de interpolação por média móvel ponderada, exceto que aqui os pesos são determinados com base em uma análise espacial, baseada no semivariograma experimental. Aliás, a krigagem fornece, em média, estimativas não tendenciosas e com variância mínima. Estimativas não tendenciosas significam que, em média, a diferença entre valores estimados e verdadeiros para o mesmo ponto deve ser nula; e variância mínima significa que esses estimadores possuem a menor variância dentre todos os estimadores não tendenciosos.

De acordo com Oliver & Webster (1990, *apud* Alves *et al.*, 2008), a krigagem engloba um conjunto de métodos de estimativa, esse trabalho limita-se somente à krigagem ordinária, a qual será descrita a seguir.

#### 2.5.5 Interpolação ordinária

Muito comum em problemas de mineração, às vezes o interesse é na estimativa da média do valor de uma propriedade numa certa região (ISSAKS & SRIVASTAVA, 1989; WOJCIECHOWSKI, 2006). Uma alternativa é discretizar essa subárea em muitos pontos, fazer a krigagem pontual e depois tomar-se a média dos valores, o que se torna trabalhoso (ISSAKS & SRIVASTAVA, 1989; WOJCIECHOWSKI, 2006).



Álias a hipótese mais simples sobre o comportamento da variável regionalizada é que a média do fenômeno,  $\mu(x)$ , seja constante na região de estudo, o que implica em não haver variação significativa na larga escala. Esta hipótese dá origem aos interpoladores de Krigagem ordinária.

Na hipótese da Krigagem ordinária,  $\mu(x)$  é constante e denotada por  $m$ . Deste modo, o valor esperado da função aleatória  $Z$  nas posições  $x$  e  $x + h$  são iguais a  $m$ . Isto implica que o valor esperado da diferença entre os valores observados em  $x$  e  $x + h$ , separados por um vetor de distância  $h$ , é nulo (Eq. 7):

$$E [Z(x) - Z(x+h)] = 0 \quad (7)$$

Por outro lado, admite-se também que o fenômeno considerado seja estacionário de segunda ordem, isto é, a covariância entre dois pares quaisquer  $Z(x)$  e  $Z(x + h)$ , separados por um vetor distância  $h$ , existe e depende somente de  $h$ .

## 2.6 Controle Estatístico de Processos (CEP).

O CEP é amplamente utilizado na área industrial para monitorar, avaliar e, auxiliar na melhoria dos processos, considerando os elementos conformes e não conformes (HESSLER *et al.*, 2009; WALTER, 2013).

Hessler *et al.* (2009) concluíram que mesmo em um processo produtivo aparentemente controlado, sempre haverá variação decorrente de causas aleatórias. Souza (2003, *apud* Torres, 2014) relata que se o processo estiver sob a ação somente de causas comuns, a variabilidade do mesmo se manterá em uma faixa estável, configurando o processo no estado de controle estatístico.

Montgomery (2009) afirma que ao aumentar a qualidade de um processo ocorre naturalmente a redução da variabilidade. Assim, de acordo com Souza (2003, *apud* Torres, 2014), ao se utilizar as ferramentas estatísticas no controle de processos, é possível encontrar um processo “sob controle estatístico” ou “fora de controle estatístico”, cujas definições podem ser dadas da seguinte maneira:

- Processo estável: é aquele no qual há somente a variabilidade natural, ou seja, a variabilidade se mantém em uma faixa estável, denominada de faixa característica de processo;

- Processo instável: é o processo que está sob influência de causas especiais de variação, ou seja, quando seu comportamento se torna diferente ao padrão esperado. Nos processos fora de controle ou instáveis é importante descobrir as causas de origem da variação em busca de torná-lo estável.

Sendo assim, de acordo com Souza (2003, *apud* Torres, 2014), a variabilidade encontra-se presente em todos os processos produtivos e, diante do exposto, Hessler *et al.* (2009) ressaltam que um dos principais objetivos do Controle Estatístico de Processo é a eliminação da variabilidade não natural existente em um processo. Por isso, o CEP caracteriza-se como uma coleção de ferramentas com base estatística, de auxílio ao controle da qualidade, útil na obtenção da estabilidade do processo e na melhoria da capacidade por meio da redução da variabilidade (MONTGOMERY, 2000; GARCIA, 2016).

Para garantir o sucesso de um sistema produtivo é essencial realizar a manutenção e a melhoria da qualidade dos processos, em especial, nas operações agrícolas mecanizadas, que possuem elevados índices de variabilidade devido a fatores não controláveis. Um processo pode ser definido como qualquer combinação entre os fatores chamados “6 M’s”: mão-de-obra, máquinas, matéria-prima, métodos, medição e meio ambiente (SAMOHYL e ALVES, 2005; SILVA, 2015).

Carvalho e Paladini (2005, *apud* Torres, 2014) comprovaram que o CEP é uma ferramenta que permite identificar onde é possível ocorrer melhorias nos processos, em busca de reduzir a variabilidade e proporcionar melhores resultados. Rosa (2009) declara que o CEP deve ser utilizado para monitorar a estabilidade dos processos, uma vez que a estabilidade depende do tipo de variação existente.

O CEP auxilia no controle da variação de causas comuns e na eliminação das causas especiais, visando manter a variabilidade do processo dentro de limites considerados aceitáveis. Esse controle pode ser realizado, dentre outras maneiras, por meio das cartas de controle (MONTGOMERY, 2000; GARCIA, 2016).

De acordo com Scotland (2010, *apud* Civard, 2017), existem duas ferramentas mais populares no CEP, que são o gráfico sequencial e a carta ou gráfico de controle. Esta popularidade decorre da facilidade na construção e interpretação destes gráficos, pois são poucas as regras básicas a aplicar para identificar o tipo de variação (SCOTLAND, 2010; CIVARD, 2017). A carta de controle é composta por uma linha média e duas outras linhas (superior e inferior) que representam os limites de controle e os valores característicos do

processo (SCOTLAND, 2010; CIVARD, 2017). Os limites de controle são aferidos pelo valor médio, somado ou subtraído a três vezes o desvio padrão (SCOTLAND, 2010; CIVARD, 2017). Quando todos os pontos do gráfico localizam-se entre os limites de controle, considera-se que o processo está sob controle (SCOTLAND, 2010; CIVARD, 2017). Quando, no mínimo, um ponto localiza-se fora desses limites, considera-se que o processo está fora de controle (SCOTLAND, 2010; CIVARD, 2017).

Além das cartas de controle, outras ferramentas podem ser utilizadas nos processos que ocorrem uma busca na redução da variabilidade. Uma dessas ferramentas é o gráfico sequencial ou “*run chart*”, que segundo Werkema (2006) é um gráfico de dados ao longo do tempo, utilizado para verificar o processo, permitindo identificar a presença de causas especiais de variação. De acordo com Scotland (2010, *apud* Civard, 2017), este tipo de gráfico é uma sequência ordenada de dados, com um eixo horizontal centralizado. Um gráfico sequencial permite o monitoramento do processo e a identificação do tipo de variação a que o mesmo está submetido ao longo do tempo (CIVARD, 2017). O eixo central pode representar a média ou a mediana, sendo a média mais usada na maioria dos casos, exceto para dados discretos (CIVARD, 2017).

### 2.6.1 Visão geral de um gráfico de controle

Para Scotland (2010), o modo de atuação básico dos gráficos de controle está na melhoria dos processos por meio do entendimento e do aprendizado das variações atribuídas a ele. Através dos gráficos de controle, as variações casuais de um processo podem ser diferenciadas daquelas denominadas especiais (SCOTLAND, 2010; CIVARD, 2017).

Dessa forma, segundo Civard (2017), pode-se detectar quando um processo sai de uma condição de previsibilidade (sob controle estatístico) e passa a se comportar de forma não previsível (fora de controle de estatístico). Quando uma variação provocada por uma causa especial é encontrada, surge uma oportunidade singular para a melhoria do processo (CIVARD, 2017).

Os gráficos de controle possibilitam a análise das amostras coletadas numa etapa do processo com observações individuais ou com a formação de subgrupos (SCOTLAND, 2010; CIVARD, 2017). Para identificar a presença de variações atípicas, fora dos limites de controle, os gráficos de *Shewhart* possuem limites de controle estabelecidos a uma distância de três erros-padrão da média ou alvo do processo ( $\mu \pm 3\sigma$ ) (SAMOHYL, 2009).

O desenvolvimento de um gráfico de controle ocorre em duas fases (SCOTLAND, 2010; CIVARD, 2017). A primeira, denominada de Fase 1, consiste em se obter uma amostra representativa dos dados com o objetivo de determinar os limites de controle, sendo em geral um estudo retrospectivo (SCOTLAND, 2010; CIVARD, 2017).

De acordo com Scotland (2010), esta fase, que corresponde à estimação de parâmetros do processo, só deve ser encerrada quando se tem a certeza que o processo se encontra estável e ajustado. Na Fase 2, as informações obtidas na Fase 1 são utilizadas no desenvolvimento de gráficos de controle para testar se o processo permanece sob controle quando as observações futuras são monitoradas (CARPINETTI, 2005; PEDRINI, 2009).

Segundo Scotland (2010), os gráficos de controle podem ser classificados em gráficos para variáveis ou para atributos. Os utilizados para atributos se referem às características de qualidade que correspondem a contagens ou classificações, enquanto que os gráficos de controle para variáveis baseiam-se na medida das características de qualidade em uma escala contínua (SCOTLAND, 2010; CIVARD, 2017).

Os mais utilizados para variáveis são aqueles para monitorar conjuntamente a média e a amplitude ou a média e o desvio padrão, (MONTGOMERY, 2009). Os gráficos para médias e os gráficos para desvios padrões operam de forma muito similar, existindo outras alternativas para controlar a posição e a dispersão do processo. Em adição aos dois tipos de gráficos supramencionados, inserem-se também o gráfico para controlar as observações individuais e o de amplitudes móveis (SCOTLAND, 2010; CIVARD, 2017).

Para Scotland (2010), existe também um gráfico para o monitoramento da variabilidade do processo, mas que na prática é pouco utilizado, que é o gráfico de variabilidade  $S$ , baseado diretamente no erro padrão dos subgrupos. É mais apropriado quando os subgrupos têm, por exemplo, tamanho  $n > 10$ , o que é raro acontecer na prática (SCOTLAND, 2010; CIVARD, 2017).

Entretanto, a acurácia do gráfico  $S$  é melhor do que o gráfico  $R$ , aparecendo menos alarmes falsos, e a sua utilização deve ser considerada como opção em fábricas onde a cultura dos métodos quantitativos é mais evoluída e apreciada (SAMOHYL, 2009).

Ao localizar um ponto além dos limites de controle (acima do LCS ou abaixo do LCI) ou um comportamento não aleatório dos pontos no gráfico, deve-se investigar o processo para descobrir se realmente está fora de controle estatístico. Em caso positivo, as causas devem ser identificadas e removidas (SCOTLAND, 2010; CIVARD, 2017).

De acordo com Scotland (2010, *apud* Civard, 2017), o desempenho de um gráfico de controle é medido pela rapidez com que este dispositivo detecta alterações no processo

(SCOTLAND, 2010; CIVARD, 2017). Uma das medidas de desempenho estatístico de um gráfico de controle é o *Average Run Length* (ARL) que corresponde ao valor esperado de amostras até a sinalização de uma mudança (SAMOHYL, 2009).

Para um bom gráfico, espera-se que tenha um valor alto para o ARL sob controle ( $ARL_0$ ), ou seja, a probabilidade de emissão de um alarme falso, e que sinalize rapidamente quando uma mudança realmente ocorreu (SCOTLAND, 2010; CIVARD, 2017).

A aplicação dos gráficos de controle clássicos (para variáveis mensuráveis) supõe que os dados da característica da qualidade do processo sejam independentes e normalmente distribuídos (SCOTLAND, 2010; CIVARD, 2017). Se estas suposições não forem satisfeitas, o desempenho do gráfico de controle pode ser insuficiente, o que pode gerar um elevado número de alarmes falsos (SCOTLAND, 2010; CIVARD, 2017).

A suposição mais importante relativa aos gráficos de controle é a independência das observações de um processo produtivo (SCOTLAND, 2010; CIVARD, 2017). Se a suposição de normalidade for violada num grau moderado, os gráficos de controle ainda funcionam razoavelmente, o que não acontece com a suposição de independência (MONTGOMERY, 2009).

Os gráficos de *Shewhart* para variáveis e atributos alcançaram sucesso devido a sua simplicidade, onde a facilidade da regra de decisão se baseia principalmente no exame do último ponto analisado: estando ele além dos limites de controle do gráfico, deve-se pensar em intervir no processo (SCOTLAND, 2010; CIVARD, 2017).

Esta é também uma grande desvantagem, pois ignora qualquer informação passada dada pela sequência anterior de pontos. Isto torna o gráfico de *Shewhart* relativamente insensível a pequenas mudanças no processo (MONTGOMERY, 2009). Como alternativa, tem-se o gráfico de controle das somas acumuladas (CUSUM) e o gráfico de controle da média móvel ponderada exponencialmente (EWMA) que são indicados para o monitoramento de processos sujeitos a pequenas e persistentes alterações (MONTGOMERY, 2009).

### 2.6.2 Gráficos de Controle de Soma Acumulada (CUSUM)

O gráfico de controle CUSUM é considerado uma ferramenta indicada para detecção de pequenas e persistentes mudanças (MONTGOMERY, 2009). Nesse gráfico se observa o valor acumulado dos desvios da variável de interesse em relação a um valor estabelecido *a priori* (MONTGOMERY, 2009). Esse valor pode ser escolhido de acordo com as especificações que o processo deva ser capaz de atender ou pode ser estimado a partir de um

número grande de amostras coletadas previamente (LOUZADA *et al.*, 2013). A estatística do CUSUM é descrita pela Equação (8):

$$C_i = \sum_{i=1}^j (\bar{X}_i - \mu_p) = C_{i-1} + (\bar{X}_i - \mu_o) \quad (8)$$

onde amostras de tamanho  $n$  são coletadas;  $X_i$  é a média de  $i$ -ésima amostra;  $\mu$  é o valor desejado para a média do processo e  $C_i$  é a soma acumulada incluindo a  $j$ -ésima amostra, pois combina informações de diversas amostras.

Se a média do processo apresentar desvios significativos em relação à especificação, dada por  $\mu_0$ , esse gráfico deve apresentar, para um determinado conjunto de observações consecutivas, valores muito superiores ou muito inferiores a zero (LOUZADA *et al.*, 2013).

Porém, se a média muda para algum valor acima,  $\mu_1 > \mu_0$ , então a tendência ascendente se desenvolverá na soma acumulada  $C_i$  (LOUZADA *et al.*, 2013). Reciprocamente, se a média muda para algum valor abaixo,  $\mu_1 < \mu_0$ , a soma acumulada  $C_i$  terá uma direção negativa (LOUZADA *et al.*, 2013). Por esta razão, se nos pontos demarcados aparecer uma tendência para cima ou para baixo, deve-se considerar isto como uma evidência de que a média do processo mudou e uma busca por causas assinaláveis deve ser realizada (LOUZADA *et al.*, 2013).

Segundo Louzada *et al.* (2013), o procedimento CUSUM tem a propriedade de armazenar os valores das somas unilaterais acumuladas do processo analisado. A tomada de decisão, seguindo um sinal fora de controle em gráficos CUSUM, é idêntica a qualquer procedimento dos gráficos de controle do tipo Shewhart (LOUZADA *et al.*, 2013). Esses gráficos são particularmente úteis em determinar quando uma causa assinalável ocorreu, o que pode ser feito pela contagem dos períodos fora de controle, desde o momento em que o processo sofreu uma modificação (LOUZADA *et al.*, 2013).

Deste modo, uma das vantagens de aplicar um gráfico CUSUM é que o mesmo pode dar informações sobre a tendência da característica da qualidade a ser monitorada, o que auxilia a verificar se o processo está melhorando ou piorando (LOUZADA *et al.*, 2013).

Assim, segundo Louzada *et al.* (2013), em um gráfico CUSUM padronizado para subgrupos, as estatísticas  $C_i^+$  e  $C_i^-$  são denominadas CUSUM superior e CUSUM inferior unilaterais, conforme Equações (9) e (10), com os valores iniciais  $C_i^+ = C_i^- = 0$ .

$$C_i^+ = \text{máx}[0, y_i - k + C_{i-1}^+] \quad (9)$$

$$C_i^- = \text{máx}[0, -k - y_i + C_{i-1}^+] \quad (10)$$

Onde  $y_i = \frac{(\bar{X}_i - \mu_0)}{\sigma}$ , como a variável padronizada de  $\bar{X}_i$ . Quando este está sob controle,  $\bar{X}_i$  tem uma distribuição normal com média  $\mu_0$  e desvio padrão  $\sigma$ . Se um destes coeficientes excede o limite de controle  $H$ , o processo é considerado fora de controle estatístico. Nas Equações (9) e (10),  $k$  é denominado de valor de referência.

### 2.6.3 Aplicação do CEP na área agrícola e em máquinas agrícolas

De acordo com MILAN (1997, *apud* Pelóia, 2008) a sobrevivência das empresas agrícolas está intimamente ligada à implantação de novas técnicas administrativas com enfoque no CEP e, principalmente, as novas maneiras de pensar.

O controle de qualidade é perfeitamente adaptável ao sistema de produção agrícola; sabe-se que, com a correção e a eliminação de desperdícios e falhas, redução de custos e aumento da produtividade, inúmeras vantagens serão acrescentadas à competitividade do campo (BONILLA, 1994; RAVELI, 2013). De acordo com Kume (1993, *apud* Lima *et al.*, 2006) a carta de controle é uma das principais ferramentas utilizadas no controle estatístico da qualidade.

Alguns trabalhos com aplicação de CEP na agricultura podem ser destacados tais como, ZERBATO *et al.* (2013) na cultura do milho, LOPES & SILVA (2016) na cultura da soja, SILVA *et al.* (2007) na cultura do algodão, MILAN & RICARDO (2002) na qualidade das operações do preparo do solo, ARCOVERDE *et al.* (2016) na qualidade do processo de semeadura da cultura do milho, CUSTÓDIO *et al.* (2012) no controle estatístico aplicado da colheita mecanizada de cafeeiros irrigados, TOLEDO *et al.* (2008) na caracterização das perdas e distribuição de cobertura vegetal em colheita mecanizada de soja e PELOIA *et al.* (2010) na capacidade do processo de corte de rebolos de cana-de-açúcar colhidos mecanicamente.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

O presente estudo foi dividido em duas etapas: a primeira conta com o procedimento experimental, com características e detalhamentos da obtenção dos dados. Já a segunda etapa envolve o tratamento dos dados experimentais e a aplicação do estudo utilizando as ferramentas de geoprocessamento, geoestatística e CEP.

#### **3.1 Caracterização da área experimental.**

O estudo foi realizado na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) localizada no município de Seropédica, no km7 da BR-465, no Rio de Janeiro. E, também, na Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras – MG situada entre as coordenadas 21°13'50.74"S e 44°58'30.86"O de Greenwich.

#### **3.2 Caracterização dos tratores estudados.**

Para realização do experimento foram utilizados 07 (sete) tratores, sem cabine de proteção, com diferentes potências e também diferentes implementos (TABELA 3). Ademais, foi testada também uma retroescavadora, conforme descrito na Tabela 3.



**Tabela 3.** Marcas e modelos dos tratores utilizados no experimento.

DESCRIÇÃO	MARCA	MODELO	POTÊNCIA (kW)	ANO DE FABRICAÇÃO	LOCAL DE ORIGEM
Trator 1	Agrale	BX 6110 110 cv 540/1000 rpm na TDP	80,90	2007	UFLA
Trator 2	Valtra	A950 95 cv 1890 rpm	69,87	1996	UFLA
Trator 3	Massey Ferguson	MF 4200 295 rpm	60,31	1986	UFLA
Trator 4	Tobata	TT 65 15 cv	11,03	2007	UFLA
Trator 5	Agrale	T 4100 15 cv	11,03	2014	UFRRJ
Trator 6	Valmet	65 ID 100 cv	73,54	1966	UFRRJ
Trator 7	Massey Ferguson	MF 4200 295 rpm	55,16	2007	UFRRJ
Retroescavadora	JCB	420 F2 IT 82 cv	60,31	2012	UFRRJ

. Os tratores foram testados com e sem acionamento de implementos (TABELA 4).

**Tabela 4.** Implementos dos tratores utilizados no experimento.

Implementos	Modelo
Enxada rotativa	RSFE 50, com largura de trabalho de 1,6m e profundidade de trabalho de 0,25m
Esparramadora de corretivo	CA 2600 27011
Roçadora	AT 899 – 002, com largura 1,6m e altura de corte 0,5 a 2,0m

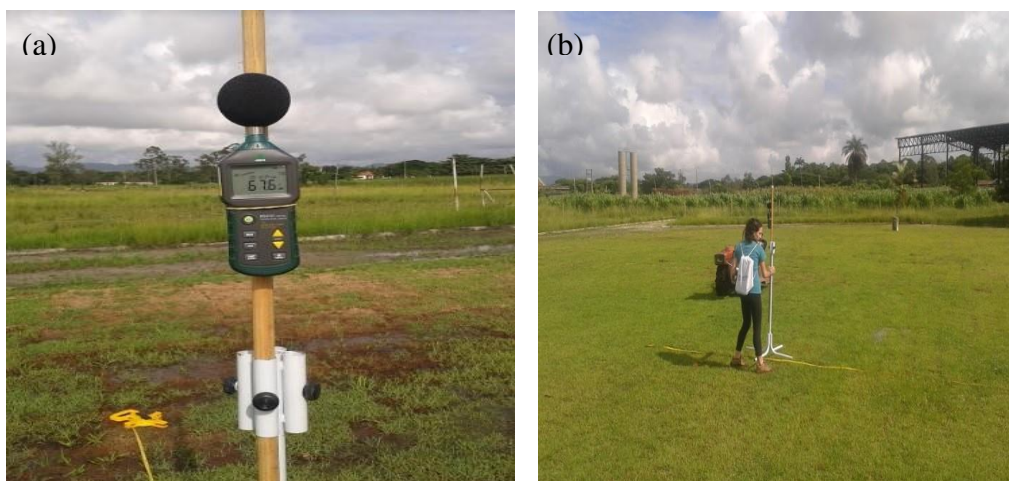
A partir dos tratores que foram testados com e sem acionamento de implementos houve a necessidade de sistematização do estudo em questão. Dessa forma, criou-se uma nomenclatura para cada máquina envolvida nessa análise (TABELA 5).

**Tabela 5.** Nomenclatura das máquinas em estudo

<b>MÁQUINA</b>	<b>NOMENCLATURA</b>
Agrale 540 TDP	Trator 1A
Agrale 1000 TDP	Trator 1B
Agrale 540 TDP com enxada rotativa	Trator 1C
Agrale 540 TDP com esparramadora	Trator 1D
Valtra sem implemento	Trator 2A
Valtra com esparramadora	Trator 2B
Valtra com enxada rotativa	Trator 2C
Massey sem implemento	Trator 3A
Massey com enxada rotativa	Trator 3B
Massey com esparramadora	Trator 3C
Tobata	Trator 4
Agrale 4100 com roçadora	Trator 5A
Agrale 4100 sem roçadora	Trator 5B
Valmet sem roçadora	Trator 6A
Valmet com roçadora	Trator 6B
Massey 4200 sem roçadora	Trator 7A
Massey 4200 com roçadora	Trator 7B
Retroescavadora	Trator 8

### 3.3 Medição dos níveis de ruído

Os níveis de ruído foram determinados utilizando medidores de pressão sonora no circuito de resposta lenta e de equalização “A”, expressos em dB(A), sendo que o protetor de ventos deste medidor foi utilizado em todas as medições. O equipamento utilizado para tal medição foi o decibelímetro digital modelo dec 460 (FIGURA 4a, TABELA 5). As avaliações do nível de ruído desta máquina agrícola foram realizadas conforme metodologia descrita na NBR-9999 (ABNT, 1987) em que a temperatura ambiente esteve entre  $-5^{\circ}$  e  $30^{\circ}$  C e a velocidade do ar foi inferior a  $5,0 \text{ m.s}^{-1}$ .



**Figura 4.** Coleta de dados experimentais: (a) decibelímetro digital modelo dec 460 utilizado nas medições da emissão do nível de ruído e (b) posicionamento da haste de coleta de dados.

Na Tabela 6, pode-se verificar as especificações técnicas do decibelímetro digital citado.

**Tabela 6.** Especificações técnicas do decibelímetro digital estudado.

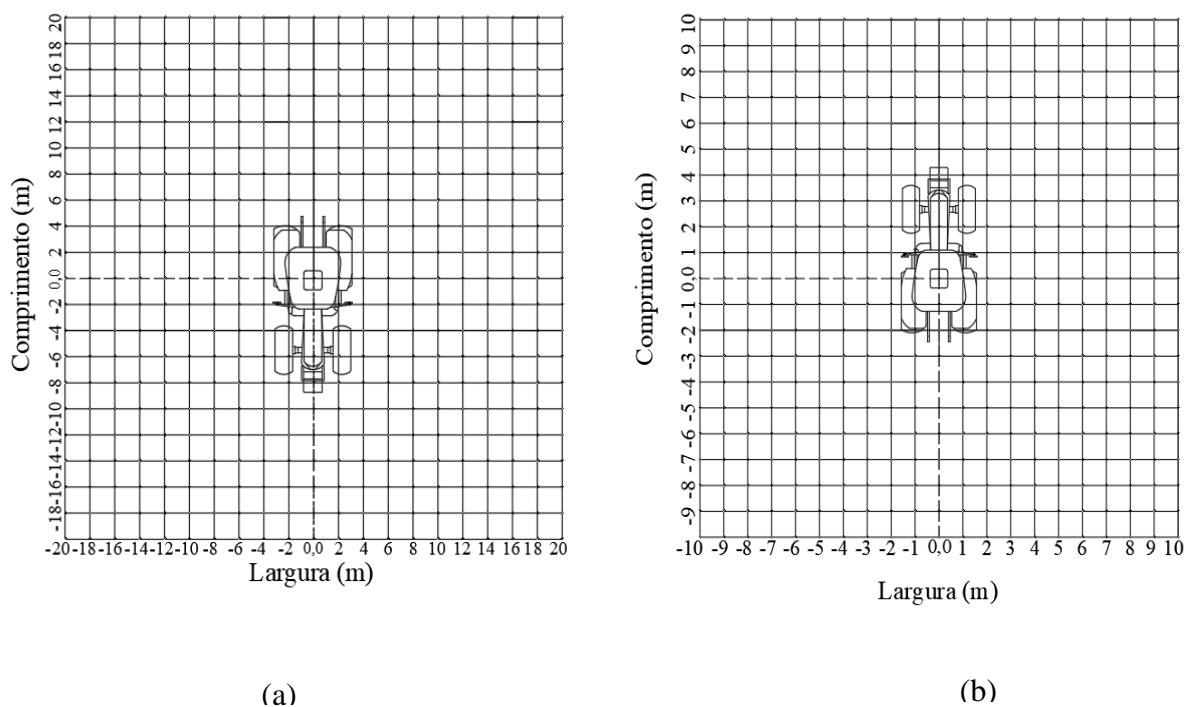
Descrição	Instrumento de medição de nível de pressão sonora com leitura instantânea e leitura de pico, escala automática e ponderação de frequência em A e C.
Destaques	Escala de medição de 35 a 130 dB(A) e calibrador interno.
Aplicações	Este instrumento, de uso geral, foi projetado com base nas exigências dos clientes que necessitam realizar medições de nível sonoro de maneira simples e prática. De custo acessível, compacto e fácil de transportar é o instrumento ideal para medições de referência acústica tais como comparativo de nível sonoro automotivo, diferenças de níveis entre exterior e interior para estudo de isolamento acústico de estúdios, auditórios e também referência para isolamento acústico de igrejas, boates, instalações de som profissionais. Amplamente utilizado em cursos técnicos, escolas e universidades para demonstrar a teoria de medição e estudos baseados no ruído.

### 3.4 Caracterização da malha amostral

Demarcou-se na área em estudo, pontos distribuídos em malhas amostrais regulares de 1,0 x 1,0 m e de 2,0 x 2,0 m na circunvizinhança das máquinas (FIGURA 6b).

A escolha pelo uso das diferentes distribuições da malha experimental ocorreu em função dos ambientes escolhidos, sendo para a zona experimental da UFRRJ foi utilizada uma malha de 1,0 x 1,0 m (FIGURA 5b), e para a zona experimental da UFLA foi usada uma malha de 2,0 x 2,0 m (FIGURA 5a).

Arbitrou-se uma coordenada espacial em metros onde o ponto central (0,0) correspondeu ao local onde a máquina agrícola permaneceu em regime de operação durante toda a coleta. O ponto central (0, 0) corresponde ao acento do operador (FIGURA 5).



**Figura 5.** Distribuição dos pontos amostrais dos níveis de ruído emitido pelos tratores em estudo: (a) na UFLA. (b) na UFRRJ.

### 3.5 Análise dos dados

O semivariograma é uma ferramenta utilizada na geoestatística para caracterizar a estrutura e a magnitude da continuidade espacial ou temporal da variável estudada, porque exige uma estacionaridade menos restritiva, a hipótese intrínseca (MELLO, 2004).

Neste estudo, os tratores estudados estavam em regime de trabalho; sendo analisadas por meio do método de estimação dos Mínimos Quadrados Ordinários (OLS). Para este método, os valores desconhecidos do vetor de parâmetros,  $\beta = [C_0, C, a]$ , do semivariograma, são estimados calculando-se os valores numéricos para os parâmetros que minimizam a soma de quadrados dos desvios entre as respostas

estimadas e observadas pelo modelo (Draper & Smith, 1980). Matematicamente, a função pode ser escrita de acordo com a Equação (10), sendo:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (10)$$

em que  $\gamma(h)$  representa o semivariograma experimental,  $\gamma(h, \beta)$  é o modelo de semivariograma teórico e  $\beta$  é o vetor de parâmetros.

Na equação 11, percebe-se o modelo teórico ajustado ao semivariograma experimental utilizado para a pesquisa é o modelo “wave” (MOTA, 2008; GONÇALVES *et al.*, 2019).

$$\gamma(h, \beta) = C_1^2 + \frac{a}{h} \operatorname{sen} \left( \frac{h}{a} \right)^4 \quad (11)$$

sendo  $C_1$  a contribuição,  $a$  o alcance e  $h$  a distância entre os pontos observados.

A Equação (11) apresenta variações periódicas, o que é um indicativo de crescimento não monotônico da semivariância com a distância e apresenta modelos com e sem patamar (Andrioti, 2004). Estas estruturas não monotônicas podem ter amplitudes de ondas reduzidas, ser isotrópicas e anisotrópicas (Carvalho *et al.*, 2004). Outra análise que se deve ser feito, pauta-se na relação do alcance teórico e o prático. Segundo Chilès & Delfiner (1999), o alcance prático do modelo *Wave* é atingido quando o  $h$  for aproximadamente igual a  $4,5a$

As estimativas dos parâmetros foram obtidas de tal forma que a soma dos quadrados das distâncias entre os valores observados e os estimados a partir da Equação (12), sejam os menores possíveis. De acordo com Draper & Smith (1980), essas estimativas são obtidas determinando-se as derivadas parciais de  $Q$  em relação  $\underline{a}$ , igualando-se a zero as equações de derivadas parciais e resolvendo-se este sistema de três equações com três incógnitas,  $\gamma(h, \beta)$  é o modelo de semivariograma teórico representado pela Equação (12).

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m a_i a_j \gamma_Y(x_i - x_j) \leq 0, \quad \forall x_i, \dots, x_m \in R, \quad \forall a_i, \dots, a_m \in R \text{ tal que } \sum_{i=1}^m a_i = 0, \quad \forall m \in N \quad (12)$$

Após o ajuste da função semivariograma foi realizado a interpolação por krigagem ordinária Equação (13) de forma a confeccionar o mapa de distribuição espacial do ruído (MOTA, 2008).

$$\sigma_K^2 = \mu + \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(x_i - x_0) \quad (13)$$

em que  $\lambda_i$  são pesos de cada valor medido,  $(x_i - x_0)$  é a variação do ponto estimador  $i$  e o ponto a ser estimado.

Os pesos  $\lambda$  que são obtidos pelo método de multiplicadores de Lagrange, associados à equação de estimação e à exigência de que a esperança dos erros seja igual a zero e a variância de estimação seja mínima, fazem com que a variância de krigagem seja a menor variância entre todos os processos de interpolação (GUIMARÃES, 2000).

Para a análise geoestatística foi utilizado sistema computacional estatístico R, por meio do pacote geoR (RIBEIRO Jr. & DIGGLE, 2001; GONÇALVES *et al.*, 2019) e para a plotagem dos mapas foi usado o software SURFER 15.2. Já para a avaliação dos níveis de salubridade foi utilizado os valores preconizados pela NR 15 (2017). De acordo com a NR 15 define-se como limite de tolerância à concentração ou intensidade máxima ou mínima relacionada com a natureza e o tempo de exposição ao agente que não causará dano à saúde do trabalhador durante sua vida laboral. Pela análise da Tabela 1, é possível observar o limite de tolerância para ruído, de acordo com o anexo 1, da NR 15.

Além de tudo, a ênfase para buscar melhorias da qualidade deve ser concentrada em melhoramentos contínuos, atitudes que, promovidas continuamente, permitam reconhecer os problemas, priorizar ações corretivas, implantá-las e dar seqüência a postura pró-ativa, agindo corretamente (SILVA, 1999; PEREIRA *et al.*, 2017). A utilização de métodos estatísticos não garante a solução de todos os problemas de um processo, porém é uma maneira racional, lógica e organizada de determinar onde eles existem, sua extensão e a forma de solucioná-los. Esses métodos podem ajudar na obtenção de sistemas que assegurem uma melhoria contínua da qualidade e da produtividade ao mesmo tempo (CHAMBERS & WHEELER, 1992; CARNEIRO NETO, 2003; MOREIRA, 2004; LIMA *et al.*, 2006).

O Controle Estatístico de Processo (CEP) pode ser descrito como um conjunto de ferramentas de monitoramento *on-line* da qualidade. Com tais ferramentas, consegue-se uma descrição detalhada do comportamento do processo, identificando sua variabilidade e possibilitando seu controle ao longo do tempo, através da coleta continuada de dados e da

análise e bloqueio de possíveis causas especiais, responsáveis pelas instabilidades do processo em estudo, conforme dados dos estudos de Alencar (2004 *apud* Cortivo, 2005). O Controle Estatístico de Processo abrange a coleta, a análise e a interpretação de dados com a finalidade de resolver um problema particular (PARANTHAMAN, 1990; LIMA *et al*, 2006).

A idéia principal do CEP é melhorar os processos de produção com menos variabilidade proporcionando níveis melhores de qualidade nos resultados da produção. É muito comum nas fábricas que processos industriais não sejam otimizados no sentido de serem caracterizados por altos níveis de eficiência, no entanto, dentro do CEP existem ferramentas para monitorar o processo e, portanto, melhorá-lo. (PALADINI, 2002; CARVALHO & PALADINI, 2005; RODRIGUES *et al*, 2016).

A eficácia da utilização do CEP baseia-se no seguinte conceito: se um processo ocorre sob condições conhecidas e estas são cuidadosamente mantidas, este processo estará sujeito apenas aos efeitos de Causas Comuns – que definem a posição e a dispersão do processo, configurando-se por uma Distribuição Normal. Assim, sendo um processo conhecido, pode-se prever toda sua ocorrência (PINTON, 1997; LIMA *et al*, 2006).

Agir no processo é, antes de tudo, evitar defeitos, independente de onde eles possam manifestar-se. Este é o princípio do Controle Estatístico de Processos, que, além de atuar sobre o processo produtivo, sem se fixar, portanto, no produto em si, utiliza-se da Estatística como instrumento básico para a organização, tratamento e análise das informações do processo. O Controle Estatístico de Processo opera preventivamente; utiliza-se de uma base objetiva de análise; tem atuação abrangente: não se limita a alguns casos.

Werkema (1996 *apud* Civard, 2017) sugere uma sequência de passos para análise das cartas de controle: a) construir limites de controle experimentais após a coleta de dados segundo o Plano de Amostragem; b) verificar se todos os pontos estão dentro dos limites de controle e nenhuma configuração aleatória está presente. Se essas duas condições forem satisfeitas, pode-se afirmar que o processo está sob controle estatístico, e o próximo passo é avaliar a capacidade do processo; c) caso haja pontos fora dos limites de controle e/ou alguma configuração não-aleatória, pode-se concluir que o processo está fora do estado de controle estatístico. Neste caso, devem ser identificadas as causas especiais que causaram cada ponto.

Após isso, esses pontos devem ser eliminados da amostragem, novos limites experimentais devem ser calculados e a análise deve ser realizada novamente. Esses passos devem ser executados até que se conclua que o processo está fora ou sob controle estatístico. Em alguns casos, se os passos forem executados continuamente, podem restar poucos pontos para análise, o que diminui a representatividade do processo. A solução nesses casos é coletar

novas amostras e reiniciar a análise específica, mas à produção como um todo, e, enfim, permite adequada avaliação da qualidade (Paladini, 1990; Diniz, 2001).

Werkema (1996 *apud* Civard, 2017) explicita que os padrões de referência relativos às configurações não-aleatórias foram estabelecidos para facilitar a detecção de variações relativas a causas especiais. Esses padrões foram elaborados a partir das propriedades da distribuição normal, através de regras estatísticas relativamente simples.

Para a composição das cartas individuais no CEP, utilizou-se o software Minitab 19. À vista disso, separou-se em cinco estágios consecutivamente. Tais estágios foram formados para facilitar a análise dos dados obtidos na malha amostral. A partir desses dados, o estágio 1 foi desenvolvido do raio 0m até 2m, o estágio 2 foi criado do raio 2m até 4m, o estágio 3 foi elaborado do raio 4m até 6m, o estágio 4 foi confeccionado do raio 6m até 8m e o o estágio 5 foi composto do raio 8m até 10m.

#### **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Os resultados da análise estatística, geoestatística e do controle estatístico de processos (CEP) entre os tratores estudados foram utilizados para analisar e discutir as áreas de estudo como também serviram para confecção de mapas e cartas para melhor compreensão da pesquisa.

##### **4.1 Análise descritiva**

A partir da análise dos valores mínimos e máximos, do coeficiente de variação e também da média dos ruídos emitidos pelos tratores estudados (TABELA 7), é possível perceber que existe uma variação nos dados, porém somente com esta análise não se pode afirmar onde ocorrem os maiores ou os menores valores de ruídos emitidos pelos tratores estudados, necessitando, assim, de estudos geoestatísticos.



**Tabela 7.** Estatística descritiva de ruídos emitidos pelos tratores estudados

<b>Tratores</b>	<b>Mín</b>	<b>Máx</b>	<b>X</b>	<b>Md</b>	<b>DP</b>	<b>Var</b>	<b>CV</b>	<b>K</b>	<b>Assimetria</b>
Trator 1 A	66,9	95,00	73,80	72,60	4,689	21,984	0,0643	2,240	1,379
Trator 1 B	63,0	92,93	71,50	70,40	4,766	22,712	0,0673	2,157	1,280
Trator 1 C	64,1	93,73	71,60	70,40	4,819	23,227	0,0672	2,004	1,305
Trator 1 D	61,6	93,62	70,41	69,41	4,928	24,286	0,0701	2,044	1,233
Trator 2 A	66,5	97,32	74,00	72,92	4,503	20,273	0,0611	2,981	1,442
Trator 2 B	65,5	97,41	74,20	72,63	4,875	23,762	0,0660	2,871	1,580
Trator 2 C	67,3	97,60	73,70	72,60	4,821	23,246	0,0650	2,984	1,523
Trator 3 A	60,6	90,00	67,90	66,70	4,857	23,592	0,0720	2,717	1,437
Trator 3 B	64,3	93,92	70,90	69,70	4,812	23,154	0,0681	2,289	1,444
Trator 3 C	63,0	90,50	69,00	67,60	4,644	21,567	0,0672	3,014	1,594
Trator 4	59,0	91,20	70,50	69,50	5,418	29,357	0,0770	1,522	1,038
Trator 5A	71,2	93,40	77,97	77,21	4,579	20,964	0,0580	1,083	0,999
Trator 5B	75,5	95,00	82,03	81,21	4,180	17,450	0,0500	0,400	0,940
Trator 6A	69,8	92,40	77,06	76,21	4,498	20,231	0,0583	1,603	1,164
Trator 6B	77,9	99,00	85,78	84,72	5,057	25,790	0,0589	0,127	0,832
Trator 7A	71,2	93,40	77,97	77,23	4,560	4,560	0,0584	1,083	0,999
Trator 7B	75,5	95,00	82,03	81,23	4,160	17,452	0,0507	0,395	0,936
Retroescavadora	62,8	96,00	72,51	71,64	5,473	29,949	0,0754	0,964	2,202

Min – Valor mínimo da variável; Md – Mediana;  $\bar{x}$  - Média; Máx – Valor máximo da variável; DP – Desvio Padrão; Var – Variância; CV – Coeficiente de Variação; K – Coeficiente de Curtose

Além do mais, percebe-se que a estatística clássica apresenta unidades amostrais independentes e não apresentam dependência espacial. No entanto, a estatística espacial considera que os valores resultantes das parcelas estão associados à sua localização no espaço e, portanto, através de interpoladores é possível realizar a estimativa de pontos não amostrados. O melhor entendimento da interpolação espacial passa pelo conceito de vizinhança (ESRI, 2001; JUNIOR, 2012). De acordo com esse conceito, coisas próximas são mais parecidas que outras mais distantes, por conseguinte, os valores medidos distantes dos locais a serem preditos têm pequeno relacionamento com os valores a serem estimados, tendendo a zero de influência.

#### 4.2 Análise geoestatística.

A análise geoestatística é uma ferramenta importante na verificação da dependência espacial das variáveis que constituiriam cada conjunto de dados para gerar mapas de ruído (RODRIGUES JUNIOR *et al.*, 2011; SEIDEL *et al.*, 2014).

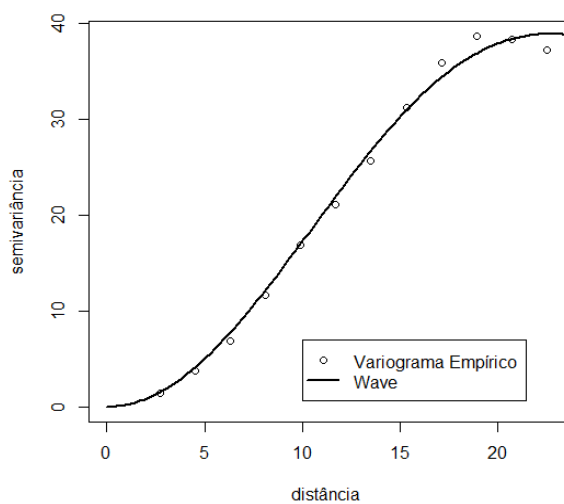
Os resultados da análise geoestatística dos níveis de ruídos emitidos pelos tratores estudados podem ser observados na Tabela 8.

**Tabela 8.** Método, Modelo e parâmetros estimados do semivariograma experimental para o nível de ruídos emitidos pelos tratores estudados.

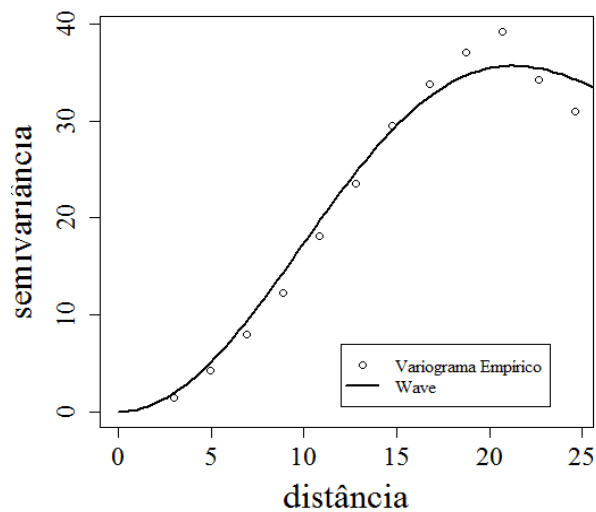
Tratores	$C_0$	$C_1$	$C_0+C_1$	$a$	$a'$	EM	$DP_{EM}$	ER	$S_{ER}$
Trator 1 A	0,0000	28,78550	28,78550	4,4955	13,44815	-0,00981	1,83584	-0,0017666	0,7635
Trator 1 B	1,8835	27,30330	29,18680	2,5527	7,63628	-0,03177	1,92932	-0,0093469	1,2986
Trator 1 C	1,8835	27,30330	29,18680	2,5527	7,63628	-0,03177	1,92932	-0,0093469	1,2986
Trator 1 D	0,0000	32,44510	32,44510	4,9077	14,68129	-0,00981	1,83584	-0,0017666	0,7635
Trator 2 A	0,0000	27,71370	27,71370	4,7767	14,28918	-0,00981	1,83584	-0,0017666	0,7635
Trator 2 B	0,0000	33,06130	33,06130	4,7260	14,13755	-0,00981	1,83584	-0,0017666	0,7635
Trator 2 C	0,0000	31,31590	31,31590	4,7028	14,06826	-0,00981	1,83584	-0,0017666	0,7635
Trator 3 A	0,0000	31,47890	31,47890	4,7308	14,15207	-0,03177	1,92932	-0,0093469	1,2986
Trator 3 B	0,0000	31,39490	31,39490	4,7070	14,08074	-0,03177	1,92932	-0,0093469	1,2986
Trator 3 C	0,0000	30,23310	30,23310	4,7645	14,25277	-0,03177	1,92932	-0,0093469	1,2986
Trator 4	0,0000	29,53210	29,53210	4,6606	13,94206	-0,03177	1,92932	-0,0093469	1,2986
Trator 5A	0,0000	25,53330	25,5333	2,4244	7,252475	-0,00980	1,83583	-0,0017668	0,7635
Trator 5B	0,0000	25,53330	25,5333	2,4244	7,166073	-0,00980	1,83583	-0,0017668	0,7635
Trator 6A	0,7866	28,04510	28,8317	2,5222	7,545038	-0,03393	1,91897	-0,0145423	1,9758
Trator 6B	0,0000	30,64792	30,6479	2,5617	7,663237	-0,00980	1,83583	-0,0017621	0,7635
Trator 7A	0,0000	25,53333	25,5333	2,4241	7,252234	-0,00980	1,83583	-0,0017621	0,7635
Trator 7B	0,0000	22,42954	22,4295	2,4192	7,545456	-0,009805	1,83583	-0,0017621	0,7635
Retroescavadora	0,7866	28,04515	28,8317	2,5223	7,545532	-0,033934	1,91897	-0,0145422	1,9757

$C_0$  – Efeito Pepita;  $C_1$  – Contribuição;  $C_0+C_1$  – Patamar;  $a$  – alcance;  $a'$  – alcance aparente; EM – Erro Médio;  $DP_{EM}$  – Desvio Padrão do Erro Médio; ER – Erro Médio Reduzido;  $S_{ER}$  – Desvio Padrão dos Erros Médios Reduzidos; OLS – Mínimos Quadrados Ordinário

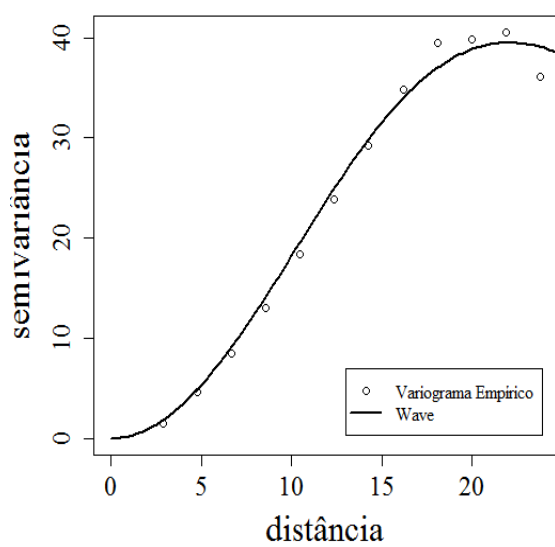
O semivariograma e seus parâmetros (efeito pepita,  $C_0$ ; contribuição,  $C_1$ ; patamar,  $C_0+C_1$ ; e alcance,  $a$ ) foram obtidos pelo método dos Mínimos Quadrados Ordinários (OLS – ordinary least square) e pelo modelo *Wave*.



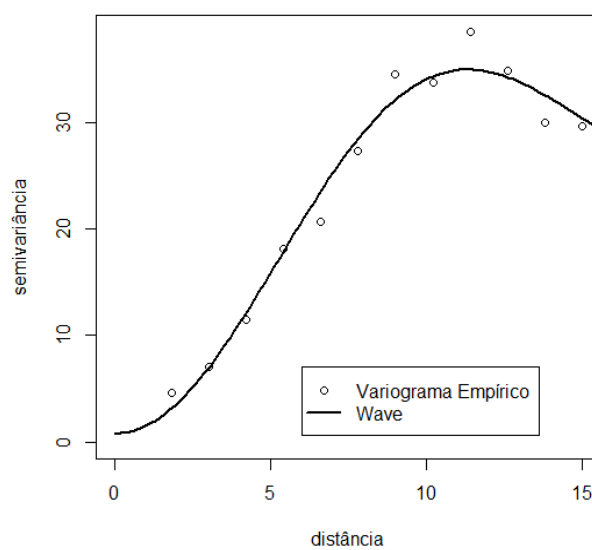
(a) Trator 1A



(b) Trator 1B

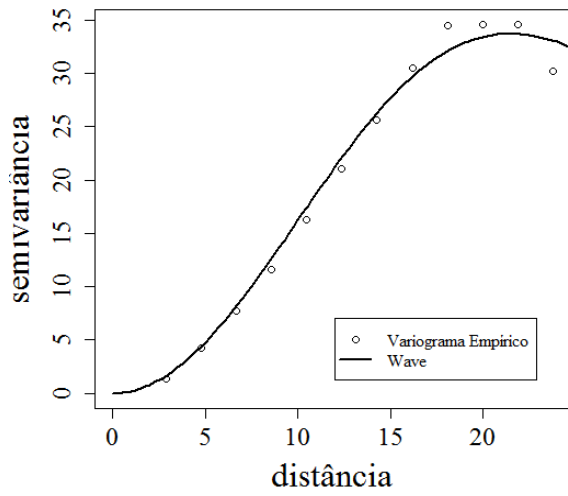


(c) Trator 1C

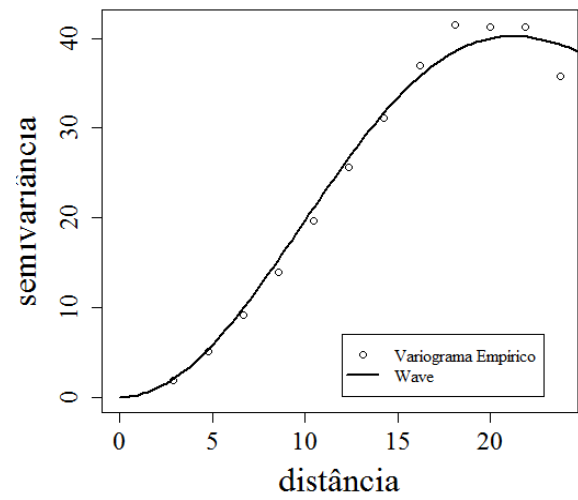


(d) Trator 1D

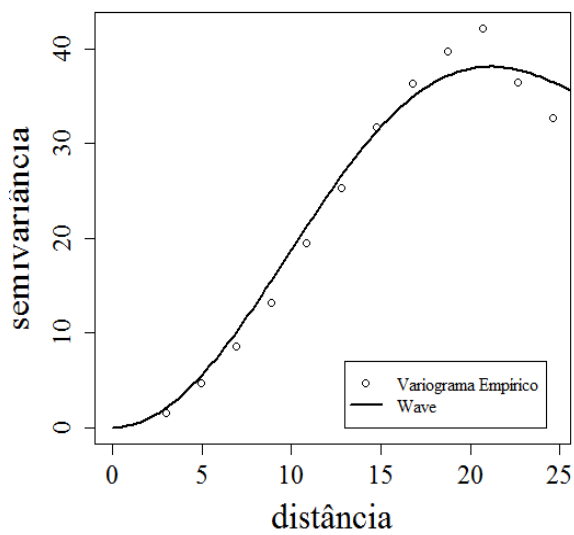
**Figura 6.** Semivariogramas dos tratores estudados: (a) Trator 1A, (b) Trator 1B, (c) Trator 1C e (d) Trator 1D.



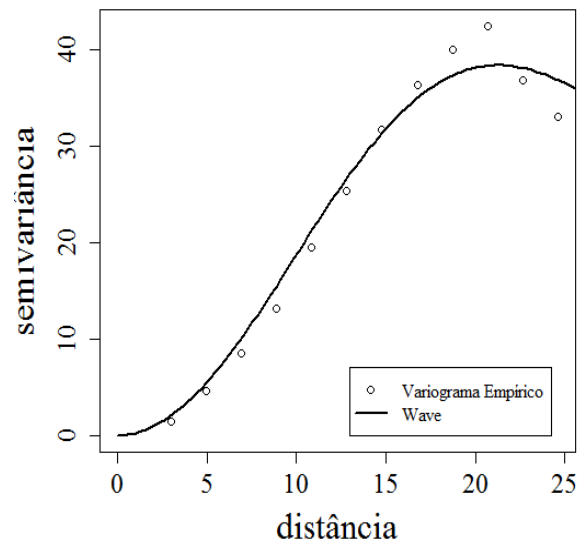
(a) Trator 2A



(b) Trator 2B

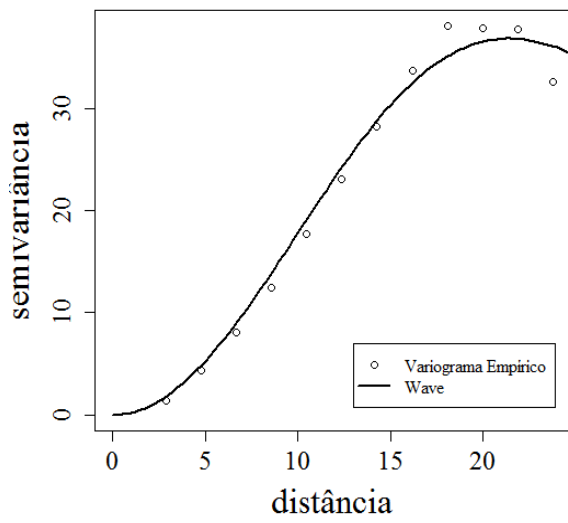


(c) Trator 2C

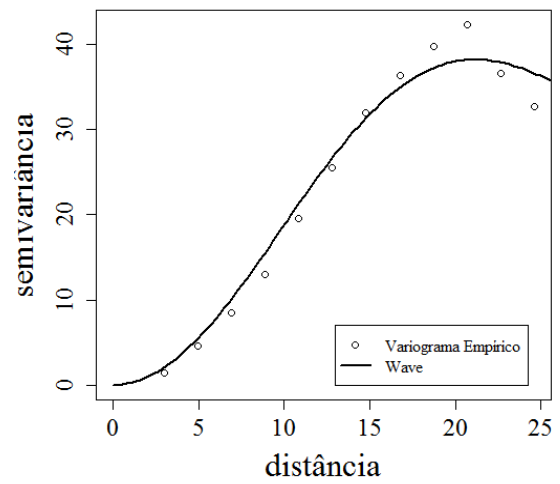


(d) Trator 3A

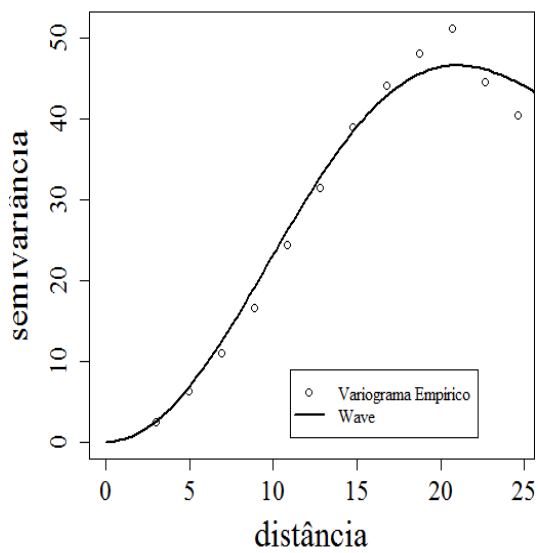
**Figura 7.** Semivariogramas dos tratores estudados: (a) Trator 2A, (b) Trator 2B, (c) Trator 2C e (d) Trator 3A.



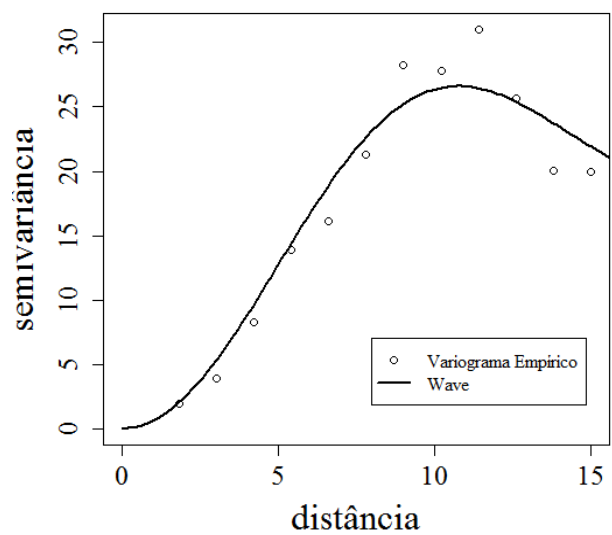
(a) Trator 3B



(b) Trator 3C

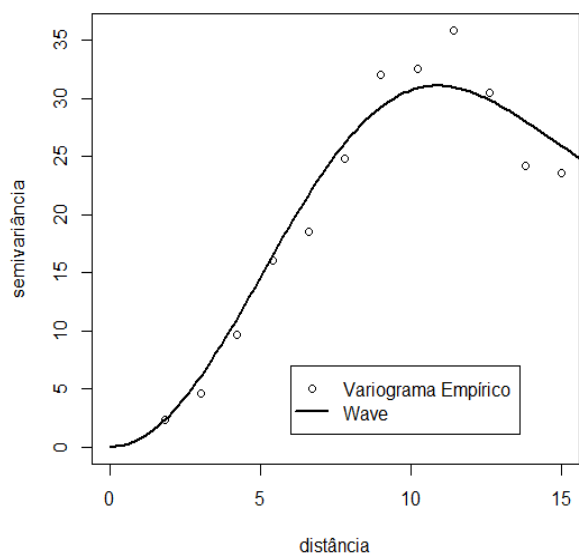


(c) Trator 4

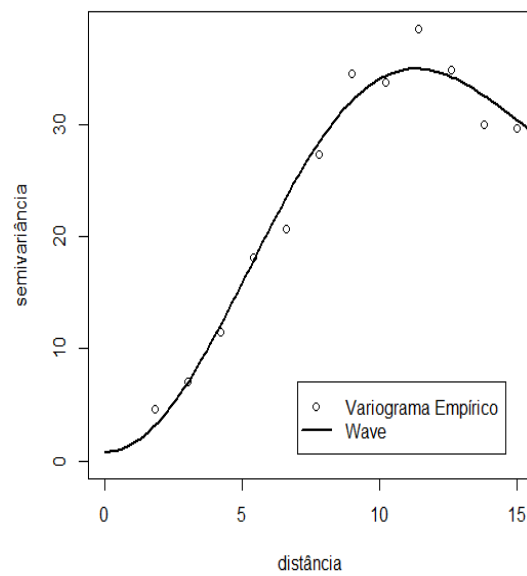


(d) Trator 5A

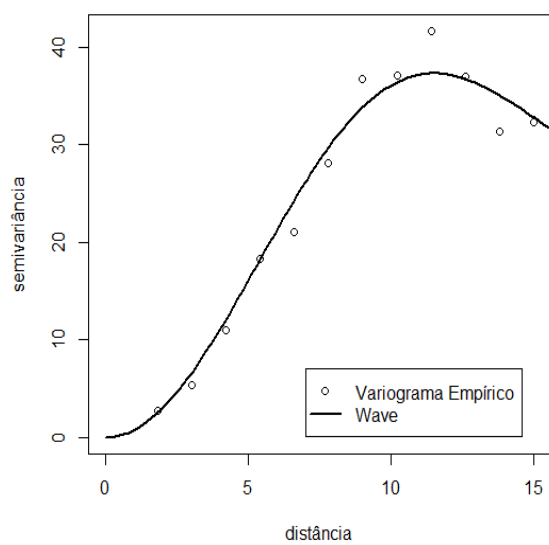
**Figura 8.** Semivariogramas dos tratores estudados: (a) Trator 3B, (b) Trator 3C, (c) Trator 4 e (d) Trator 5A.



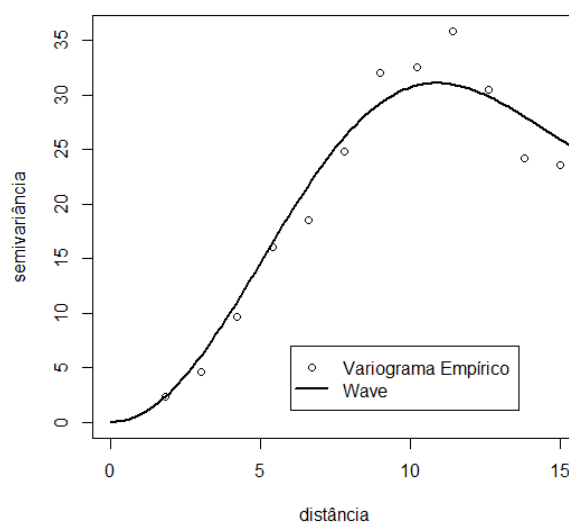
(a) Trator 5B



(b) Trator 6A

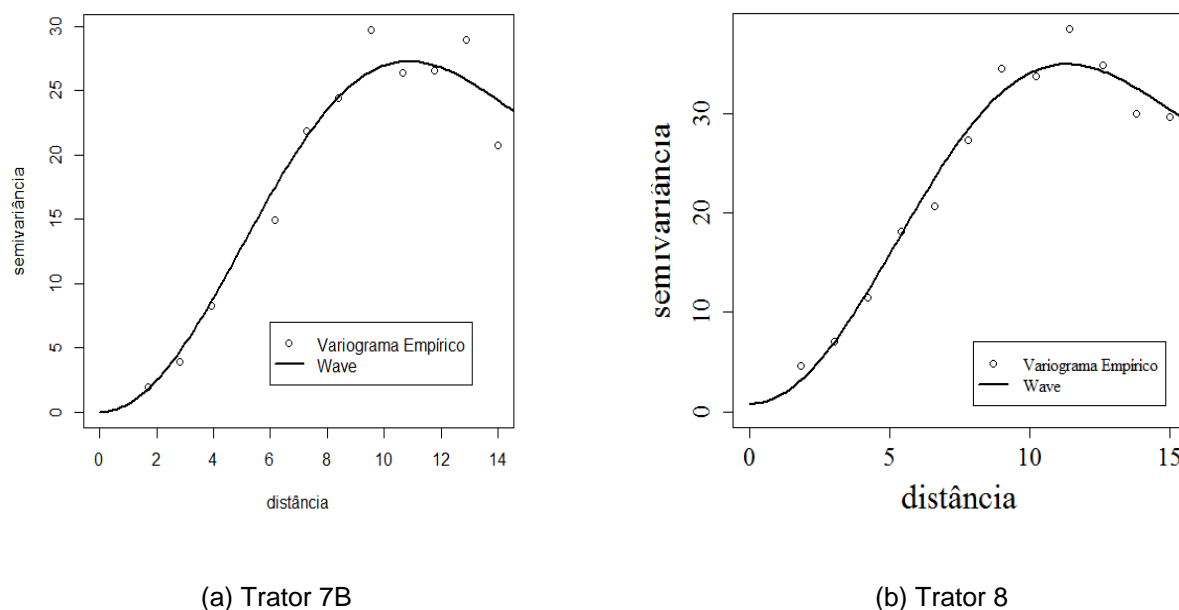


(c) Trator 6B



(d) Trator 7A

**Figura 9.** Semivariogramas dos tratores estudados: (a) Trator 5B, (b) Trator 6A, (c) Trator 6B e (d) Trator 7A.



**Figura 10.** Semivariogramas dos tratores estudados: (a) Trator 7B e (b) Trator 8.

A partir da Figura 11d, observa-se que os valores alarmantes do ruído emitido pelo Trator 1D, acima de 85 dB(A), para exposição diária de 8h (NR 15, 2017), são visualizados ao redor do trator em regime de operação, em geral, até 4 metros de distância na parte traseira, 5 metros na lateral direita, 6 metros na parte frontal e quase 4 metros na lateral esquerda da máquina, que é onde o escape dos gases do motor está localizado. Nota-se também que no centro do mapa (0,0), onde o operador se posiciona, o nível de ruído medido foi de 90,1 dB(A), sendo representada pela coloração vermelha, no qual, segundo os valores preconizados pela NR 15 (2017), tem-se uma máxima exposição diária permissível de 4 horas sem o uso de dispositivos de proteção auricular, durante sua execução (TABELA 2). O valor máximo de ruído, 95,0 dB(A) (TABELA 6), foi observado no ponto (0, -2), que foi a medida realizada próxima ao motor do trator (fonte emissora de ruído), representado pela cor vermelha do mapa, assim tem-se uma máxima exposição diária permissível de 2 horas (TABELA 2).

Ainda, na Figura 11d, verifica-se que quanto mais distante do trator, mais a coloração das manchas se torna azuladas, sinalizando o decréscimo do nível de ruído, assim tornando-se mais apropriado aos trabalhadores e não necessitando da obrigatoriedade do uso de EPI. Porém, recomenda-se mesmo assim que todos os trabalhadores envolvidos na operação desta máquina utilizem EPI. O valor mínimo de ruído produzido por este trator foi da ordem de 66,9 dB(A) (TABELA 6) observado no ponto (-14, 20), ou seja, o mais distante da fonte emissora. Segundo a Norma NB 95 (1987), quando uma pessoa é submetida a níveis altos de

ruído, existe a reação de todo o organismo a esse estímulo podendo ter reflexos em aspectos fisiológicas, bioquímicas e cardiovasculares, que podem também ser refletidos no comportamento psicológico do indivíduo. Além de outros efeitos não auditivos como: alterações fisiológicas na frequência cardíaca e na pressão sanguínea, alterações do sono, transtornos digestivos, vestibulares, neurológicos e comportamentais diversos, como irritação, cansaço, diminuição na produtividade, intolerância a ruídos, angústia, ansiedade, depressão e estresse (SELIGMAN, 1997; VIEIRA, 1997; RODRIGUES *et al.*, 2014).

Fernandes & Morata (2002, *apud* Massoti, 2016) ao estudar níveis de ruídos em máquinas agrícolas, observaram que houve uma situação de extremo desconforto para o operador do trator, onde os trabalhadores expostos a este risco queixam-se de perda auditiva e zumbido, e de vários outros sintomas como cefaleia, nervosismo, problemas de estômago. Como os níveis de ruídos estão muito acima da legislação e excedendo os limites da norma, tem-se uma situação de insalubridade para o operador e o trabalhador da operação agrícola, logo há a necessidade de adotar medidas de prevenção, conforto e segurança como a utilização de equipamentos de proteção individual (EPI) a fim de prevenir os danos nocivos citados acima.

Herhman *et al.* (2004, *apud* Guida *et al.*, 2014) afirmam que os protetores auriculares internos reduzem o ruído entre 26 e 33 dB(A) e abafadores reduzem o ruído entre 21 e 31 dB(A). Quando usados juntos reduzem 3 a 5 dB(A) extras. NIOSH (1998) afirma que um protetor que atenua 30 dB(A) em oito horas de exposição atenuará apenas 15 dB(A) se o trabalhador deixar de usá-lo por um período cumulativo de 30 minutos durante um dia de oito horas de trabalho. Como o operador e o trabalhador de apoio para operação agrícola do trator avaliado estarão sujeitos aos efeitos nocivos do ruído emitido por esta máquina, é recomendado o uso de protetor auricular, ou seja, equipamento de proteção individual (EPI), a fim de evitar danos à saúde.

Observam-se, ainda, os resultados da estatística descritiva que estão presentes na Tabela 6. A análise dos parâmetros da estatística descritiva por meio do desvio padrão e coeficiente de variação nos permite observar a variação dos níveis de ruídos emitidos pelo Trator 1A, Trator 1C e Trator 1D.

Quando comparados os valores de máximos e mínimos dos dados amostrados pode-se ressaltar que houve um aumento de aproximadamente 1 dB(A) dos níveis de ruído em relação as rotações, o que pode parecer uma pequena diferença em termos de números mas pode provocar grandes danos a saúde do operador, pois, segundo a NHO-01 da Fundacentro o

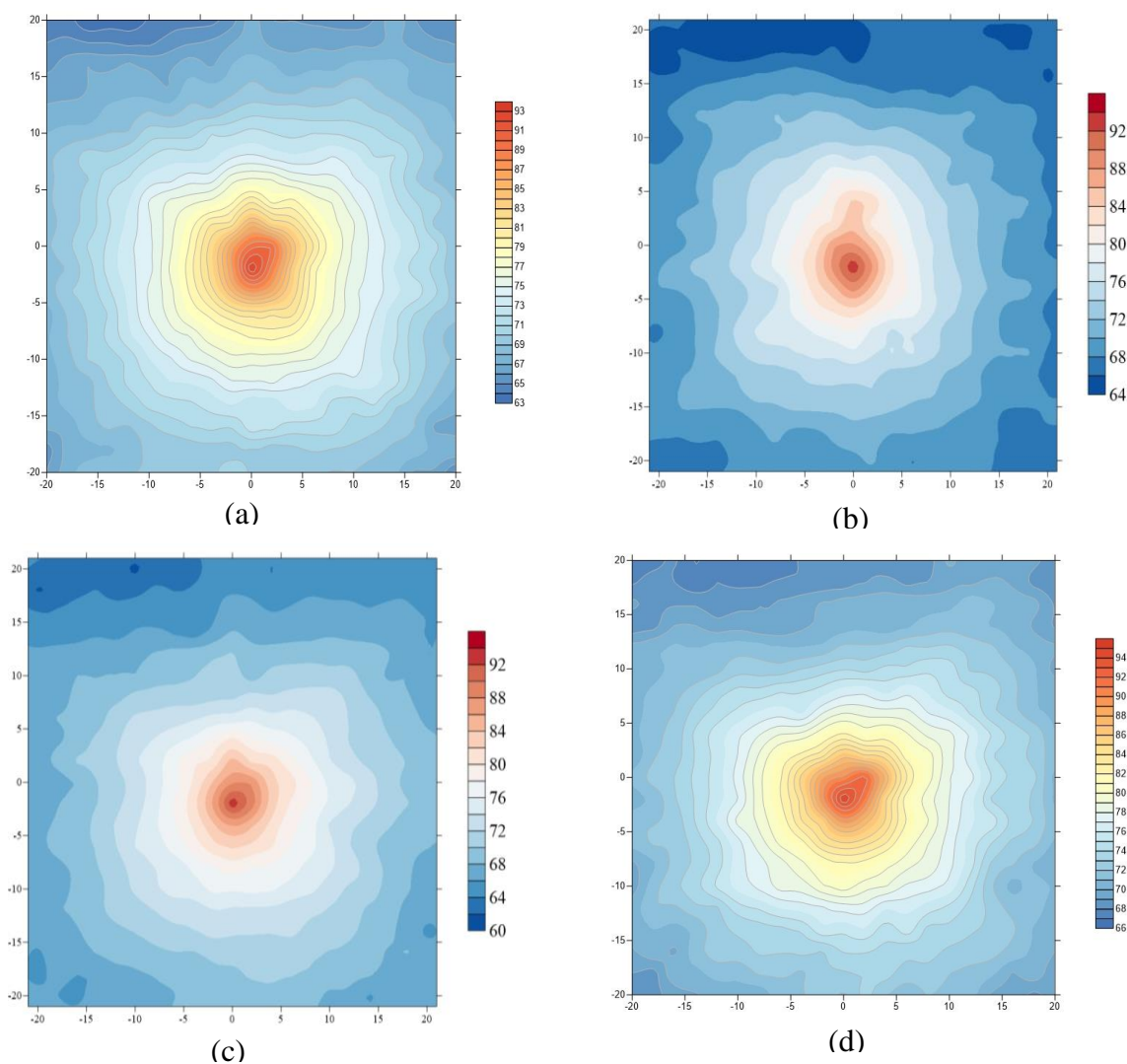


aumento de 1 dB(A) causa significativa diminuição no tempo máximo de exposição que uma pessoa pode aguentar sem sofrer danos colaterais.

Apesar de ser importante sua avaliação, a estatística descritiva não permite o conhecimento dos locais que apresentam maiores e menores níveis de ruído, fazendo necessário uma análise geoestatística (TABELA 7).

Com os resultados apresentados pela Tabela 7, constata-se que a variável em questão é influenciada pelo espaço em ambas as rotações avaliadas, porém nota-se que o alcance foi maior apresentado 14,68m (TABELA 7), quando se verifica o Trator 1D, apesar da maior rotação, apresenta níveis de ruídos mais altos, na baixa rotação a dependência espacial passa a ser de 7,05m a mais que o Trator 1C, isso ocorre por causa do ajuste do semivariograma.

Identifica-se que Figura 11 representa a variabilidade dos ruídos emitidos pelo Trator 1A, Trator 1B, Trator 1C e Trator 1D.



**Figura 11.** Mapa da distribuição espacial do ruído emitido pelo (a) Trator 1A, (b) Trator 1B, (c) Trator 1C e (d) Trator 1D.

Analisando os mapas pode-se constatar a variabilidade espacial dos níveis de ruído emitidos pelo trator, podendo ressaltar que para o Trator 1C os níveis se apresentaram mais alarmantes, ainda assim em ambos há níveis acima de 85 dB(A), que perante a NHO-01 da Fundacentro e a NR 15 o tempo máximo de exposição é de oito horas.

Os mais altos níveis de ruídos se localizam justamente no posto de operação do trabalhador e se faz necessário o uso de EPI para o operador e para aqueles auxiliares que estiverem a menos de 5 m do trator Trator 1A, menos de 7 m do Trator 1D e menos de 6 m do Trator 1C, que é onde se encontram os níveis acima de 85 dB(A).

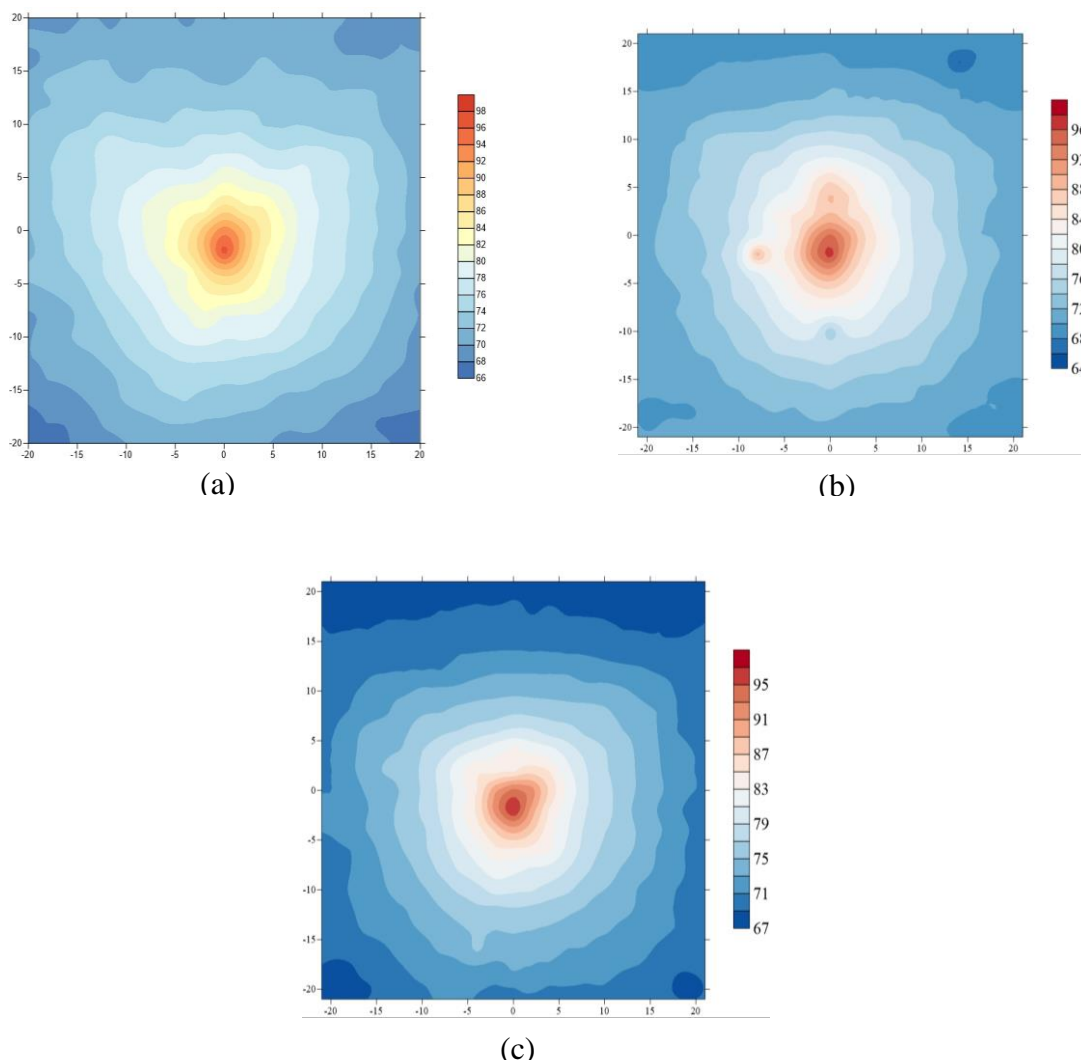
Além destes, tem-se ainda, os resultados obtidos através da estatística descritiva que estão presentes na Tabela 6. A verificação dos parâmetros da estatística descritiva por meio do desvio padrão e coeficiente de variação nos permite perceber a variação dos níveis de ruídos emitidos pelo Trator 2A, Trator 2B e Trator 2C.

Quando comparados os valores de máximos e mínimos dos dados amostrados pode-se ressaltar que houve um aumento de aproximadamente 1 dB(A) dos níveis de ruído em relação as rotações, o que pode parecer uma pequena diferença em termos de números. No entanto, pode provocar grandes danos a saúde do operador, pois, segundo a NHO-01 da Fundacentro o aumento de 1 dB(A) causa significativa diminuição no tempo máximo de exposição que uma pessoa pode aguentar sem sofrer danos colaterais.

Apesar de ser importante sua avaliação, a estatística descritiva não permite o conhecimento dos locais que apresentam maiores e menores níveis de ruído, fazendo necessário uma análise geoestatística (TABELA 7).

Com os resultados apresentados pela Tabela 7, constata-se que a variável em questão é influenciada pelo espaço em ambas as rotações avaliadas, mas o maior alcance prático apresentado foi 14,28m (FIGURA 12a) que está relacionado ao Trator 2A, apesar da maior rotação apresentar níveis de ruídos mais altos, na baixa rotação a dependência espacial passa a ser de 0,22m a mais que o Trator 2C, isso ocorre por causa do ajuste do semivariograma.

Nota-se na Figura 12, a variabilidade dos ruídos emitidos pelos tratores: Trator 2A, Trator 2B e Trator 2C.



**Figura 12.** Mapa da distribuição espacial do ruído emitido pelo (a) Trator 2A, (b) Trator 2B e (c) Trator 2C.

Analisando os três mapas pode-se constatar a variabilidade espacial dos níveis de ruído emitidos pelo trator, podendo ressaltar que para o Trator 2C os níveis se apresentaram mais alarmantes, contudo em ambos há níveis acima de 85 dB(A), que perante a NHO-01 da Fundacentro e a NR 15 o tempo máximo de exposição é de oito horas.

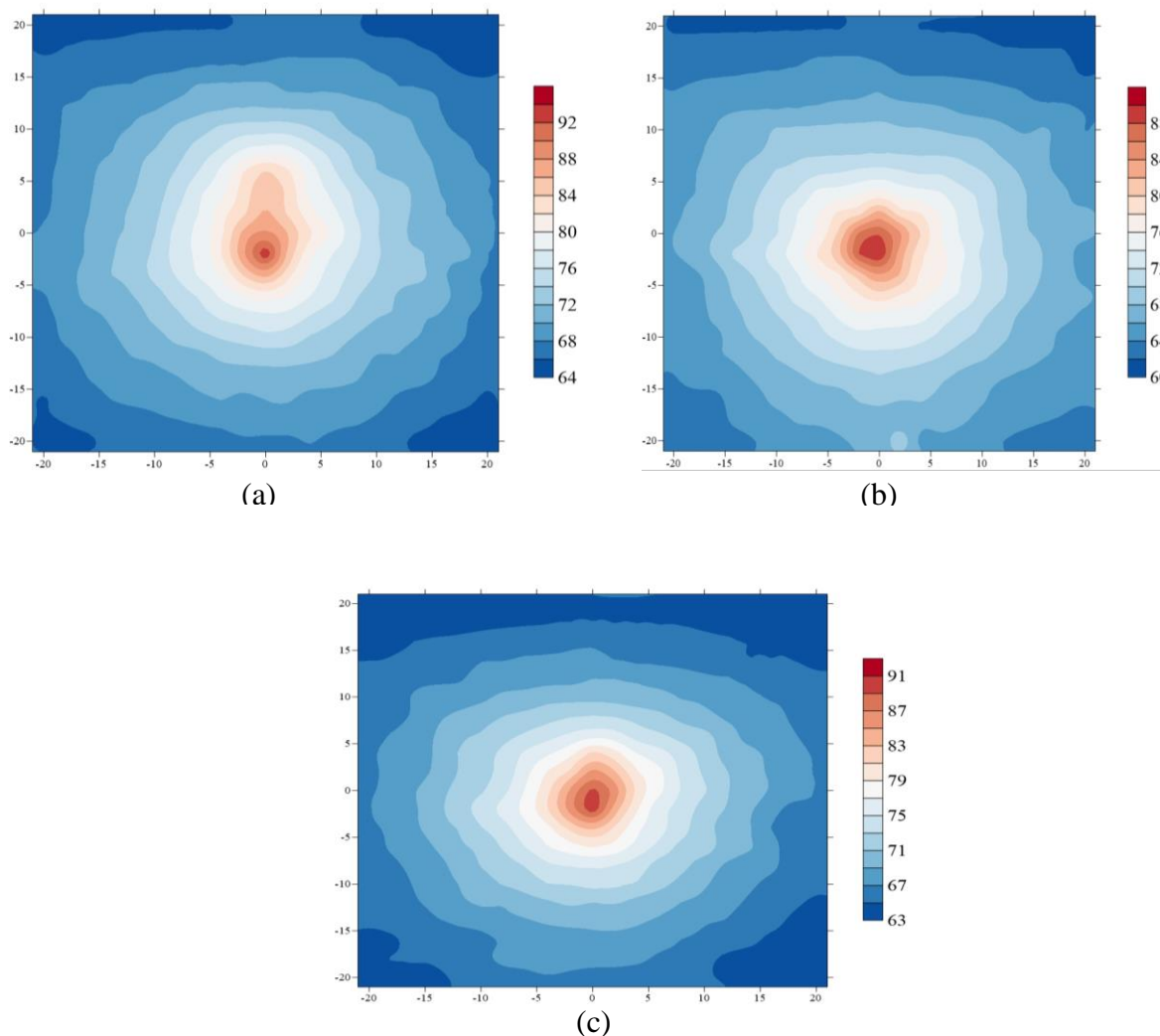
Os mais altos níveis de ruídos se localizam justamente no posto de operação do trabalhador e se faz necessário o uso de EPI para o operador e para aqueles auxiliares que estiverem a menos de 5 m do Trator 2A, menos de 7 m se do Trator 2B e menos de 6 m do Trator 2C, que é onde se encontram os níveis acima de 85 dB(A).

Por último, os resultados da estatística descritiva que estão presentes na Tabela 6. A análise dos parâmetros da estatística descritiva por meio do desvio padrão e coeficiente de variação nos permite verificar a disparidade dos níveis de ruídos emitidos pelo trator da linha média do Trator 2A, Trator 2B e Trator 2C.

Quando comparados os valores de máximos e mínimos dos dados amostrados pode-se destacar que houve um aumento de aproximadamente 1 dB(A) dos níveis de ruído em relação as rotações, o que pode parecer uma pequena diferença em termos de números mas pode provocar grandes danos a saúde do operador, pois, segundo a NHO-01 da Fundacentro o aumento de 1 dB(A) causa significativa diminuição no tempo máximo de exposição que um indivíduo pode aguentar sem sofrer danos colaterais.

Com os resultados apresentados pela Tabela 7, constata-se que a variável em questão é influenciada pelo espaço em ambas as rotações avaliadas, ainda assim o maior alcance prático apresentado foi 14,15m (FIGURA 13a) que está relacionado ao Trator 3A, apesar da rotação apresentar níveis de ruídos mais altos, na baixa rotação a dependência espacial passa a ser de 0,07m a mais que o Trator 3B, isso ocorre por causa do ajuste do semivariograma.

Já a Figura 13 está representando a variabilidade dos ruídos emitidos pelo Trator 3A, Trator 3B e Trator 3C.



**Figura 13.** Mapa da distribuição espacial do ruído emitido pelo (a) Trator 3A, (b) Trator 3B e (c) Trator 3C.

Analisando os três mapas pode-se constatar a variabilidade espacial dos níveis de ruído emitidos pelo trator, podendo ressaltar que para o Trator 3C os níveis se apresentaram mais alarmantes, porém em ambos há níveis acima de 85 dB(A), que perante a NHO-01 da Fundacentro e a NR 15 o tempo máximo de exposição é de oito horas.

Os mais altos níveis de ruídos se localizam justamente no posto de operação do trabalhador e se faz necessário o uso de EPI para o operador e para aqueles auxiliares que estiverem a menos de 3 m do Trator 3A, menos de 9 m do Trator 3B e menos de 5 m do Trator 3C, que é onde se encontram os níveis acima de 85 dB(A).

Ademais, o semivariograma e seus parâmetros (efeito pepita,  $C_0$ ; contribuição,  $C_1$ ; patamar,  $C_0+C_1$ ; alcance,  $a$ ; e alcance prático,  $a'$ ) obtidos método dos Mínimos Quadrados Ordinários (OLS - ordinary least square) para o Trator 4 podem ser observados na Figura 14. Ainda nesta figura, repara-se que o alcance prático da distribuição espacial do ruído foi de 13,94m (FIGURA 14), o que implica dizer que até esta distância a variável em estudo é influenciada pelo espaço.

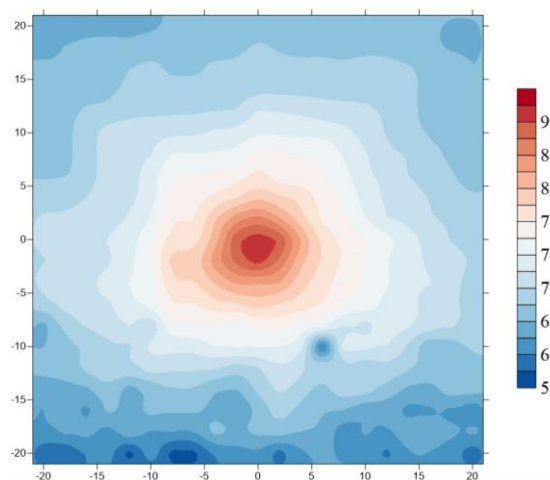
Ainda, Gomes *et al.* (2013), avaliando o aumento da rotação do motor do trator, observaram que esta operação pode acarretar aumento no nível de potência sonora, mas somente em rotações extremas (2.200 rpm).

Já verificando a Figura 14, observa-se que os valores alarmantes do ruído emitido pelo Trator 4, acima de 85 dB(A), para exposição diária de 8h (NR 15, 2017), são visualizados, em geral, até 6 metros de distância ao redor do trator em regime de operação. Ainda na Figura 14, nota-se que no centro do mapa (0,0), onde o operador se posiciona, o nível de ruído medido foi de 91,2 dB(A), sendo representada pela coloração avermelhada. Este valor pode ser considerado elevado para exposição diária.

O valor próximo do máximo do ruído, 91,0 dB(A), foi observado no ponto (0,-2), que foi a medida realizada próxima ao motor do trator (fonte emissora de ruído), representado pela cor vermelha do mapa. Conforme a Norma Regulamentadora (NR 15, 2017) do Ministério do Trabalho e Emprego (2017), em todos os casos avaliados, o limite permitido foi ultrapassado para uma exposição diária de 8 horas. Observou-se desta forma, que tanto o operador do trator avaliado, quanto o trabalhador de apoio para operação agrícola estarão sujeitos aos efeitos nocivos do ruído emitido por esta máquina.

Verifica-se que os operadores necessariamente precisam usar o protetor auricular, ou seja, equipamento de proteção individual (EPI). Portanto, quanto mais distante do trator, mais a coloração das manchas se torna azuladas, sinalizando o decréscimo do nível de ruído, assim

tornando-se mais apropriado aos trabalhadores e não necessitando da obrigatoriedade do uso de EPI. Todavia, nota-se que mesmo assim todos os trabalhadores envolvidos na operação desta máquina utilizem EPI. O valor mínimo de ruído produzido por este trator foi da ordem de 59,0 dB(A) observado no ponto (-12,-20), ou seja, o mais distante da fonte emissora.



**Figura 14.** Mapa da distribuição espacial do ruído emitido pelo Trator 4.

Observou-se na Figura 15, que quanto mais distante do trator, mais a coloração das manchas se torna amareladas, sinalizando o decréscimo do nível de ruído, assim tornando-se mais apropriado aos trabalhadores e não necessitando da obrigatoriedade do uso de EPI. Não obstante, recomenda-se mesmo assim que todos os trabalhadores envolvidos na operação desta máquina utilizem EPI. O valor mínimo de ruído produzido por este trator foi da ordem de 71,2 dB(A) (TABELA 6) observado no ponto (0, -10), ou seja, o mais distante da fonte emissora.

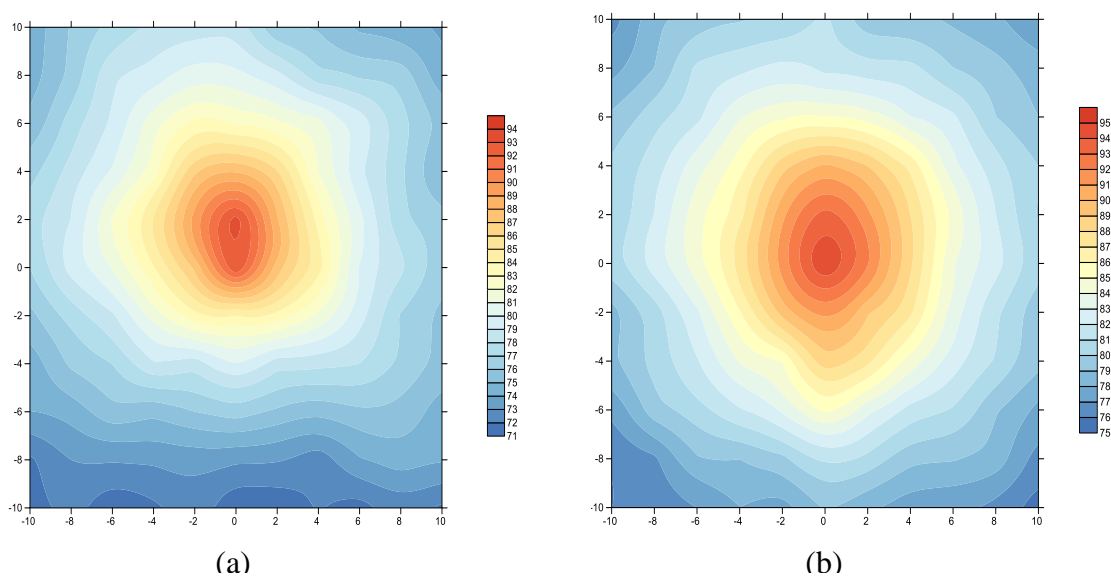
Segundo a Norma NB 95 (1987), quando uma pessoa é submetida a níveis altos de ruído, existe a reação de todo o organismo a esse estímulo podendo ter reflexos em aspectos fisiológicas, bioquímicas e cardiovasculares, que podem também ser refletidos no comportamento psicológico do indivíduo. Além de outros efeitos não auditivos como: alterações fisiológicas na frequência cardíaca e na pressão sanguínea, alterações do sono, transtornos digestivos, vestibulares, neurológicos e comportamentais diversos, como irritação, cansaço, diminuição na produtividade, intolerância a ruídos, angústia, ansiedade, depressão e estresse (SELIGMAN, 1997; VIEIRA, 1997).

Fernandes & Morata (2002) ao estudar níveis de ruídos em máquinas agrícolas, observaram que houve uma situação de extremo desconforto para o operador do trator, onde

os trabalhadores expostos a este risco queixam-se de perda auditiva e zumbido, e de vários outros sintomas como cefaleia, nervosismo, problemas de estômago.

Como os níveis de ruídos estão muito acima da legislação e excedendo os limites da norma, tem-se uma situação de insalubridade para o operador e o trabalhador da operação agrícola, logo há a necessidade de adotar medidas de prevenção, conforto e segurança como a utilização de equipamentos de proteção individual (EPI) a fim de prevenir os danos nocivos citados acima.

Hershman *et al.* (2004), afirmam que os protetores auriculares internos reduzem o ruído entre 26 e 33 dB(A) e abafadores reduzem o ruído entre 21 e 31 dB(A). Quando usados juntos reduzem 3 a 5 dB(A) extras. NIOSH (1998) afirma que um protetor que atenua 30 dB(A) em oito horas de exposição atenuará apenas 15 dB(A) se o trabalhador deixar de usá-lo por um período cumulativo de 30 minutos durante um dia de oito horas de trabalho.

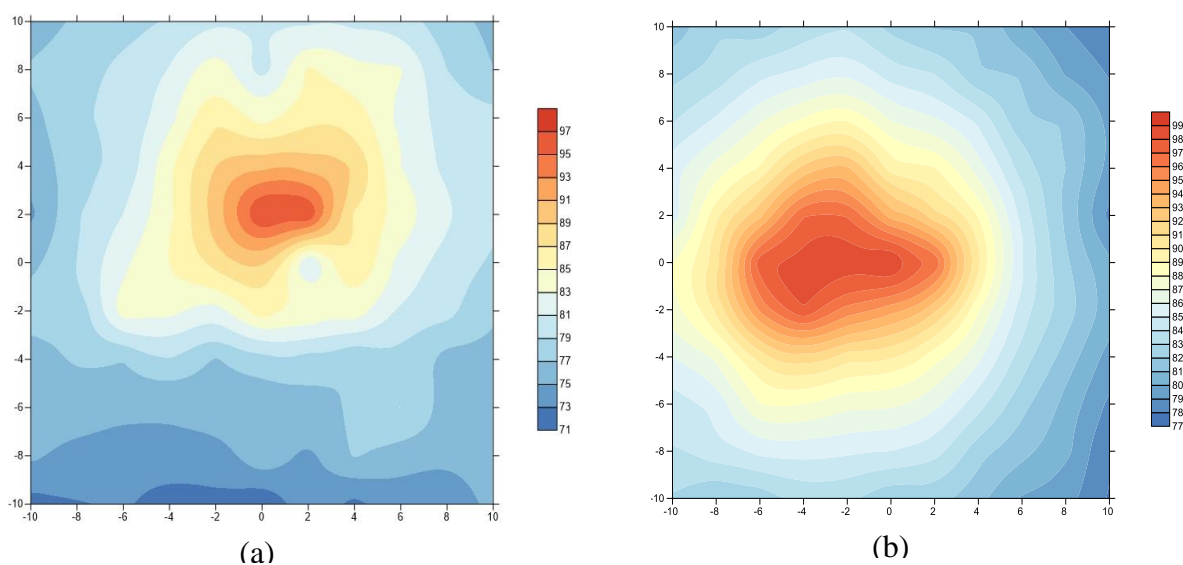


**Figura 15.** Mapa da distribuição espacial do ruído emitido pelo (a) Trator 5A e (b) Trator 5B.

Identifica-se na Figura 16, os valores alarmantes do ruído emitido pelo Trator 6A, ou seja, acima de 85 dB(A), para exposição diária de 8h (NR 15, 2017), são visualizados, em regime de operação, em geral, até 2 metros na lateral esquerda, até 3 metros na parte frontal e traseira e 4 metros na lateral direita da máquina da fonte emissora de ruídos sem acionamento da roçadora (FIGURA 16a). Já para o Trator 6B, os valores alarmantes do ruído, em regime de operação, são visualizados, em geral, até 6 metros na lateral direita da máquina, até 8 metros na parte traseira, até 9 metros na parte frontal e acima de 10 metros na lateral esquerda da máquina, que é onde o escape dos gases do motor está localizado (FIGURA 16b).

Ainda, na Figura 16a, repara-se que no centro do mapa (0,0), onde o operador se posiciona, o nível de ruído medido foi de 92,3 dB(A), sendo representada pela coloração vermelha, no qual, segundo os valores recomendados pela NR 15 (2017), tem-se uma máxima exposição diária permissível de 3 horas sem o uso de dispositivos de proteção auricular, durante sua execução. Já na Figura 16b, verifica-se que no centro do mapa (0,0), o nível de ruído medido foi de 99,0 dB(A), sendo representada pela coloração vermelha, tendo assim uma máxima exposição diária permissível de apenas 1 hora sem o uso de dispositivos de proteção auricular (NR 15, 2017), durante sua execução.

Diante disso, verifica-se que tanto o operador do trator avaliado, quanto o trabalhador de apoio para operação agrícola estarão sujeitos aos efeitos nocivos do ruído emitido pelo Trator 6A, tanto pelo Trator 6B (TABELA 5), entretanto recomenda-se utilizar sempre o protetor auricular ao acionar a roçadora neste trator. Ainda, na Figura 16, mostra a variabilidade dos ruídos emitidos pelo Trator 6A e Trator 6B.



**Figura 16.** Mapa da distribuição espacial do ruído emitido pelo (a) Trator 6A e (b) Trator 6B.

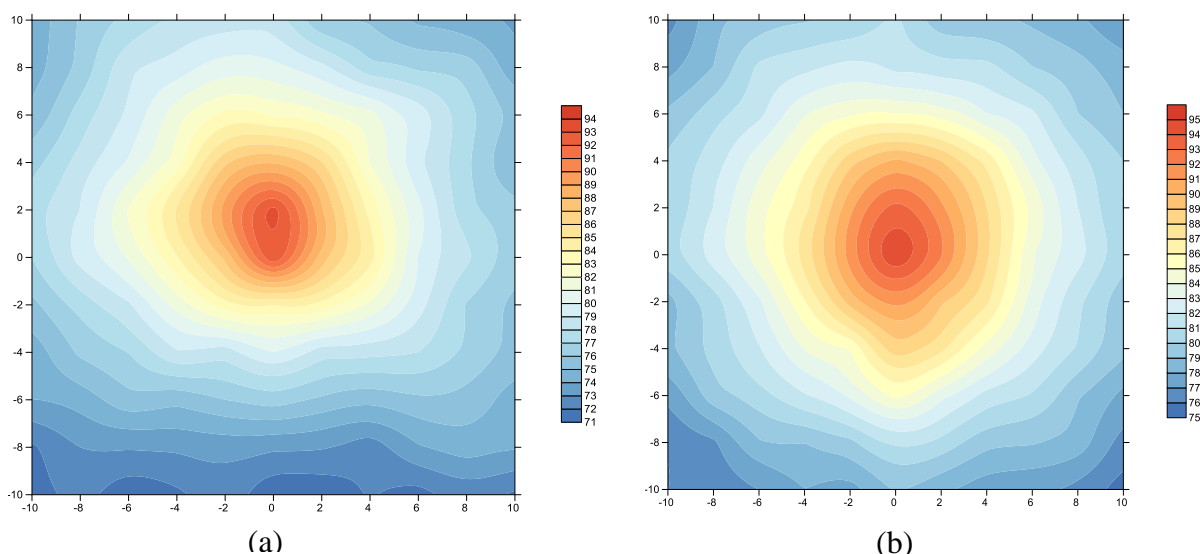
Constata-se que na Figura 17, os valores alarmantes do ruído emitido pelo Trator 7A, ou seja, acima de 85 dB(A), para exposição diária de 8h (NR 15, 2017), são visualizados, em regime de operação, em geral, até 2 metros na lateral esquerda, até 3 metros na parte frontal e traseira e 4 metros na lateral direita da máquina da fonte emissora de ruídos sem acionamento da roçadora (FIGURA 17a). Já para o Trator 7B, os valores alarmantes do ruído, em regime de operação, são visualizados, em geral, até 6 metros na lateral direita da máquina, até 8



metros na parte traseira, até 9 metros na parte frontal e acima de 10 metros na lateral esquerda da máquina, que é onde o escape dos gases do motor está localizado. (FIGURA 17b).

Na Figura 17a, constata-se que no centro do mapa (0,0), onde o operador se posiciona, o nível de ruído medido foi de 93,0 dB(A), sendo representada pela coloração vermelha, no qual, segundo os valores sugeridos pela NR 15 (2017), tem-se uma máxima exposição diária permissível de 2 horas e 40 minutos sem o uso de dispositivos de proteção auricular, durante sua execução. Ainda na Figura 17b, percebe-se que no centro do mapa (0,0), o nível de ruído medido foi de 95,0 dB(A), sendo representada pela coloração vermelha, tendo assim uma máxima exposição diária permissível de apenas 2 horas sem o uso de dispositivos de proteção auricular (NR 15, 2017), durante sua execução.

Verifica-se desta forma, que tanto o operador do trator avaliado, quanto o trabalhador de apoio para operação agrícola estarão sujeitos aos efeitos nocivos do ruído emitido pelo Trator 7A quanto pelo Trator 7B, entretanto recomenda-se utilizar sempre o protetor auricular ao acionar a roçadora neste trator.



**Figura 17.** Mapa da distribuição espacial do ruído emitido pelo (a) Trator 7A e (b) Trator 7B.

Já na Figura 18, percebe-se que quanto mais distante do trator, mais a coloração das manchas se torna azuladas, sinalizando o decréscimo do nível de ruído, assim tornando-se mais apropriado aos trabalhadores e não necessitando da obrigatoriedade do uso de EPI. Apesar disso, recomenda-se mesmo assim que todos os trabalhadores envolvidos na operação desta máquina utilizem EPI. O valor mínimo de ruído produzido por este trator foi da ordem de 62,8 dB(A) (TABELA 6) verificado no ponto (-8, 20), ou seja, o mais distante da fonte emissora.

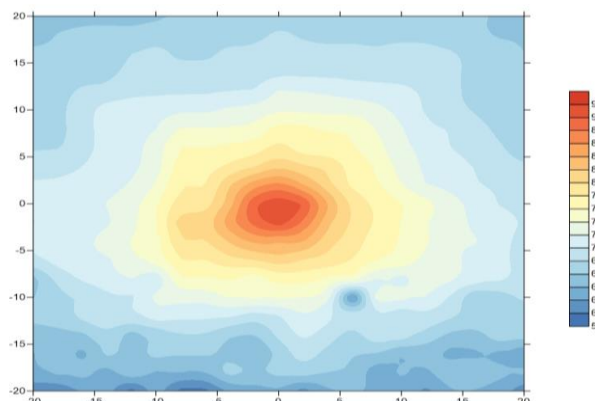
Segundo a Norma NB 95 (1987), quando uma pessoa é submetida a níveis altos de ruído, existe a reação de todo o organismo a esse estímulo podendo ter reflexos em aspectos fisiológicas, bioquímicas e cardiovasculares, que podem também ser refletidos no comportamento psicológico do indivíduo. Além de outros efeitos não auditivos como: alterações fisiológicas na frequência cardíaca e na pressão sanguínea, alterações do sono, transtornos digestivos, vestibulares, neurológicos e comportamentais diversos, como irritação, cansaço, diminuição na produtividade, intolerância a ruídos, angústia, ansiedade, depressão e estresse (SELIGMAN, 1997; VIEIRA, 1997; SILVA *et al.*, 2012).

Fernandes & Morata (2002) ao estudar níveis de ruídos em máquinas agrícolas, observaram que houve uma situação de extremo desconforto para o operador do trator, onde os trabalhadores expostos a este risco queixam-se de perda auditiva e zumbido, e de vários outros sintomas como cefaleia, nervosismo, problemas de estômago.

Como os níveis de ruídos estão muito acima da legislação e excedendo os limites da norma, tem-se uma situação de insalubridade para o operador e o trabalhador da operação agrícola, por consequência há a necessidade de adotar medidas de prevenção, conforto e segurança como a utilização de equipamentos de proteção individual (EPI) a fim de prevenir os danos nocivos citados acima.

NIOSH (1998, *apud* Silva *et al.*, 2015) afirmam que um protetor que atenua 30 dB(A) em oito horas de exposição atenuará apenas 15 dB(A) se o trabalhador deixar de usá-lo por um período cumulativo de 30 minutos durante um dia de oito horas de trabalho.

Como o operador e o trabalhador de apoio para operação agrícola do trator avaliado estarão sujeitos aos efeitos nocivos do ruído emitido por esta máquina, é recomendado o uso de protetor auricular, ou seja, equipamento de proteção individual (EPI), a fim de evitar danos à saúde.



**Figura 18.** Mapa da distribuição espacial do ruído emitido pelo Trator 8.

### 4.3 Análise de controle estatístico de processos (CEP).

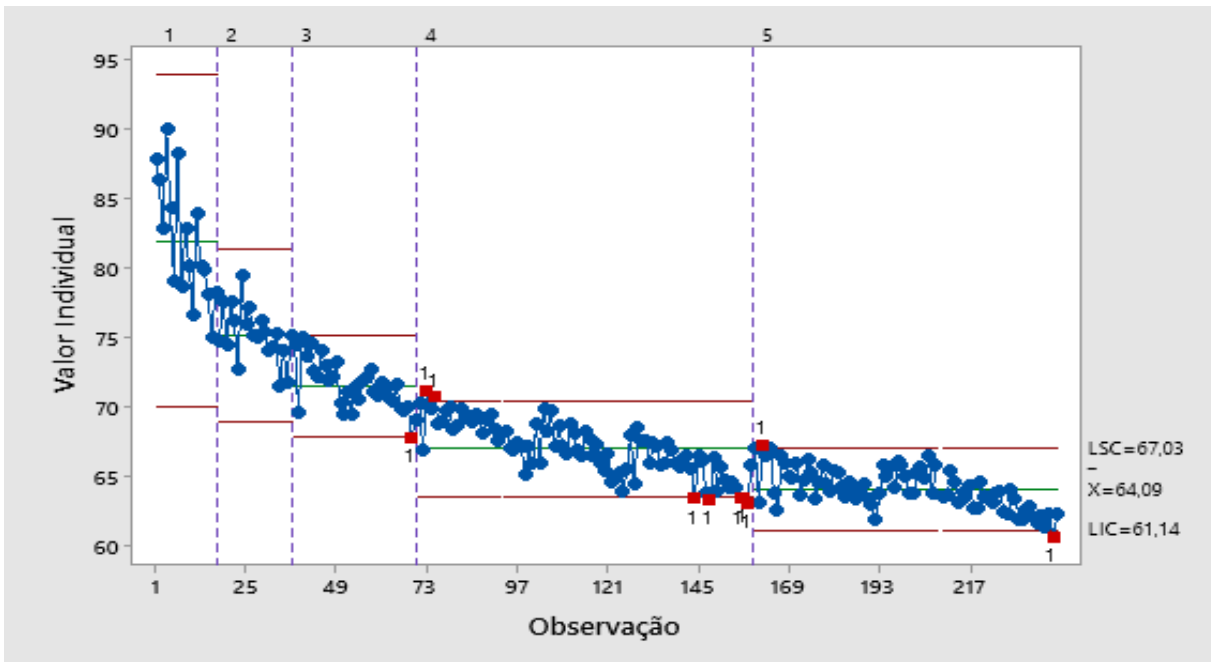
#### 4.3.1 Máquinas sem implementos

Na Figura 19, são apresentadas as cartas de controle das médias para a variável nível de ruídos. Observa-se que, em ambas as situações, o processo encontra-se fora de controle. Há, porém, mais pontos dentro dos limites de controle para o Trator 4 (FIGURA 19c), mostrando que a operação desse maquinário ocorreu de forma mais próxima do controle de qualidade do que as outras quatro situações. Neste caso, tais causas podem estar relacionadas a dados gerados por procedimentos incorretos de coleta de dados, equipamentos descalibrados ou ano de fabricação.

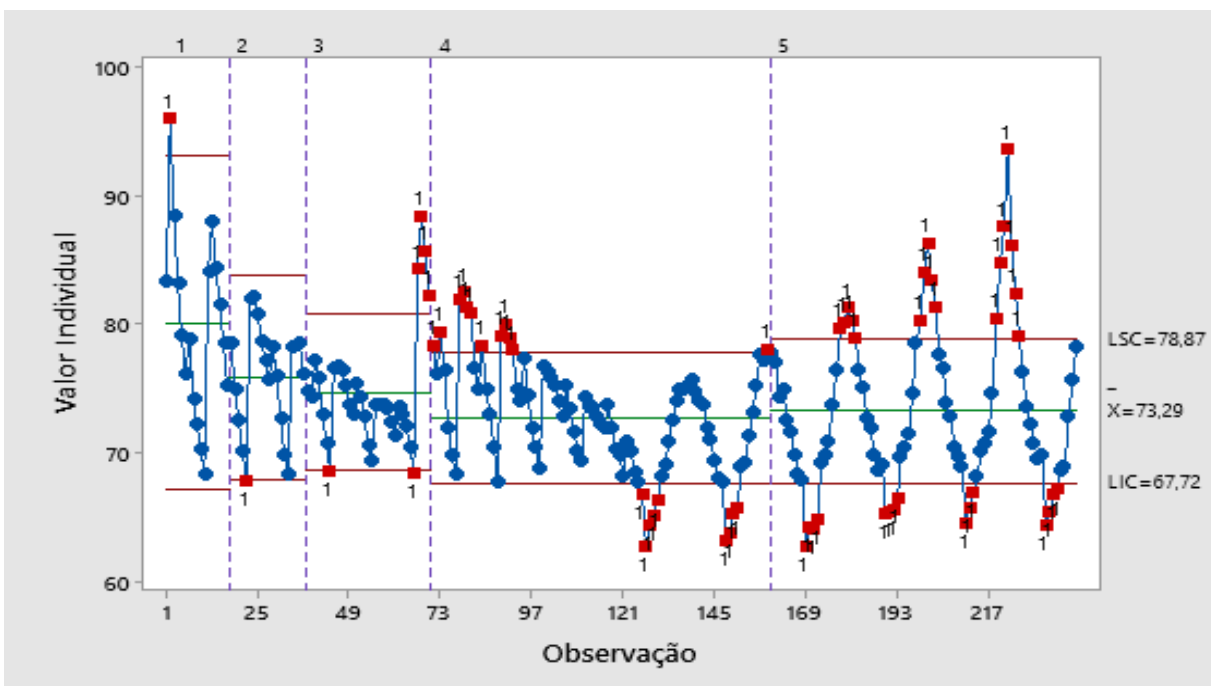
Por outro lado, quando se trata das sequências encontradas nas cartas. O principal padrão de seqüência é quando 7 (sete) ou mais pontos consecutivos aparecem em apenas um dos lados, abaixo ou acima, da linha média. Essas sequências são mais difíceis de serem detectadas, pois é necessário analisar se as causas especiais que ocorrerem no processo irão melhorá-lo ou prejudicá-lo. Geralmente, as sequências estão relacionadas a mudanças significativas no processo, causadas por matéria-prima, mudanças de equipamentos, alterações de procedimentos operacionais entre outros (FIGURA 19).

Considerando que a periodicidade é uma configuração detectável em longo prazo. Os pontos são distribuídos no gráfico como uma curva que apresenta uma tendência alternada para cima e para baixo. Essa variação pode ser associada, por exemplo, à variabilidade do ruído. Nesse item, percebe-se que os maquinários estão muito próximos.

Quando se trata das tendências, nota-se que a tendência pode ser detectada por 7 (sete) ou mais pontos, ascendentes ou descendentes. Algumas causas dessa configuração são: desgaste de ferramentas, mudança nas condições ambientais (temperatura, umidade, pressão entre outros). No ponto de vista do desgaste de ferramentas, pode-se citar em um dos maquinários apresentado como Trator 6, o ano de fabricação de 1966 (TABELA 3) pode influenciar nessa discussão. Já quando se faz uma análise das mudanças nas condições ambientais, vários fatores podem comprometer esse debate.

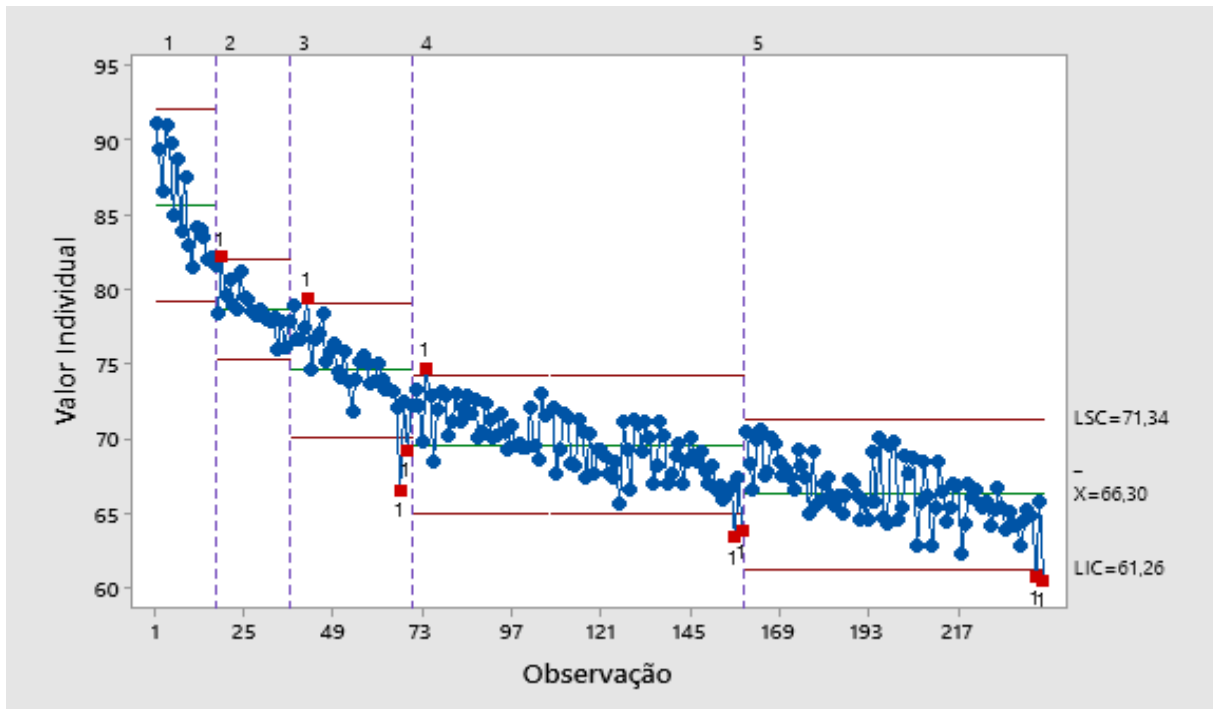


(a)

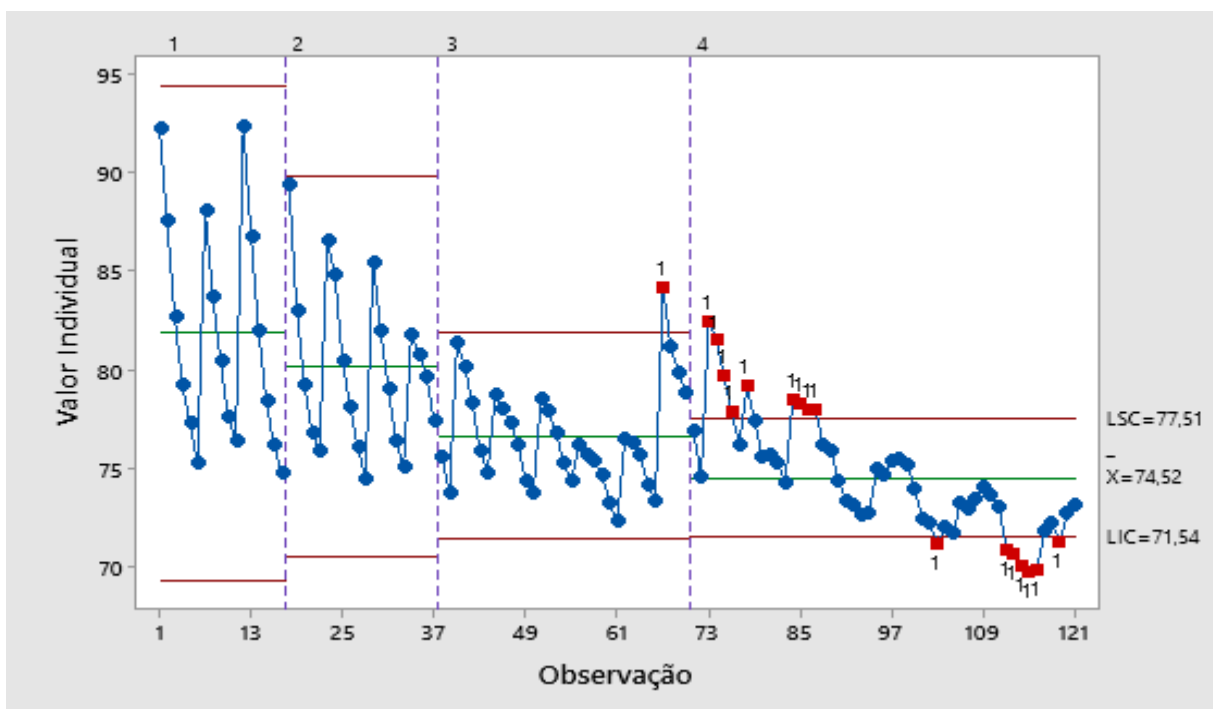


(b)

**Figura 19.** Carta de controle para os níveis de ruído do (a) Trator 3A e (b) Trator 8.

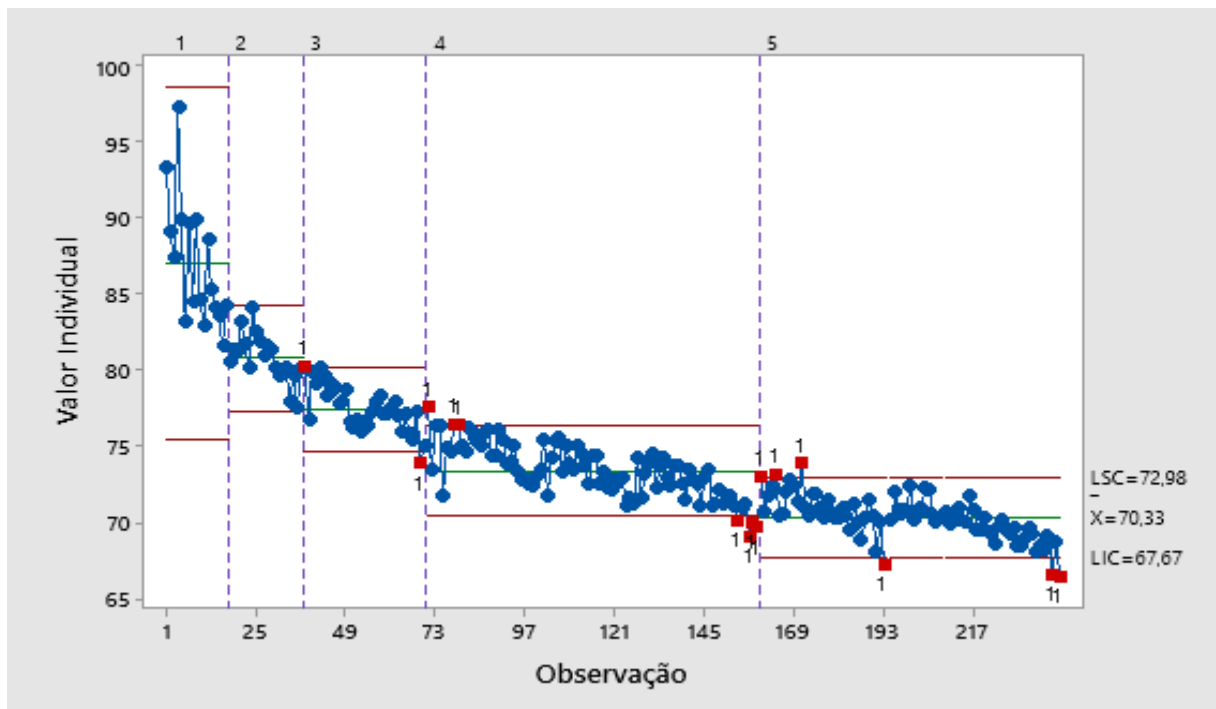


(c)



(d)

**Figura 20.** Carta de controle para os níveis de ruído do (c) Trator 4 e (d) Trator 6A.



(e)

**Figura 21.** Carta de controle para os níveis de ruído do (e) Trator 2A.

#### 4.3.2 Máquinas com efeitos dos implementos

Um ponto além dos limites não é a única forma de detectar se um processo está fora de controle; existem ao menos outras dez regras de sensibilização para os gráficos de controle de Shewhart. Algumas destas regras foram propostas pelo Western Electric (1956 *apud* Follmer, 2013), estando entre elas à regra mais utilizada que é a de um ponto fora dos limites de controle, e as demais que podem ser englobadas dentro do quesito não aleatoriedade, como a regra de dois ou três pontos consecutivos fora dos limites de dois sigmas ou uma sequência de oito pontos consecutivos em um mesmo lado da linha central (MONTGOMERY, 2004; FOLLMER, 2013).

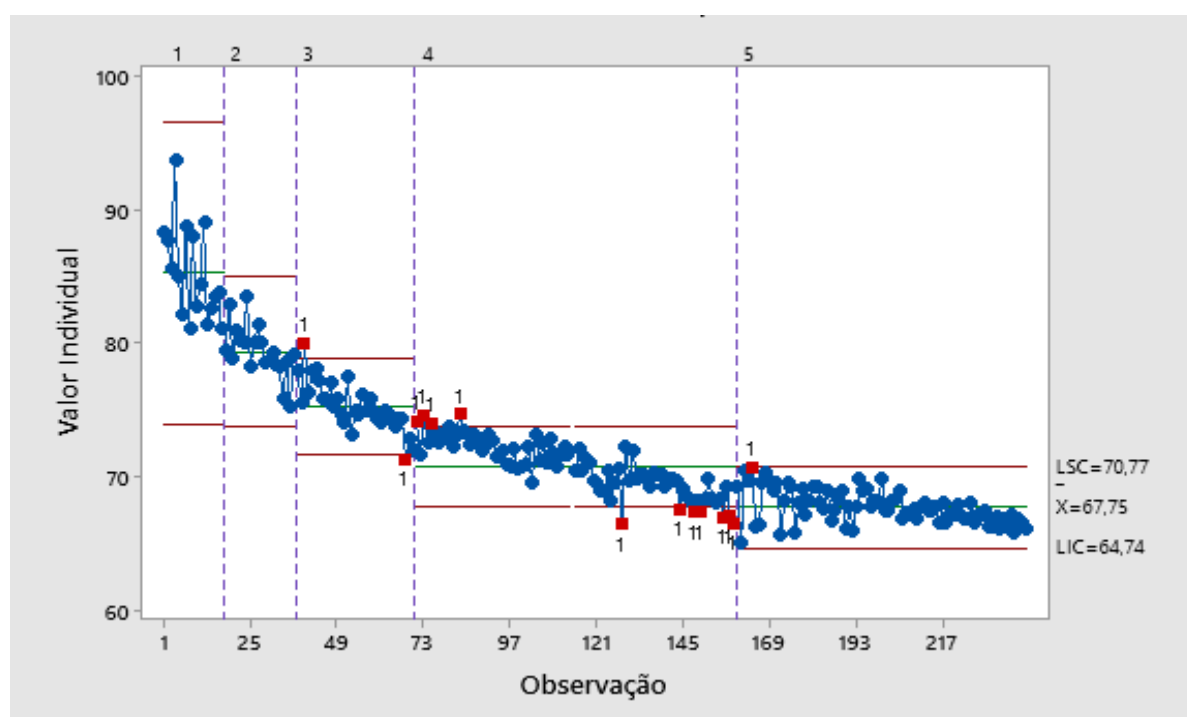
As cartas de controle para a variável nível de ruído (FIGURA 20) indicam que o processo também se encontra fora de controle, visto que há pontos que saem dos limites nas seis situações. De acordo com as cartas de controle, verifica-se que os pontos entre os limites de controle para os tratores estudados são praticamente os mesmos.

Identifica-se, também, que o Trator 2C fabricado no ano de 1996 (TABELA 3), o processo encontra-se dentro de controle próximo ao estágio 5, no Trator 1D (FIGURA 20a), no Trator 3B (FIGURA 20c) e no Trator 2B (FIGURA 20e), respectivamente.

Além do mais, a característica típica de uma carta de controle (CC) é de fazer uma representação gráfica de uma característica de qualidade, contendo uma linha central (LC) que consiste do valor médio das amostras, uma linha superior e inferior, denominados de limite superior de controle (LSC ou UCL) e limite inferior de controle (LIC ou LCL) (MONTGOMERY, 2004; FOLLMER, 2013).

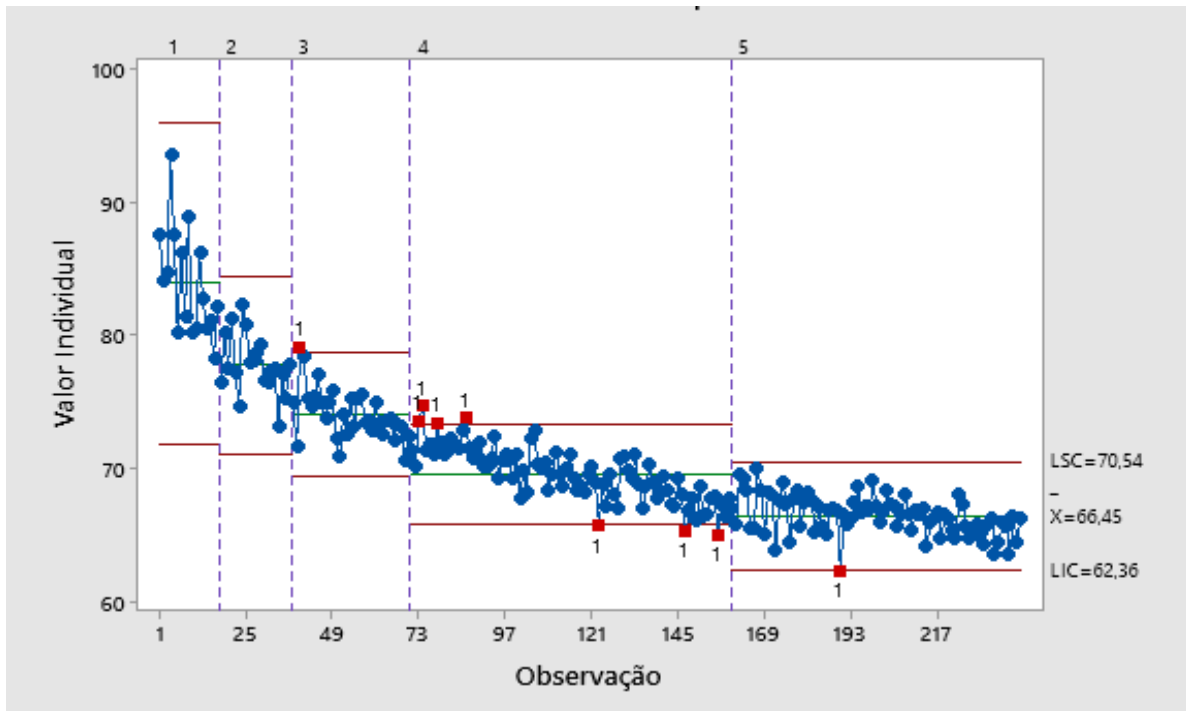
Esses limites são utilizados como base para definir se o processo está ou não sob controle estatístico. Segundo Costa *et al.* (2005 *apud* Henning *et al.*, 2011), os limites de controle podem ser descritos pela média das amostras, que é a LC mais e menos três desvios-padrão dessa média para o LSC e LIC respectivamente.

Encontram-se representadas na Figura 20, a carta de controle para o nível de ruído, relativas aos maquinários com efeitos de implementos. De acordo com a análise das cartas, o processo em questão encontra-se sob controle nos estágios 1 ao 3. Esse tipo de situação não ocorre da mesma forma que os outros tratores estudados, porém algumas situações diferenciam-nos dos outros tratores, principalmente, devido à potência desse maquinário, em geral, são maiores.

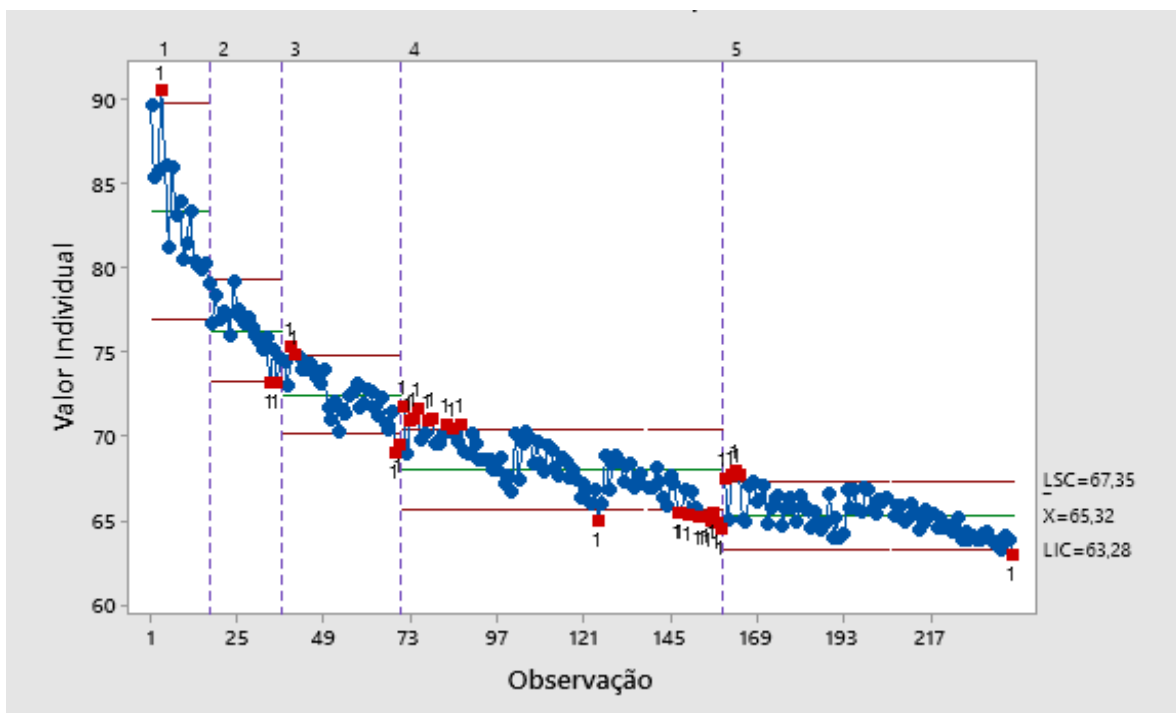


(a)

**Figura 22.** Carta de controle para os níveis de ruído do (a) Trator 1D.



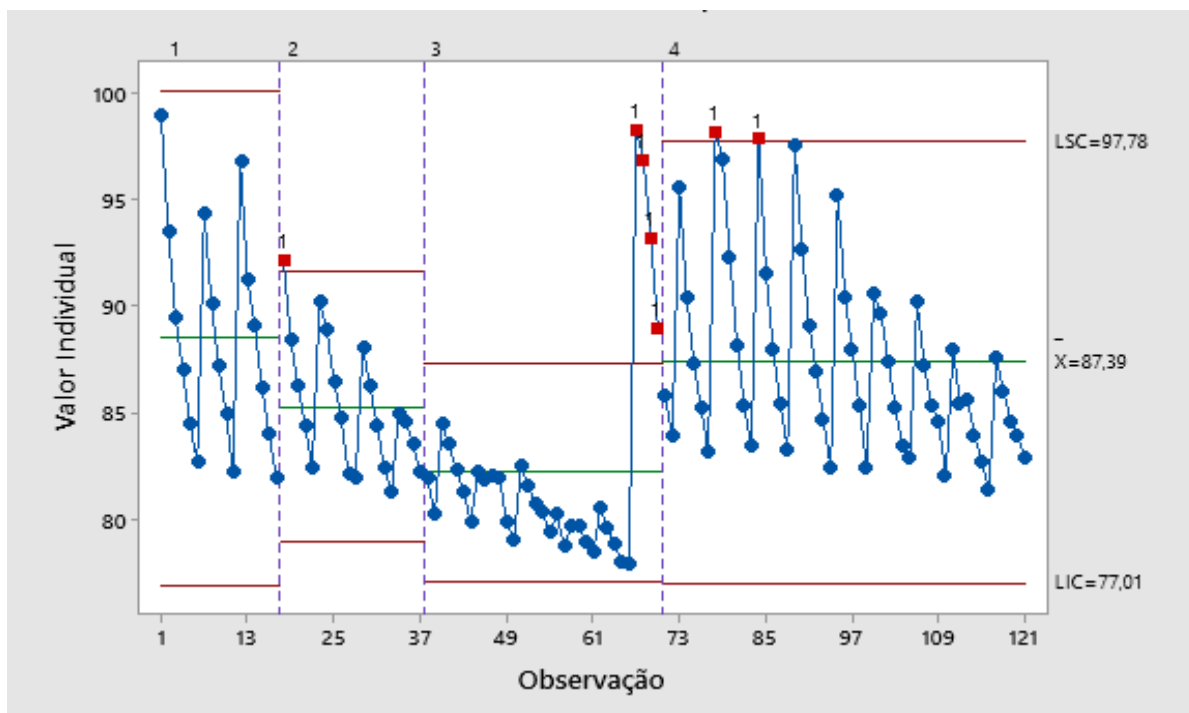
(b)



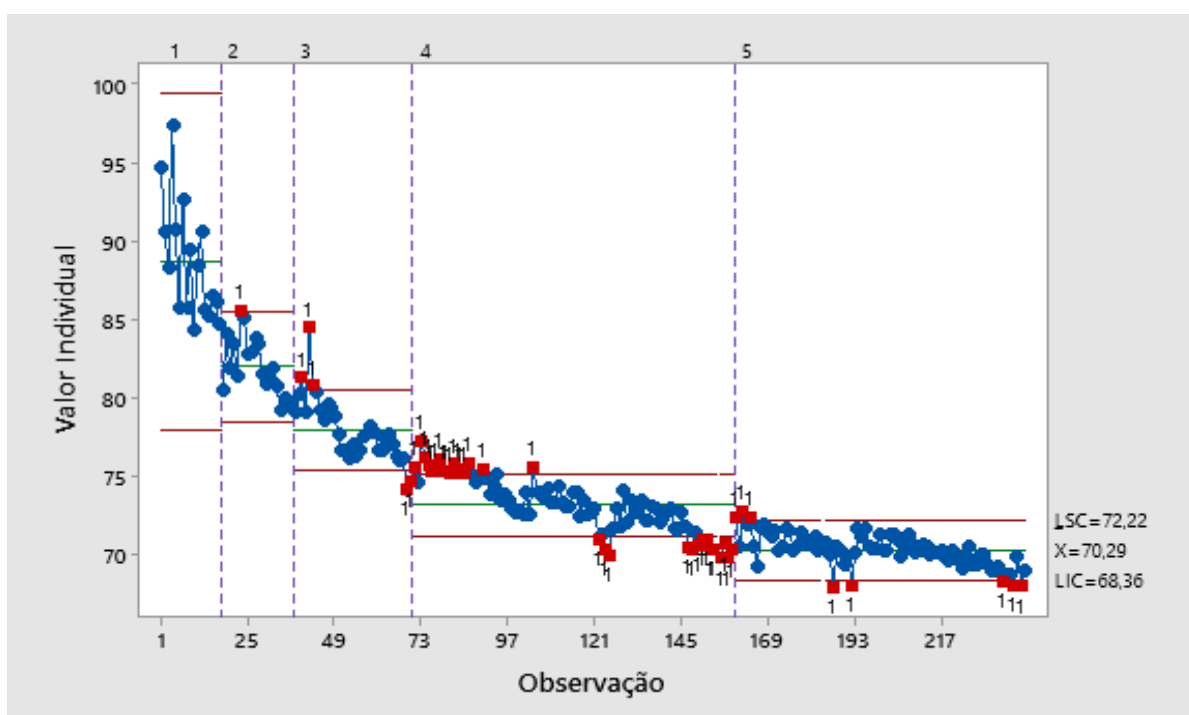
(c)

**Figura 23.** Carta de controle para os níveis de ruído do (b) Trator 1C e (c) Trator 3B.



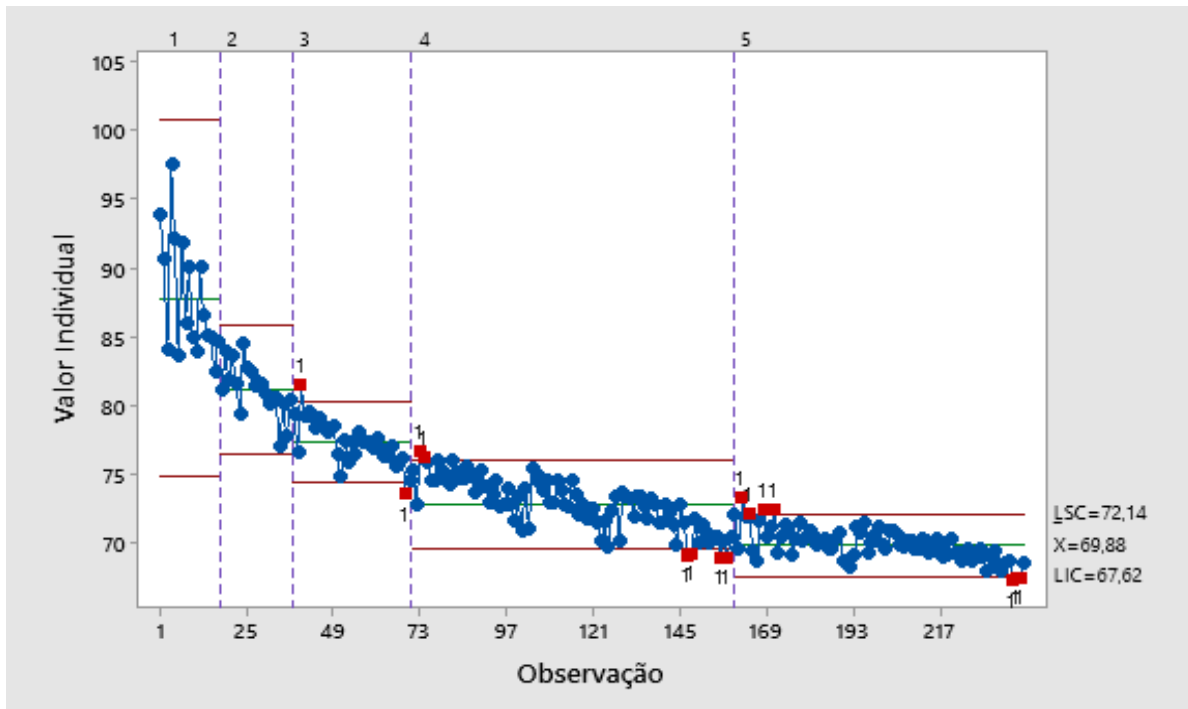


(d)



(e)

**Figura 24.** Carta de controle para os níveis de ruído do (d) Trator 6B e (e) Trator 2B.



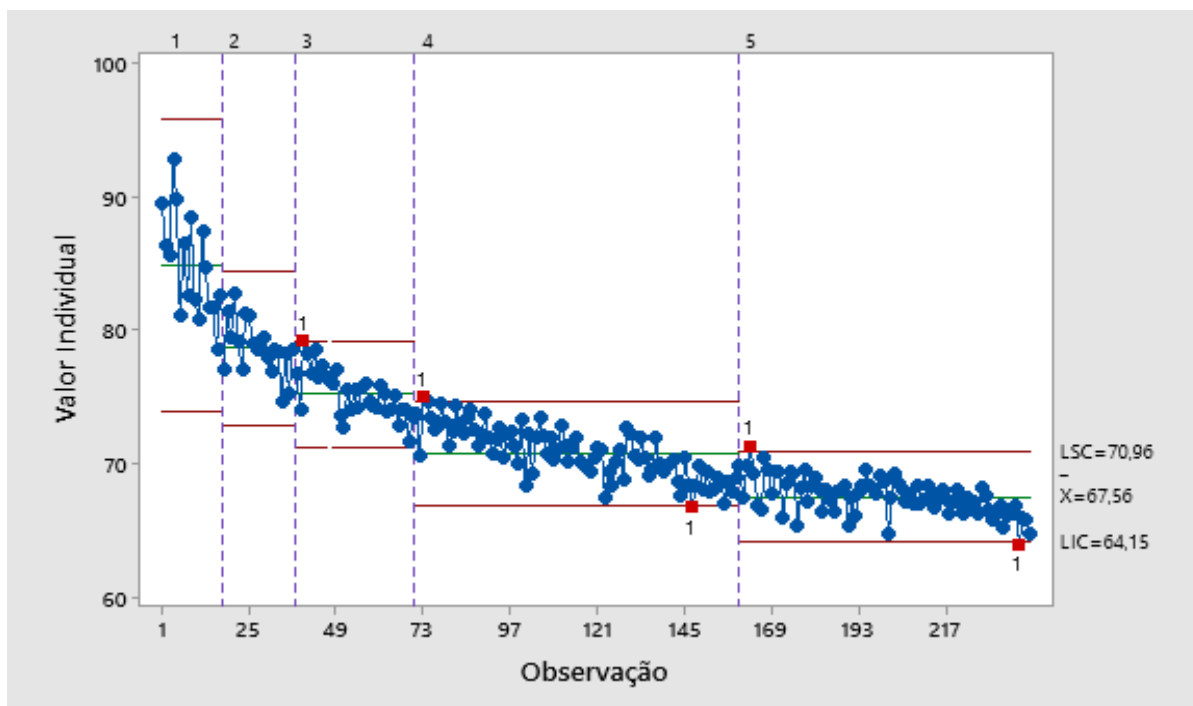
(f)

**Figura 25.** Carta de controle para os níveis de ruído do (f) Trator 2C.

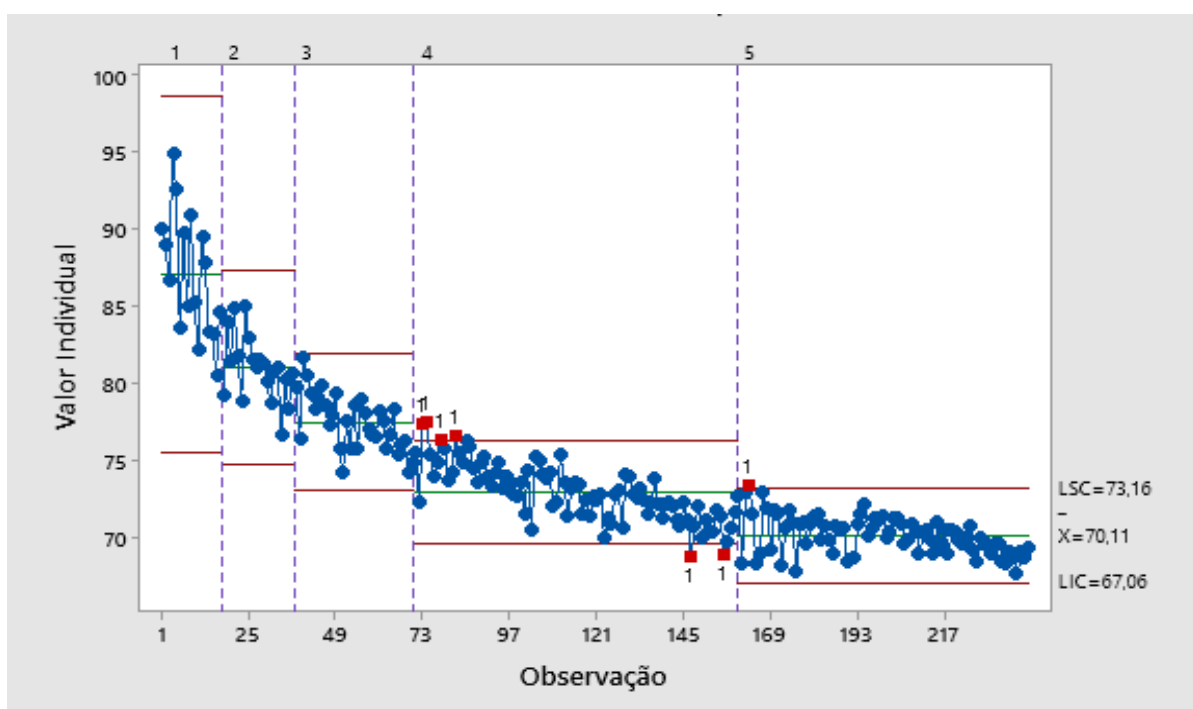
#### 4.3.3 Máquinas com efeitos da TDP

Para que o processo seja considerado sob controle estatístico, Corrêa (2007 *apud* Follmer, 2013) afirma que os pontos amostrais de uma variável qualquer devem estar situados dentro dos limites superior e inferior de controle. Além de estarem variando aleatoriamente em torno da linha central, ou seja, não podem existir pontos seguidos que representem alguma tendência nos dados. Esse tipo de comportamento caracteriza que apenas causas comuns, ou seja, variações inerentes ao processo estão agindo sobre o mesmo (MACHADO, 2010; COSTA, 2005; FOLLMER, 2013), estas variações são inevitáveis e é preciso aprender a conviver com elas.

Na Figura 21, pode-se notar que o Trator 1 fabricado no ano de 2007 (TABELA 3) apresenta uma falta de controle em ambas as situações, principalmente, porque percebe-se que tais maquinários apresentam praticamente o mesmo comportamento. No Trator 1A (FIGURA 21a) como também no trator Trator 1B (FIGURA 21b), ocorreram somente cinco pontos fora do controle, o que pode representar um “outlier”, ou seja, pode ser considerado como erro de amostragens (PORTELA, 2005; DIAS, 2011).



(a)



(b)

**Figura 26.** Carta de controle para os níveis de ruído do (a) Trator 1A e (b) Trator 1B.

Comparando os resultados dos maquinários estudados, conclui-se que houve uma ligeira melhora. Em algumas distâncias o processo pode ser considerado sob controle estatístico. Constatou-se que o processo estava operando fora dos limites de especificação em vários momentos e que a variabilidade continuou elevada, evidenciando que as melhorias

aplicadas à linha não foram suficientes para a resolução do problema, sendo necessárias novas ações sobre o processo atual.

## **5. CONCLUSÃO**

Foi possível caracterizar a estrutura e a magnitude da dependência espacial dos níveis de pressão sonora emitidos pelos tratores com e sem acionamento dos implementos estudados, bem como realizar o mapeamento de sua distribuição espacial por meio do uso da krigagem ordinária. Tal fenômeno apresenta um comportamento senoidal. Por este motivo, o modelo adéqua-se bem a esta situação. Os níveis de ruído encontrados nestes experimentos utilizando os tratores tanto sem acionamento quanto com acionamento de uma enxada rotativa, como também, com acionamento de uma esparramadora, excederam os valores encontrados na norma regulamentadora brasileira (NR 15).

Além do mais, por meio da metodologia descrita no trabalho foi possível identificar as zonas de salubridade para o operador, que com tais tratores operando em ambas as rotações apresentadas é necessário o uso de EPI, para segurança do próprio trabalhador.

Com isso, considera-se que todos os objetivos deste trabalho foram atingidos. O processo foi estudado em detalhes, foi realizada uma análise do histórico dos dados com os atuais e identificado que o processo sofreu melhorias suficientes. As causas especiais que provocam a variação no processo também foram identificadas.

Sendo assim, conclui-se que, tanto o operador da máquina, quanto as pessoas que estiverem presentes ao redor do trator, estarão submetidos aos efeitos nocivos à saúde causados pela exposição ao ruído.

## **6. SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES**

- Dessa maneira, recomenda-se que, além dos operadores das máquinas, os trabalhadores envolvidos na operação destas máquinas também utilizem protetores auriculares (EPI).

- Criar um software dedicado para análise do objeto estudado nessa pesquisa.
- Estudo dosimétrico temporal dos trabalhadores (tempo, ruído e posição).
- Implementar a lógica Fuzzy para a discussão dos dados.

- Possibilidade de criar mapas de ruído 3D.
- Estudo de dose com e sem EPI para segurança do próprio trabalhador.
- Ampliar o estudo presente para outros equipamentos agrícolas.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **Terminologia de Máquinas Agrícolas**. 1970.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 9999 – **Medição do Nível de Ruído, no Posto de Operação de tratores e Máquinas Agrícolas**. 1987.
- ALENCAR, J.R.B; SOUZA JÚNIOR M.B.; ROLIM NETO P.J., LOPES C.E. **Uso de controle estatístico de processo (CEP) para validação de processo de glibenclamida comprimidos**. *Rev Bras Farm* 2004; 85(3):115-9.
- ALMEIDA, M. F. F. **Uso da krigagem indicativa na seleção de áreas propícias ao cultivo de café em consorciação ou rotação com outras culturas**. Universidade Federal de Viçosa, 2013. Disponível em <<https://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/4070/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Acesso em: 08/05/2019.
- ALVES, C. C.; HENNING, E.; SAMOHYL, R. W. **O desenvolvimento de gráficos de controle MCUSUM E MEWMA em ambiente R como um procedimento alternativo para análise estatística de processos multivariados**. XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 13 a 16 de outubro de 2008.
- ALVES, J. U. et al. **Avaliação do ambiente de trabalho na propagação de Eucalyptus spp**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 6, n. 3, p. 481-486, set./dez. 2002.
- ALVES, A. D. S.; COSTA, F. R. L.; CORTEZ, J. W.; DANTAS, A. C. S.; NAGAHAMA, H. J. **Níveis de potência sonora emitidos por trator agrícola em condições estáticas e dinâmicas**. *Pesquisa Agropecuária*. Goiânia, v. 41, n. 1, p. 110 – 119, jan. / mar. 2011.
- ANDRADE, I. F. C.; RUSSO, I. C. P. **Relação entre os achados audiométricos e as queixas auditivas e extra-auditivas dos professores de uma academia de ginástica**. *Revista da Sociedade Brasileira de Fonoaudiologia*. São Paulo. v.15, n.2, 2010.
- ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos da estatística e geoestatística**. São Leopoldo. Unisinos, 2004. 165p.
- ANGELICO, J. C. **Desempenho da co-krigagem na determinação da variabilidade de atributos do solo**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Viçosa. v.30, n.6, 2006.
- ASSIS, T. A.; MIRANDA, J. G. V.; MOTA, F. B.; ANDRADE, R. F. S.; CASTILHO, C. M. C. **Geometria fractal: propriedades e características de fractais ideais**. *Revista Brasileira do Ensino da Física*. São Paulo, v. 30, n. 2, 2008.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Níveis de ruído aceitáveis**: NBR 10152 (NB-95). Rio de Janeiro, 1987. 4 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Tratores Agrícolas: Determinação das Características Técnicas e Desempenho**: NBR 10400. Rio de Janeiro. 1988.
- ARCOVERDE, S. N. S.; CORTEZ, J. W.; PITANGA JÚNIOR, C. DE O.; HIDEO DE JESUS NAGAHAMA, H. DE J. **Nível de ruído emitido por conjuntos mecanizados em função da velocidade e da condição do solo**. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, Recife, v.6, n.3, p.514-520, jul.-set, 2011.
- ARCOVERDE, S. N. S.; SOUZA, C. M. A.; CORTEZ, J. W., GUAZINA, R. A., MACIAK, P. A. G. **Qualidade do processo de semeadura da cultura do milho de segunda safra**. Revista Engenharia na Agricultura – Reveng. v. 24 n. 5 (2016): Setembro/Outubro. <https://doi.org/10.13083/reveng.v24i5.709>
- ÁVILA, L. F. **Comportamento espacial e temporal da umidade do solo numa bacia hidrográfica na Serra da Mantiqueira, Minas Gerais**. Universidade Federal de Lavras, 2008.
- BAESSO, M. M.; TEIXEIRA, M. M.; RODRIGUES JUNIOR, F. A.; MAGNO JUNIOR, R. G.; FERNANDES, H. C. **Avaliação do nível de ruído emitido por um conjunto trator-pulverizador com e sem assistência de ar**. Engenharia na Agricultura, Viçosa, MG, v. 16, n. 4, p. 400-407, out./dez. 2008.
- BAIO, F. H. R.; RODRIGUES, A. D.; SANTOS, G. S.; SILVA, S. P. S. **Modelagem matemática para seleção de conjuntos mecanizados agrícolas pelo menor custo operacional**. Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.33, n.2, 2013.
- BARAVIERA, C. M. C. **Efeitos da placa de raspagem na qualidade da fibra do algodão adensado utilizando plataforma PICKER VRS**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Mato Grosso. Rondonópolis, 2015.
- BERNO, M. L.; SCHNEIDER, C. I. **Modernização e mecanização agrícola em Palotina – Aídeia de desenvolvimento econômico e social no período de 1970 – 1983**. Umuarama, v. 15, n. 4, p. 217-227, out./dez. 2007.
- BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. 3.ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2018. 368p.
- BONILLA, J.A. **Qualidade total na agricultura: fundamentos e aplicações**. 2.ed. Belo Horizonte: Centro de Estudos de Qualidade Total na Agricultura, 1994. 344 p.
- BRAGA, L. P. V. **Geoestatística e aplicações**. Minicurso do 9º Simpósio Brasileiro de Probabilidade e Estatística. IME. USP. São Paulo, 1990. 36p.

- BURGESS, T.M.; WEBSTER, R. **Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties I - The semivariogram and punctual kriging.** *Journal of Soil Science*, Madison, v.31, n.2, p.315-31, 1980.
- BURROUGH, P. A.; McDONNELL, R. A. **Principles of geographical information systems.** New York: Oxford University Press, 1998. 333p.
- CAMARGO, E. C. G. **Desenvolvimento, implementação e teste de procedimentos geoestatísticos (krigeagem) no sistema de processamento de informações georreferenciais (SPRING).** São José dos Campos, 1997. 105p. Dissertação (Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- CAMPANA, C. L. **Insalubridade residual por ruído em tratores cabinados.** *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional*, São Paulo, v.12, n.47, p.50-3, 1984.
- CARLIN, H. L. S. **Estimação dos Parâmetros de Semivariogramas Utilizando Algoritmos Genéticos. - Universidade Estadual do Oeste do Paraná.** Cascavel, 2010. Disponível em <[https://www1.portaldocampo.com.br/inovacoes/agric\\_precisao.htm](https://www1.portaldocampo.com.br/inovacoes/agric_precisao.htm)> Acesso em: 12/01/2019.
- CARNEIRO NETO, W. **Controle estatístico de processo CEP [CDROM].** Recife: UPE-POLI; 2003.
- CARVALHO, J. R. P. de; VIEIRA, S. R.; VENDRUSCULO, L. G. **Uso da técnica de mínimos quadrados ponderados para ajuste de modelos de semivariograma,** Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2004. 15p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento/Embrapa Informática Agropecuária, 11).
- CARVALHO, M. M.; PALADINI, E.P. (Org.) **Gestão da qualidade: teoria e casos.** Rio de Janeiro: Editora Campus, 2005, 338 p.
- CARVALHO, J. R. P.; VIEIRA, S. R.; GREGO, C. R. **Comparação de métodos para ajuste de modelos de semivariograma da precipitação pluvial anual.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 13, n. 4, Campina Grande, 2009.
- CICHOTA, R.; LIER, Q. J. V.; ROJAS, C. A. L. **Variabilidade espacial da taxa de infiltração em Argissolo Vermelho.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, n. 5, Viçosa. 2003.
- CIVARD, L. T. **Método de implementação do controle estatístico do processo (CEP): um estudo de caso em uma indústria alimentícia do Vale do Taquari/RS sob a ótica da metodologia DMAIC.** Universidade do Vale do Taquari. Lajeado, 2017. Disponível em <<https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/2215/1/2017LucasTroncoCivardi.pdf>> Acesso em: 03/06/2019.
- CHAMBERS, D. S.; WHEELER D. J. **Understanding statistical process control.** 2.ed. Knoxville: SPC Press, 1992. p.12-20.
- CHILES, J. P.; DELFINER, P. **Geostatistics: modeling spatial uncertainty.** 2a ed. Wiley, 2012. 734 p.

- CHILES, J. P.; DELFINER, P. **Geostatistics: modeling spatial uncertainty** Wiley series in probability and statistics applied probability and statistics. New York: J. Wiley, 1999. 665p.
- CORTIVO, Z.D. **Aplicação do Controle Estatístico de Processo em seqüências curtas de produção e análise estatística de processo através do planejamento econômico.** [Dissertação] Curitiba: Universidade Federal do Paraná; 2005.
- COSTA, A. F. B.; EPPRECHT, E. K.; CARPINETTI, L. C. R. **Controle Estatístico de Qualidade.** 2. ed. São Paulo: Atlas, 2005.
- COSTA NETO, P. L. O. **Estatística.** 18.ed. São Paulo: Edgard Blucher. 1977. 264p.
- CRESSIE, N. **Statistics for spatial data.** Wiley, 1991. 900 p.
- CUSTÓDIO, A. A. P.; SILVA, R. P.; LEMOS, L. B.; TOLEDO, A.; MELO, L. P.; CUSTÓDIO, A. A. P. **Controle estatístico aplicado da colheita mecanizada de cafeeiros irrigados.** Revista de Agricultura v.87, n.3, p. 172 – 180, 2012. Disponível em: <  
[https://www.researchgate.net/profile/Rouverson\\_Silva/publication/312054281\\_Statistical\\_control\\_applied\\_to\\_mechanized\\_harvesting\\_of\\_irrigated\\_coffee\\_trees/links/58be272345851591c5e9c03c/Statistical-control-applied-to-mechanized-harvesting-of-irrigated-coffee-trees-Controle-estatistico-aplicado-na-colheita-mecanizada-de-cafeeiros-irrigados.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Rouverson_Silva/publication/312054281_Statistical_control_applied_to_mechanized_harvesting_of_irrigated_coffee_trees/links/58be272345851591c5e9c03c/Statistical-control-applied-to-mechanized-harvesting-of-irrigated-coffee-trees-Controle-estatistico-aplicado-na-colheita-mecanizada-de-cafeeiros-irrigados.pdf)> Acesso em: 21/11/2019.
- DALLMEYER, A. U.; SCHLOSSER, J. F. **Mecanización para la agricultura de precisión.** In: BLU, R. O.; MOLINA, L. F. Agricultura de precisión – Introducción al manejo sitio-específico. Chillán-Chile-INIA, 1999. Cap. 3, p. 75-104.
- DALLMEYER, A. U. **Motores da memória rural.** Revista Globo Rural. Edição 2003. Setembro 2002.
- DELFINER, P., DELHOMME, J. P. **Optimum interpolation by kriging.** In: DAVIS, J. C.; McCULLAGH, M. J. Display and analysis of spatial data. New York: John Wiley, 1975. p. 96-114.
- DUTRA, M. D. S. **Geoestatística aplicada a caracterização da distribuição espacial de espécies arbóreas em floresta ombrófila mista.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, 2014.
- ELEUTÉRIO, J.R. **Colheita mecânica: avaliação das perdas e otimização.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 3., 2001, Campo Grande. Anais...Campina Grande: EMBRAPA/ CNPA, 2001, p.11-14.
- EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Colheita.** Disponível em: <  
<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Algodao/AlgodaoCerrado/colheita.htm>> Acesso em: 10/04/2019.



- ESRI. Using ArcGIS Geostatistical Analyst – GIS by ESRI. Redlands, CA: ESRI, 2001.
- FANHA, A. B. **Caracterização de reservatório através de técnicas estatística multivariadas e modelagem estocástica no campo de baixa do algodão, Bacia Potiguar.** Campinas, 1994. 178p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas.
- FERNANDES, J. C. **Avaliação dos níveis de ruído em tratores agrícolas e seus efeitos sobre o operador.** 1991. 192 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1991.
- FERNANDES, M.; MORATA, T. C. **Estudo dos efeitos auditivos e extra-auditivos da exposição ocupacional a ruído e vibração.** Rev Bras Otorrinolaringol. 68:705-713. 2002
- FOLLMER, E. **Implementação de Controle Estatístico de Processos em uma etapa do processo de galvanização de arames: estudo de caso no processo de decapagem ácida.** Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2013.
- GARCIA, W. B. M. **A utilização dos gráficos Shewhart e Ewma no monitoramento estatístico de indicadores de desempenho hospitalar em uma maternidade pública na Cidade de Manaus.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Amazonas. Manaus, 2016.
- GOMES, B. R.; TAKARA, J. G.; MISSIO, C.; QUEQUETO, W. D.; MELO, D. M.; CORTEZ, J. W. **Avaliação de ruído em tratores.** Revista Cultivar Máquinas, Pelotas, v.1, p.30-32, 2013.
- GONÇALVES, A. C. A.; FOLEGATTI, M. V.; VIEIRA, S. R. **Padrões de amostragem e intensidade de krigagem na caracterização do armazenamento de água no solo, em área irrigada por pivô central.** Revista Brasileira da Ciência do Solo, v. 23, p. 485 – 495, jul./set. 1999.
- GONÇALVES, L. M.; FERRAZ, G. A. S.; OLIVEIRA, M. S.; BARBOSA, B. D. S.; SILVA, B. D. S.; FERRAZ, P. F. P. **Caracterização do ruído emitido por um trator de rabiça por meio da geoestatística.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campo Grande – PB. v. 23, n. 3, p. 223 – 228, 2019.
- GREGO, C. R.; Vieira, S. R. **Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental.** 2005. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v29n2/24153.pdf>> Acesso em: 01/09/2019.
- GUIDA, H. L.; TAXINI, C. L.; GONÇALVES, C. G. O.; VALENTI, V. E. **Avaliação da proteção auditiva utilizada por policiais em estande de tiros.** Brazilian Journal of Otorhinolaryngology, v. 80, n. 6, São Paulo, 2014.
- GUIMARÃES, E. C. **Variabilidade especial da umidade e da densidade do solo em um latossolo roxo.** Campinas, 2000. 138p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas.

- HARRIS, J. A. **Practical universality of field heterogeneity as a factor influencing plot yields.** Journal Agr. Res., Washington, XIX(7): 279-314, 1920.
- HERHMAN, W. C.; YODER, A. M.; HILTON, J. W.; MURPHY, D.J. – **HOSTA-Hazardous Occupations Safety Training in Agriculture.** 4ed. National Safe Tractor and Machinery Operation Program, The Pennsylvania State University, 2004.
- HESSLER, C. V.; CAMARGO, M. E.; DORION, E. **Application control charts for analysis of quality in industrial painting.** In: INTERNACIONAL CONFERENCE ON COMPUTERS e INDUSTRIAL ENGINEERING 39., 2009, Troyes: **Proceedings...**, Troyes: IEEE Xplore, 2009. p. 1330-1334.
- HONGYU, K. **Seleção e ajuste de modelos espaciais de semivariograma aplicados a dados do pH do solo.** Universidade de São Paulo, 2012. Disponível em <[http://www.leg.ufpr.br/lib/exe/fetch.php/disciplinas:geosalq:pira2012:relatorio\\_kuang.pdf](http://www.leg.ufpr.br/lib/exe/fetch.php/disciplinas:geosalq:pira2012:relatorio_kuang.pdf)> Acesso em: 05/03/2019.
- HUIJBREGTS, C. J. **Regionalized variables and quantitative analysis of spatial data.** In: DAVIS, J. C.; McCULLAGH, M. J. Display and analysis of spatial data. New York: John Wiley, 1975. P.38-53.
- ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **Applied Geostatistics.** New York: Oxford University Press, 1989.
- JOURNEL, A. G.; HUIJBREGTS, C.J. **Mining geostatistics.** London: Academic Press, London, 1978. 600p.
- JUNIOR, H. K.; MELLO, J. M.; SCOLFORO, J. R.; OLIVEIRA, A. D. **Avaliação da continuidade espacial de características dendrométricas em diferentes idades de povoamentos clonais de *Eucalyptus* sp.** Revista Árvore, Viçosa. v. 31 n.5 , 2007.
- JUNIOR, A. O.; CUNHA, J. P. A. R. **Avaliação dos níveis de ruído emitidos por um trator agrícola em diferentes operações mecanizadas.** Universidade Federal de Uberlândia, 2009. Disponível em <<https://ssl4799.websiteseuro.com/swge5/seg/cd2009/PDF/IC2009-0077.pdf>> Acesso em: 12/09/2019.
- JUNIOR, J. F. S.; JUNIOR, J. M.; CAMARGO, L. A.; TEIXEIRA, D. B.; PANOSSO, A. R.; PEREIRA, G. T. **Simulação geoestatística na caracterização espacial de óxidos de ferro em diferentes pedoformas.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa. v.36 n.6, 2012.
- KITANIDIS, P. K., VOMVORIS, E. G. **A geostatistical approach to the inverse problem in groundwater modeling (steady state) and one dimensional simulations.** Walter Resources Research, v.19, n.3, p. 677-690, 1983.
- KRIGE, D. G. **A statistical approach to some basic mine evaluation problems on the witwatersrand.** J. Chem. Metall. Min. Soc. S. Afri. Johannesburg, 52: 119-139, 1951.

- KUME, H. **Métodos estatísticos para melhoria da qualidade**. 4.ed. São Paulo: Gente, 1993. 245 p.
- LAJAUNIE, C. **A geostatistical approach to air pollution modeling**. In: JOURNAL, A. G.; MARECHAL, A. Geostatistics for natural resources characterization. 1984. P.877-891.
- LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**, São Paulo: FUNESP, 1998. 226p.
- LASHGARI, M.; MALEKI, A. **Evaluation of lawn tractor noise using acoustic and psychoacoustic descriptors**. Engineering in Agriculture, Environment and Food, v. 9, n. 1, p. 116-122, 2016.
- LIMA, A. A. N.; LIMA, J. R.; SILVA, J. L.; ALENCAR, J. R. B.; SOARES, J. L.; LIMA, L. G.; ROLIM, P. J. **Aplicação do controle estatístico de processo na indústria farmacêutica**. Rev. Ciênc. Farm. Básica Apl., v. 27, n.3, p.177-187, 2006.
- LOPES, M. F.; SILVA, D. M. **Aplicação do Controle Estatístico de Processo para o Beneficiamento da Soja: Um estudo de Caso no sudeste Goiano**. REVENG Engenharia na agricultura, Viçosa - MG, V.21 N.3, MAIO / JUNHO 2016 283-288p.
- LOUZADA, F.; DINIZ, C.A.R.; SILVA, P.H.F; FERREIRA, E. **Controle estatístico de processos: uma abordagem prática para cursos de Engenharia e Administração**. São Paulo: GEN, 2013, 286p.
- LUNDGREN, W. J. C.; SILVA, J. A. A.; FERREIRA, R. L. C. A Precisão da Estimativa do Erro da Krigagem pela Validação Cruzada. Floresta e Ambiente, 2017. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/floram/v24/2179-8087-floram-24-e00124114.pdf>> Acesso em: 10/06/2019.
- MAGALHÃES, A. T.; CORTEZ, J. W.; NAGAHAMA, H. D. J. **Nível de ruído de um trator agrícola em função da rotação, da distância, da velocidade e da condição do solo obtido por meio de decibelímetro com e sem proteção de vento**. Energia na Agricultura, v. 27, n. 4, p. 27-44, 2012.
- MAINARD, L. C. **Viabilidade de utilização de técnicas de agricultura de precisão na lavoura orizícola**. Universidade Federal de Santa Maria. 2015. Disponível em <[http://w3.ufsm.br/ppgap/images/dissertacoes/Dissertacao\\_Leonardo\\_Cezar\\_Mainardi.pdf](http://w3.ufsm.br/ppgap/images/dissertacoes/Dissertacao_Leonardo_Cezar_Mainardi.pdf)> Acesso em: 12/01/2019.
- MASSOTI, J. **Perfil auditivo de trabalhadores de construtora e comércio de pavimentação em tijuca-SC**. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2016.
- MATHERON, G. **Traité de géostatistique appliquée**. Tome I. Memoires du Bureau de Recherches Geologiques et Minières. n. 14. Paris: Technip. 1962.
- MATHERON, G. **Principles of geostatistics**. Econ. Geology, 58: 1246-1266, 1963.
- MATHERON, G. **The theory of regionalized variables and its application**. Les Cahiers Fas. 5, C. G. Fontainebleau. 1971.

- MELLO, J. M. **Geoestatística aplicada ao inventário florestal**. 2004. 122p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais/Silvicultura e Manejo Florestal) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- MIALHE, L. G. **Manual de mecanização agrícola**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1974. 301 p.
- MILAN, M. **Controle de qualidade em operações agrícolas**. Notesalq, Piracicaba, v.5, n.11, p.4-5, 1997.
- MILAN, M.; FERNANDES, R. A. T. **Qualidade das operações de prepare de solo por controle estatístico de processo**. Sci. agric. (Piracicaba, Braz.) vol.59 no.2 Piracicaba Apr./June 2002.<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162002000200009>
- MISENER, G. G.; McLEOD, C. D. **A model to facilitate farm machinery use and cost data collection**. *Agricultural Systems*. Nancy, v. 24, p. 149 – 157, 1987.
- MISSIO, C.; CORTEZ, J. W.; MOTOMIYA, A. V. D. A.; QUEQUETO, W. D. **Variabilidade espacial do nível de ruído externo em rotações de trabalho**. *Energia Na Agricultura*, Botucatu, v. 30, n. 2, p. 104-108, 2015.
- MONTEIRO, A. *Revista Globo Rural*. Redação do Globo Rural. 2002. Disponível em <<http://revistagloborural.globo.com/>> Acesso em: 20/03/2019.
- MONTGOMERY, D. C. **Introduction to statistical quality control**. 4. ed. New York: John Wiley e Sons, 2000. p. 300-377.
- MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004. p. 100 – 200.
- MOREIRA, D. A. **Administração da produção e operações**. São Paulo: Pioneira; 2004. p.561.
- MOTA, V. C., **Metodologia geoestatística para caracterizar a variabilidade temporal de elementos climáticos de Juiz de Fora – MG**. Universidade Federal Rural de Lavras. 2008. Disponível em <[http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/3763/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O\\_Metodologia%20Geoestat%C3%ADstica%20para%20caracterizar%20a%20variabilidade%20temporal%20de%20elementos%20clim%C3%A1ticos%20de%20Ju%C3%ADz%20de%20Fora-MG.pdf](http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/3763/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Metodologia%20Geoestat%C3%ADstica%20para%20caracterizar%20a%20variabilidade%20temporal%20de%20elementos%20clim%C3%A1ticos%20de%20Ju%C3%ADz%20de%20Fora-MG.pdf)> Acesso em: 13/05/2019.
- MULLA, D. J. **Geostatistics, remote sensing and precision farming**. In: *Precision agriculture 1997: spatial and temporal variability of environmental quality*. Chichester: Wiley, 1997. P.100-119. (Ciba Foundation Symposium, 210).
- NASCIMENTO, E. M. S.; AMORIM, M. Q.; DE ANDRADE, R. R.; CHIODEROLI, C. A.; ALBIERO, D. **Níveis de ruído emitido por uma trilhadora estacionária na colheita semimecanizada do girassol**. *Global Science And Technology*, v. 9, n. 2, 2016.

- NIOSH – **Criteria for a Recommended Standard: Occupational Noise Exposure**. Disponível em: <[www.cdc.gov/niosh](http://www.cdc.gov/niosh)>. Acesso em: 13/05/2019.
- NORMAS Regulamentadora de segurança e saúde no trabalho (NR-15): **atividades e operações insalubres**. Brasília, 2017. Disponível em: <<http://www.mte.gov.br/temas/segsau/legislacao/normas/conteudo/nr15>>. Acesso em: 12/07/2018.
- OLIVEIRA, M. D. M., **Custo operacional e ponto de renovação de tratores agrícolas de pneus: avaliação de uma frota**. Piracicaba, 2000. 150p.
- OLIVEIRA, F. D. **Mapeamento dos teores de óleo e proteína de grãos de soja e análise de sua correlação com atributos do solo**. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2003.
- OLIVEIRA, M. N.; XAVIER, J. H. V.; SILVA, F. A. M.; SCOPEL, E., ZOBY, J. L. F. **Efeitos da introdução do sistema de plantio direto de milho por agricultores familiares do município de Unaí, MG (Cerrado Brasileiro)**. Pesquisa Agropecuária Tropical, v.39, p.51-60, 2009.
- OLIVEIRA, R. P.; GREGO, C. R.; BRANDÃO, Z. N. **Geostatística aplicada na agricultura de precisão utilizando o vesper**. Embrapa, Brasília. 2015. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/146837/1/GeoVesper-cap-3.pdf>>. Acesso em: 08/07/2019.
- OLIVEIRA JÚNIOR, A.; ALVES, G. S.; CUNHA, J. P. A. R. **Avaliação dos níveis de ruído emitido por um trator agrícola em diferentes operações mecanizadas**. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer, Goiânia, vol.7, N.12; 2011.
- OLIVER, M. A.; WEBSTER, R. **Kriging: a method of interpolation for geographical information systems**. International Journal of Geographical Information system, v.4, n.3, p. 313-332, 1990.
- OOSTERHUIS, D.M. **Growth and development of a cotton plant**. In: CIA, E.; FREIRE, E.C.; SANTOS, W. J. dos. Cultura do algodoeiro. Piracicaba: POTAFOS, 1999. p.35-55.
- OZTURK, D.; KILIC, F. **Geostatistical Approach for Spatial Interpolation of Meteorological Data**. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 8, n. 4, p. 2121-2136, 2016. Disponível em: doi: 10.1590/0001-3765201620150103
- PALADINI, E.P. **Controle de qualidade: uma abordagem abrangente**. São Paulo: Atlas; 1990. p.127-167.
- PALADINI, E.P. **Avaliação estratégica da qualidade**. São Paulo: Atlas; 2002. p.64-114.
- PARANTHAMAN, D. **Controle de qualidade**. São Paulo: McGraw- Hill Ltda; 1990. p.118-212.
- PEDRINI, D. C. **Proposta de um método para a aplicação do gráfico de controle de regressão no monitoramento de processos**. 122f. Dissertação (Mestrado em Engenharia

de Produção) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

- PELOIA, P. R. **Proposta de um sistema de medição de desempenho aplicado à mecanização agrícola: um estudo de caso no setor sucroalcooleiro.** Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2008.
- PELOIA, P. R.; MILAN, M.; ROMANELLI, T. L. **Capacidade do processo de corte de rebolos de cana-de-açúcar colhidos mecanicamente.** Sci. agric. (Piracicaba, Braz.) vol.67 no.6 Piracicaba Dec. 2010.  
<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162010000600001>
- PEREIRA, T. L.; SILVA, N. C. F. **MELHORIA DA QUALIDADE NO PROCESSO DE EXTRUSÃO: em uma indústria de cabos elétricos.** Centro Universitário do Sul de Minas, 2017.
- PERIN, G. F. **Determinação da capacidade e eficiência operacional utilizando técnicas de agricultura de precisão.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, 2008.
- PINTON, D.H. **Controle estatístico de processo.** São Paulo, *Rev IMES* 1997; (40):35-8.
- POJE, A.; POTOČNIK, I.; DANILOVIĆ, M.; ANTONIĆ, S. **A case study of the impact of skidding distance on tractor operator exposure to noise.** *Baltic Forestry*, v. 22, p. 357-364, 2016.
- RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A.; GUIMARÃES, P. T.; MELO, P. T. G.; MELO, L. C. A.; JUNIOR, A. C. O. **Carbono orgânico e nitrogênio total do solo e suas relações com os espaçamentos de plantio de cafeeiro.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. 5, 2008.
- RAVELI, M. B. **Controle de qualidade no plantio de cana de açúcar.** Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”. Jaboticabal, 2013.
- RATUCHNE, L. C. **Equações alométricas para a estimativa de biomassa, carbono e nutrientes em uma floresta ómbrofila mista.** Irati: UNICENTRO, 2010. 111 p.
- REMACRE, A. Z. **Geoestatística Fractal.** 1995.
- RIBEIRO JUNIOR, P. J.; DIGGLE, P. J. **GeoR: a package for geostatistical analysis.** *R-News*, New York, v. 1, n. 2, p. 14-18, June 2001.
- RINARD, C. H. A. **O dano urbanístico causado pela poluição sonora.** 2014. Disponível em:  
<https://aberto.univem.edu.br/bitstream/handle/11077/1302/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20-%20Carlos%20Henrique%20Ap%20Rinard.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.  
Acesso em 12/10/2018.
- RODRIGUES, A. L. P.; FILHO, J. R. S. M. **Proposta de implementação do controle estatístico de processo (CEP) em uma indústria de pré-moldados.** XXXVI

ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Contribuições da Engenharia de Produção para Melhores Práticas de Gestão e Modernização do Brasil João Pessoa/PB, Brasil, de 03 a 06 de outubro de 2016.

- RODRIGUES, P. T. A.; FERRAZ, G. A. S.; GOMES, N. R. G.; PONCIANO, P. F.; OLIVEIRA, M. V. M. **Distribuição espacial do ruído emitido por um trator agrícola da linha média.** 2013. Disponível em: <<https://www.conbea.org.br/>>. Acesso em 11/11/2018.
- RODRIGUES JUNIOR, F. A. et al. **Geração de zonas de manejo para cafeicultura empregando-se sensor SPAD e análise foliar.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 15, n. 31, p. 778–787, 2011.
- RODRIGUES, O. M. P. R.; VIANA, N. P. M.; PALAMIN, M. E. G.; CALAIS, S. L. **Estresse e zumbido: o relaxamento como uma possibilidade de intervenção.** Psicologia: teoria e prática, v. 16, n. 1, São Paulo, 2014.
- RUAS, R. A. A.; TEIXEIRA, M.M.; GONCALVES, W.S.; PARANHOS, F.C. **Avaliação da emissão de ruído pelos pulverizadores tipo canhão e cortina de ar.** In: XV Simpósio de Iniciação Científica, V Mostra Científica da Pós-Graduação, III Simpósio de Extensão Universitária. Resumos. Viçosa: Univeristária, 2006.
- SAMOHYL, R. W.; ALVES, C.C. **O monitoramento de processos industriais via gráficos de controle CUSUM.** Revista UNIVILLE. Joinville, v.10, n.2, p.72-80, 2009.
- SAMPAIO, C. A. P.; NÃÃS, I. A.; SALGADO, D. D.; QUEIRÓS, M. P. G. **Avaliação do nível de ruído em instalações para suínos.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, v.11, n. 4, p. 436-440, jul./ago. 2007.
- SANTOS, A. S. **Krigagem de teores de ouro da mina de Caiamar – Goiás.** Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, 2015.
- SANTOS, J. V.; NORONHA, R. P. P. **Análise geoestatística do patossistema da folha curta em plantação de coco na Amazônia Oriental.** Universidade Federal Rural da Amazônia, 2019. Disponível em: <<http://bdta.ufra.edu.br/jspui/bitstream/123456789/1028/1/An%C3%A1lise%20Geoestatística%20do%20Patossistema%20da%20Folha%20Curta%20em%20Planta%C3%A7%C3%A3o%20de%20Coco%20na%20Amaz%C3%B4nia%20Oriental.pdf>>. Acesso em 11/07/2019.
- SCHAFFRATH, V. R.; TORMENA, C. A.; GONÇALVES, A. C. A.; JUNIOR, R. S. O. **Variabilidade espacial de plantas daninhas em dois sistemas de manejo de solo.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, v.11, n. 1, 2007.
- SCHIASSI, L.; MELO, N. S. M.; TAVARES, G. F.; SOUZA, I. P.; ARAÚJO, H. B.; DELLA GIUSTINA, C. **Modelagem fuzzy em parâmetros de bem-estar humano. Pesquisas Agrárias e Ambientais.** Mato Grosso, v.01, n.01, p.08-12, 2013.

- SCHLOEDER, C. A.; ZIMMERMAN, N.E.; JACOBS, M.J. **Comparison of methods for interpolating soil properties using limited data.** *Soil Science Society American Journal*, Madison, v.65, n.2, p.470-9, 2001.
- SCOTLAND. **Statistical process control: tutorial guide monitoring quality in healthcare.** Disponível em: [www.indicators.scot.nhs.uk/SPC/Statistical\\_Process\\_Control\\_Tutorial\\_Guide\\_010207.pdf](http://www.indicators.scot.nhs.uk/SPC/Statistical_Process_Control_Tutorial_Guide_010207.pdf). Acesso em: 30/04/2019.
- SEIDEL, E. J.; OLIVEIRA, M. S. **Novo índice geoestatístico para a mensuração da dependência espacial.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, n. 3, Viçosa, 2014.
- SELIGMAN, J. Sintomas e Sinais na PAIR. In: NUDELMANN, A.A.; COSTA, E.A.; SELIGMAN, J.; IBÁÑEZ, R.N. – **PAIR: perda auditiva induzida pelo ruído.** Porto Alegre, Bagagem Comunicação, 1997. p.77-100.
- SILVA, L.S.C.V. **Aplicação do controle estatístico de processos na indústria de laticínios Lacatoplasa: um estudo de caso.** [Dissertação]. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina; 1999.
- SILVA, S. I. **A produção em área da agricultura familiar e sua vinculação com o agronegócio: estudo de caso do PA carimã em Rondonópolis/MT.** Universidade Federal de Mato Grosso, 2015. Disponível em <[https://www.ufmt.br/ppgeo\\_cur/arquivos/d66455c9faf194fdc0328a9aa92734b0.pdf](https://www.ufmt.br/ppgeo_cur/arquivos/d66455c9faf194fdc0328a9aa92734b0.pdf)> Acesso em: 08/10/2018.
- SILVA, R. P.; FONTANA, G.; LOPES, A.; FURLANI, C. E.A. **Avaliação do nível de ruído em colhedoras combinadas.** *Engenharia Agrícola* 2004, vol.24, n.2, pp. 381-387
- SILVA, R. B. V. **Extensão do teste de normalidade de shapiro-francia para o caso multivariado.** Tese de doutorado. Universidade Federal de Lavras, 2007.
- SILVA, A. F. **Geoestatística e sensoriamento remoto na classificação de imagens em áreas cultivadas com citros.** Dissertação de mestrado. Universidade Estadual “Júlio de Mesquita Filho”, 2011. Disponível em <<http://www.pg.fca.unesp.br/Teses/PDFs/Arq0599.pdf>> Acesso em: 06/10/2018.
- SILVA, A. C. A.; AMORIM, N. E. Z.; FONSECA, L. M. M.; FUJINAGA, C. I.; BENUTTI, D. P.; SCOCHI, C. G. S. **Percepção da equipe multiprofissional sobre ruído em unidade de cuidado intermediário neonatal.** *Acta Paul. Enferm*, vol.25, n.1, São Paulo, 2012.
- SILVA, L. A. D. **Avaliação dos níveis de ruído ocupacional do setor de conversão de guardanapos em uma indústria de papel para o uso doméstico e higiênico-sanitário.** Monografia de Especialização. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.



- SILVA, R. P.; SOUZA, F. G.; CORTEZ, J. W.; FURLANI, C. E. A.; VIGNA, G. P. **Variabilidade espacial e controle estatístico do processo de perdas na colheita mecanizada do algodoeiro.** Eng. Agríc. vol.27 no.3 Jaboticabal Sept.\Dec. 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162007000400018>.
- SILVEIRA, G. M.; et al. **Sistema de aquisição automática de dados para o gerenciamento de operações mecanizadas.** Bragantia, Campinas, v. 64, n. 2, 2005. Disponível em <<http://www.scielo.br/>> Acesso em: 07/11/2018.
- SOUZA, L. H.; FERNANDES, H. C.; VITÓRIA, E. L. **Avaliação do nível de ruído causado por diferentes conjuntos mecanizados.** 2003. Disponível em: <<https://www.scielo.br/>>. Acesso em 14/03/2019.
- SOUZA, R. A. **Análise da qualidade de processo de envase de azeitonas verdes através de algumas ferramentas do controle estatístico de processo.** 2003. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.
- SOUZA, E. G.; LEVITICUS, L. I. **Analysis of sound level from Nebraska tractor test data.** Lincon: Nebraska Power Laboratory, 1995. 21 p.
- SOUZA, Z. M.; SOUZA, G. S., JUNIOR, J. M.; PEREIRA, G. T. **Número de amostras na análise geoestatística e na krigagem de mapas de atributos do solo.** Revista Ciência Rural. Santa Maria, v.44, n.2, 2014.
- SPIAZZI, F. R. **Análise geoestatística de atributos químicos e físicos do solo em áreas construídas após mineração de carvão no município de Lauro Muller, SC.** Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages, 2011.
- TOLEDO, A.; TABILE, R. A.; SILVA, R. P.; FURLANI, C. E. A.; MAGALHÃES, S. C.; COSTA, B. O. **Caracterização das perdas e distribuição de cobertura vegetal em colheita mecanizada de soja.** Eng. Agríc. vol.28 no.4 Jaboticabal Oct./Dec. 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162008000400011>.
- TORRES, L. S. **Controle estatístico de processo aplicado ao monitoramento de perdas na colheita mecanizada de cana de açúcar.** Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista, 2014.
- TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S, UEHARA, U. **Application of geostatistics to spatial studies of soil properties.** Advances in Agronomy. v.38, p. 45-94, 1985.
- VALE, W. G. **Desempenho operacional e energético de um trator agrícola durante as operações de roçagem, aração e semeadura.** Tese de doutorado. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes, 2011.
- VEIGA, R. K.; GONTIJO, L. A.; MASIERO, F. C.; VENTURI, J.; ODORIZZI, W. **Emprego da análise ergonômica do trabalho em atividade com máquina agrícola motorizada.** Exacta, v. 12, n. 1, 2014.

- VEIGA, R. K.; MERINO, E. A. D.; GONTIJO, L. A.; MASIERO, F. C.; MERINO, G. S. A. D. **Estudo comparativo da usabilidade de comandos direcionais para duas concepções de máquinas agrícolas.** Revista Produção Online, v. 15, n. 3, p. 830-858, 2015.
- VIAN, C. E. F.; ANDRADE JÚNIOR, A. M. **Evolução histórica da indústria de máquinas agrícolas no mundo: origens e tendências.** In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 48., Campo Grande. Anais. Campo Grande: Sober, 2010.
- VIEIRA, S. R.; NIELSEN, D. R., BIGGAR, J. W. **Spatial variability of field-measured infiltration rate.** Soil Science Society of America Journal, v. 45, p. 1040-1048, 1981.
- VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J.L.; NIELSEN, D.R. & BIGGAR, J.W. **Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties.** Hilgardia, 51:1-75, 1983.
- VIEIRA, S. R. **Curso de Atualização em Conservação do Solo - Uso de Geoestatística.** Seção de Conservação do Solo. Parte I. Campinas, IAC, v. 1 e 2, 1995.
- VIEIRA, S. R. **Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um Latossolo roxo de Campinas(SP).** Bragantia, vol. 56, n. 1, Conservação do solo, VIII: 1-13. Campinas, 1997.
- VIEIRA, M. L. R. – **A gestante exposta ao ruído do ambiente de trabalho: descrição dos efeitos auditivos e não-auditivos.** São Paulo, 1997. [Tese Mestrado - Pontifícia Universidade Católica].
- VIEIRA, S. R. **Geoestatística: Curso de extensão universitária.** Botucatu: UNESP, 1996, 166p.
- VIEIRA, S. R. **Geoestatística aplicada a agricultura de precisão.** In: BORÉM, A.; GIÚDICE, M. P.; QUEIROZ, D. M. et al. Agricultura de precisão. Viçosa: UFV, 2000. Cap.5, p. 93 – 108.
- VIEIRA, C.P.; CUNHA, L.J.C.; ZÓFOLI, R.C. **Colheita.** In: Algodão: Tecnologia de Produção. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. p.273-6.
- VITÓRIA, E. L. **Avaliação do nível de ruído emitido por tratores em diferentes operações agrícolas.** 2000. 76 f. Dissertação (Mestrado em Mecanização Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 2000.
- YAMAMOTO, J. K. **Avaliação e classificação de reservas minerais.** São Paulo: Universidade de São Paulo, 2001. 226p.
- YAMAMOTO, J. K. & LANDIM P. M. B. 2013. **Geoestatística: conceitos e aplicações.** São Paulo: Oficina de Textos, 215p.

- WALTER, O. M. F. C.; HENNING, E.; CARDOSO, M. E.; SAMOBYL, R. W. **Aplicação individual e combinada dos gráficos de controle Shewhart e CUSUM: uma aplicação no setor metal mecânico.** v. 20, n. 2, São Carlos, 2013. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-530X2013000200003](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-530X2013000200003)> Acesso em: 09/12/2018.
- WAYNICK, D. D. & SHARP, L. T. **Variability in soils and its significance to past and future soil investigations.** II. Variation in nitrogen and carbon in field soils and their relation to the accuracy of field trials. *Agricultural Sciences*, Davis, 4(5): 121-139, 1919.
- WERKEMA, M. C. C. **Planejamento e análise de experimentos: como identificar, avaliar as principais variáveis influentes em um processo.** Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, E.E.UFMG, 1996.
- WERKEMA, C. **Lean seis sigma: Introdução às ferramentas do Lean Manufacturing.** Belo Horizonte: Werkema, 2006. 120
- WESTERNELETRIC. *Statistical Quality Control Handbook.* Easton: The Mack Printing Company, 1956.
- WOJCIECHOWSKI, J. C. **Geoestatística aplicada ao estudo das características físico-químicas do solo em áreas de floresta estacional decidual.** Dissertação de mestrado. Santa Maria, 2006. Disponível em <<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/9486/JULIOWOJCIECHOWKI.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Acesso em: 09/12/2018.
- WOJCIECHOWSKI, J. C.; SCHUMACHER, M. V.; PIRES, C. A. F.; MADRUGA, P. R. A.; KILCA, R. V.; BRUN, E. J.; SILVA, C. R. S.; VACCARO, S.; NETO, R. M. R. **Geoestatística aplicada ao estudo das características físico-químicas do solo em áreas de floresta estacional decidual.** *Revista Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 383-391, out.-dez., 2009.
- ZERBATO, C.; CAVICHIOLI, F. A.; RAVELI, M. B.; MARRAFON, M.; SILVA, R. P. **Controle Estatístico de Processo aplicado à Colheita Mecanizada de Milho.** *REVENG Engenharia na agricultura*, Viçosa - MG, V.21 N.3, MAIO / JUNHO 2013 261-270p.