

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**APLICAÇÃO MECANIZADA DE N-P-K INDIVIDUALIZADA  
NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR**

**Franciele Morlin Carneiro  
Engenheira Agrônoma**

**2015**

**D  
I  
S  
S.**

**/**

**C  
A  
R  
R  
N  
E  
I  
R  
O**

**F.  
M.**

**2**

**0**

**1**

**5**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**APLICAÇÃO MECANIZADA DE N-P-K INDIVIDUALIZADA  
NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR**

**Franciele Morlin Carneiro**

**Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Angeli Furlani**

**Coorientador: Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal).

**2015**

C289a Carneiro, Franciele Morlin  
Aplicação mecanizada de N-P-K individualizada na cultura da  
cana-de-açúcar / Franciele Morlin Carneiro. -- Jaboticabal, 2015  
vii, 86 p. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,  
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2015  
Orientador: Carlos Eduardo Angeli Furlani  
Coorientador: Rouverson Pereira da Silva  
Banca examinadora: Carlos Alessandro Chioderoli, Paulo Roberto  
Arbex Silva  
Bibliografia

1. Controle estatístico de processo. 2. Fertilizante. 3. Qualidade  
operacional. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e  
Veterinárias.

CDU 631.33:633.61

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –  
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**

**CAMPUS DE JABOTICABAL**

**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL**

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO: APLICAÇÃO MECANIZADA DE N-P-K INDIVIDUALIZADA NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR**


**AUTORA: FRANCIELE MORLIN CARNEIRO**

**ORIENTADOR: Prof. Dr. CARLOS EDUARDO ANGELI FURLANI**

**CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. ROVERSON PEREIRA DA SILVA**

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:

  
Prof. Dr. CARLOS EDUARDO ANGELI FURLANI  
Departamento de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

  
Prof. Dr. CARLOS ALESSANDRO CHIODEROLI  
Universidade Federal do Ceará / Fortaleza/CE

  
Prof. Dr. PAULO ROBERTO ARBEX SILVA  
Departamento de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrícolas de Botucatu

Data da realização: 24 de julho de 2015.

## **DADOS CURRICULARES DA AUTORA**

FRANCIELE MORLIN CARNEIRO – nascida em 16 de junho de 1990, no município de Uberaba, Minas Gerais, possui formação no curso de Engenharia Agrônômica (2014) no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro - Câmpus Uberaba. Durante a graduação foi voluntária na área de olericultura por dois anos (2009 a 2011), em 2010 foi monitora das disciplinas de Cálculo I e II, por conseguinte, nos anos de 2011 a 2012 possuiu bolsa de iniciação científica PIBIC/FAPEMIG - Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de Minas Gerais, e ainda, no ano de 2012 teve bolsa institucional de iniciação científica do IFTM - Câmpus Uberaba. Em 2014 iniciou o mestrado em Agronomia (Produção Vegetal) na Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho/UNESP - Câmpus de Jaboticabal, sendo bolsista da CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

“Ser feliz é encontrar força no perdão, esperanças nas batalhas, segurança no palco do medo, amor nos desencontros. É agradecer a Deus a cada minuto pelo milagre da vida.”

(Augusto Cury)

## DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação aos meus pais Carivaldo e Marilda; ao meu irmão Carivaldo Júnior; aos meus avós paternos (Wilson e Áurea) e maternos Zenaide e Arlindo (*in memoriam*). E a todos que me apoiaram durante o mestrado.



## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pela proteção, fé, força, por sempre iluminar o meu caminho mostrando a melhor decisão a ser tomada, e ainda, me permitindo obter vitória em cada obstáculo vencido no percurso da vida.

Aos meus pais Carivaldo e Marilda pela vida, carinho, por todo apoio, incentivo e ensinamentos para que eu pudesse me tornar uma pessoa melhor por meio de aprendizagens e ensinamentos.

Ao meu irmão Carivaldo Júnior, as avós, avôs, as madrinhas, padrinhos, primos, primas, afilhada, enfim, a toda minha família pelo apoio, confiança e carinho.

À Universidade Estadual Paulista – UNESP, Câmpus de Jaboticabal pela oportunidade de realização do mestrado, ensinamentos e pelos novos conhecimentos adquiridos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de Mestrado concedida.

Ao meu orientador Prof. Dr. Carlos Eduardo Angeli Furlani e coorientador Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva por todo apoio, orientação, incentivo, dedicação, amizade e pelos ensinamentos na área de mecanização agrícola, contribuindo na minha formação profissional.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Rural Valdecir Aparício, Sebastião Francisco da Silva Filho e Ronaldo José de Barros, pela ajuda durante o desenvolvimento do experimento, nas coletas de dados e pela amizade.

Às minhas amigas Maryelle e Amanda pela amizade certa e sincera durante todo percurso, estando ao meu lado, além do incentivo e confiança.

Aos meus amigos Antonio Tassio, Lucas, Carla, Murilo, Elizabeth, Rafael Bertonha, Cristiano, Felipe, Tiago, Aline, enfim, a toda equipe do LAMMA (Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola) pela amizade, ajuda no decorrer do experimento, e ainda, dando dicas para a melhoria do trabalho, deixando-o mais enriquecido com novas informações.

Ao proprietário da Fazenda Cascavel, Edson Baldan Júnior, por ter permitido a condução do experimento em sua propriedade e pelo fornecimento dos equipamentos agrícolas avaliados e fertilizantes aplicados.

Aos funcionários da Fazenda Cascavel Valdir e Antônio (“Tonho”) pelo apoio e ajuda na coleta dos dados no experimento.

Aos membros da Banca Examinadora pelas grandes contribuições na melhoria do trabalho por meio da arguição.

## SUMÁRIO

### Página

<b>RESUMO</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iv</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>v</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>vi</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>3</b>
2.1 Cultura da cana-de-açúcar.....	3
2.2 Aplicação de fertilizantes .....	6
2.2.1 Caracterização de fertilizantes.....	9
2.3 Capacidade operacional de máquinas agrícolas .....	10
2.4 Eficiência operacional de máquinas agrícolas .....	11
2.5 Controle Estatístico de Processo .....	12
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>16</b>
3.1 Descrição da área experimental.....	16
3.2 Delineamento experimental .....	17
3.3 Máquinas e equipamentos agrícolas * .....	19
3.4 Indicadores de qualidade .....	21
3.4.1 Eficiência de distribuição de adubo .....	21
3.4.2 Densidade dos nutrientes .....	23
3.4.3 Análise granulométrica de fertilizantes .....	24
3.4.4 Ângulo de repouso.....	25
3.4.5 Tempo com manobras e passadas.....	27
3.4.5.1 Desempenho operacional da adubadora.....	28
3.4.6 Paralelismo .....	29
3.5 Análise descritiva .....	29
3.6 Controle Estatístico de Processo .....	30
3.6.1 Limites Específicos de Controle.....	31

<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>34</b>
4.1 Caracterização dos fertilizantes .....	34
4.1.1 Densidade dos nutrientes .....	34
4.1.2 Análise granulométrica de fertilizantes.....	35
4.1.3 Ângulo de repouso .....	37
4.2 Eficiência da máquina .....	38
4.2.1 Análise descritiva e controle estatístico de processo.....	38
4.2.1.1 Adubação mecanizada com ureia protegida.....	38
4.2.1.2 Adubação mecanizada com MAP - Fosfato Monoamônio .....	46
4.2.1.3 Adubação mecanizada com cloreto de potássio .....	53
4.2.2 Padrões de aleatoriedade por <i>Run Charts</i> .....	58
4.3 Consumo de combustível.....	62
4.4 Tempo com manobras e passadas .....	63
4.4.1 Avaliação do desempenho operacional da adubadora .....	63
4.4.1.1 Capacidade de campo efetiva (ha h <sup>-1</sup> ).....	63
4.4.1.2 Capacidade de campo operacional (ha h <sup>-1</sup> ).....	65
4.7 Paralelismo .....	68
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>74</b>
<b>6 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>75</b>

## APLICAÇÃO MECANIZADA DE N-P-K INDIVIDUALIZADA NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR

**RESUMO** – O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, devido a expansão de áreas cultivadas, a adubação mecanizada torna-se muito importante para o aumento do desempenho operacional nesta cultura, porém esta adubação pode demonstrar alguns problemas na distribuição de fertilizantes, como a não realização da caracterização dos fertilizantes por meio do ângulo de repouso, granulometria e densidade dos nutrientes, entre outros. Dessa forma, torna-se necessário o desenvolvimento de novas tecnologias que possibilitem uma melhora na aplicação de fertilizantes na cultura da cana-de-açúcar. À vista disso, um novo conceito de adubadora está em desenvolvimento considerada como protótipo, pois esta realiza aplicação individualizada de nitrogênio, fósforo e potássio proporcionando maior eficiência na distribuição destes em relação às outras adubadoras. Com este trabalho o objetivo foi avaliar aplicação mecanizada de N-P-K individualizada na cultura da cana-de-açúcar. O experimento foi desenvolvido no município de Matão em área de cana-de-açúcar pertencente à Fazenda Cascavel, possuindo 1,66 ha aproximadamente de área experimental. O delineamento experimental foi Inteiramente Casualizado (DIC), com três tratamentos e trinta repetições por tratamento. Este delineamento foi estabelecido conforme os critérios do controle de qualidade, sendo o monitoramento das variáveis realizado durante a operação de adubação. Ao final do período de avaliação foram coletados 90 pontos amostrais no total, sendo 30 pontos por tratamento. Os tratamentos foram: 1- Adubação mecanizada, sem aplicação de herbicida; 2- Operação conjugada (aplicação simultânea de herbicida e adubação); e 3- Duas operações (aplicação separada de herbicida e adubo). Concluiu-se que a melhor qualidade operacional por meio das cartas de controle foi o tratamento 3, sendo duas operações (aplicação separada de herbicida e adubo) por ter apresentado menor variabilidade. O lado direito da adubadora foi o melhor por ter aplicado quantidade próximas à dosagem regulada.

**Palavras-chave:** Controle Estatístico de processo, fertilizante, qualidade operacional

## MECHANICAL APPLICATION OF N-P-K INDIVIDUALIZED IN THE CULTURE OF SUGARCANE

**ABSTRACT** – The Brazil is the largest producer of sugarcane, due to expansion of cultivated areas, mechanized fertilizer becomes very important for the increase in operating performance in this culture, but this fertilization may show some problems in the distribution of fertilizers, so that when not performing the characterization of fertilizers through the angle of repose, particle size and density of nutrients, among other. Thus, it becomes necessary to develop new technologies that enable an improvement in the application of fertilizers in the cultivation of sugarcane. In view of this, a new concept of fertilizer in development considered as a prototype because this performs individualized application of nitrogen, phosphorus and potassium, providing greater efficiency in the distribution of these over other fertilizer machine. With this work the objective was to evaluate the mechanical application of NPK individualized culture of sugarcane. The experiment was conducted in the Matão municipality in the area of sugarcane belonging to the Fazenda Cascavel, possessing approximately 1.66 ha experimental area. The experimental design was completely randomized (DIC), with three treatments and thirty replications for treatment. This design was established according to the criteria of quality control, and monitoring of variables held during fertilization operation. At the end of the evaluation period were collected 90 sample points in total, with 30 points per treatment. The treatments were: 1- mechanized fertilized, without herbicide; 2- Operation combined (simultaneous application of herbicide and fertilizer); and 3- Two operations (separate application of herbicide and fertilizer). It was concluded that the best operational quality through control charts was the third treatment, two operations (separate application of herbicide and fertilizer) for presenting less variability. The right side of fertilizer machine was the best for having applied amount close to the regulated dosage.

**Keywords:** Statistical process control, fertilizer, operational quality

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA</b>	<b>Página</b>
1. Limites específicos de controle usados para estimar a dosagens dos adubos coletados na cultura de cana-de-açúcar. ....	31
2. Análise de densidade de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K).....	34
3. Análise granulométrica de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K).....	35
4. Ângulo de repouso dos nutrientes (N-P-K).....	37
5. Análise descritiva da ureia protegida - lado esquerdo.....	38
6. Análise descritiva da ureia protegida - lado direito.....	42
7. Análise descritiva do MAP - lado esquerdo.....	47
8. Análise descritiva do MAP - lado direito.....	50
9. Análise descritiva do cloreto de potássio - lado esquerdo.....	53
10. Análise descritiva de cloreto de potássio – lado direito.....	56
11. Indicadores de qualidades por meio dos valores padrões de aleatoriedade na do tratamento 1 - adubação mecanizada na cultura de cana-de-açúcar.....	59
12. Indicadores de qualidades por meio dos valores padrões de aleatoriedade na do tratamento 2 - operação conjugada, aplicação simultânea de herbicida e adubação mecanizada na cultura de cana-de-açúcar.....	61
13. Indicadores de qualidades por meio dos valores padrões de aleatoriedade na do tratamento 3 - duas operações, com aplicação individualizada de potássio e herbicida.....	62
14. Análise descritiva da capacidade de campo efetiva (ha h <sup>-1</sup> ).....	64
15. Análise descritiva da capacidade de campo operacional (ha h <sup>-1</sup> ).....	66
16. Indicadores de qualidades utilizando valores padrões de aleatoriedade da capacidade de campo efetiva e operacional.....	68
17. Análise discriminante da adubação mecanizada sem piloto automático por meio do paralelismo.....	71
18. Indicadores de qualidades utilizando valores padrões de aleatoriedade em adubação mecanizada sem piloto automático por meio do paralelismo.....	72

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>	<b>Página</b>
1. Mapa de solos da Fazenda Cascavel. ....	16
2. Imagem de satélite da Fazenda Cascavel.....	17
3. Caracterização dos tratamentos 3, 1 e 2 obtendo medidas de comprimento e área. ....	18
4. O modelo do trator foi 6145J. ....	19
5. Componentes da adubadora, sendo: Reservatório da adubadora (1), Disco de corte (2), Tubos (3), Haste (4), Discos recortados (5); Barra de pulverização (6). ....	20
6. Ferramenta utilizada para coleta de adubo (doses de N, P e K). ....	22
7. Divisões no reservatório da adubadora para os nutrientes (N, P e K). ....	22
8. Coleta de cada nutriente em ambos os lados (esquerdo e direito) da adubadora. ....	23
9. Dimensionamento da caixa utilizada para o cálculo do ângulo de repouso. ....	25
10. Material utilizado para a coleta do ângulo de repouso ....	26
11. Cronometragem do tempo com manobras e passadas no talhão 4 da fazenda. ....	27
12. Medições do paralelismo. ....	29
13. Constituição da carta de processo por meio do Controle Estatístico de Processo (CEP). ....	31
14. Granulometria de ureia protegida (nitrogênio - N), MAP (fósforo – P) e cloreto de potássio (potássio - K) retidos na peneira de 2,000 mm e o agitador automático. ....	36
15. Carta de controle de ureia protegida do lado esquerdo. ....	40
16. Diagrama de causa e efeito ou espinha de peixe ou fatores 6 Ms. ....	41
17. Carta de controle para operação conjugada, sendo aplicação simultânea de herbicida e adubação individualizada com ureia protegida. ....	45
18. Carta de controle de MAP do lado esquerdo. ....	49
19. Carta de controle de MAP do lado direito. ....	52



<b>20.</b> Carta de controle de cloreto de potássio lado esquerdo. ....	55
<b>21.</b> Carta de controle de cloreto de potássio lado direito. ....	58
<b>22.</b> Carta de controle da capacidade de campo efetiva (ha h <sup>-1</sup> ). ....	64
<b>23.</b> Carta de controle da capacidade de campo operacional (ha h <sup>-1</sup> ). ....	66
<b>24.</b> Carta de controle da adubação mecanizada sem piloto automático por meio do paralelismo. ....	69
<b>25.</b> Espaçamento entre linhas da cultura e área trabalhada da adubadora. ....	71

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial da cultura da cana-de-açúcar e para manter esta elevada produção, são necessárias a adoção de técnicas agrícolas adequadas, tais como: análise do solo; adubação mecanizada; controle de plantas daninhas, pragas e doenças; manejo da irrigação; preparo do solo; utilização de equipamentos agrícolas adequados de acordo com as operações; monitoramento climático; entre outros.

Assim, com a expansão de áreas de cultivo da cultura, a adubação mecanizada mostra-se fundamental para o aumento do desempenho operacional e ainda por proporcionar uma otimização do fornecimento de nutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas e conseqüentemente aumentando a produtividade da cultura. Dessa forma, a adubação pode ser realizada de duas maneiras: adubação de plantio realizada em cana-planta e adubação de cobertura em cana-soca, levando em consideração a produtividade esperada e análise do solo.

A adubação mecanizada pode apresentar algumas deficiências durante a distribuição dos fertilizantes, como a fluidez, segregação, tamanho de grânulos por meio da granulometria entre outros. A aplicação desuniforme de fertilizantes pode ocorrer principalmente, quando não é realizada a caracterização dos fertilizantes por meio do ângulo de repouso, granulometria e densidade dos nutrientes; regulagens inadequadas na adubadora; desconhecimento da capacidade do reservatório, e, além disso, normalmente os fertilizantes formulados são colocados no reservatório da adubadora, por esta não possuir compartimentos individualizados para separação dos nutrientes, podendo levar a segregação dos mesmos ocasionando uma distribuição inapropriada na lavoura. Além disso, a aplicação individualizada mostra-se relevante, por ser mais precisa na aplicação e adequada quando comparada a distribuição de fertilizantes formulados.

O ângulo de repouso é responsável por influenciar na fluidez do nutriente na adubadora, sendo que, quanto maior o ângulo de repouso (superior a  $50^\circ$ ) menor é o escoamento do fertilizante. No caso da granulometria constata-se o tamanho e a forma dos grânulos, sendo que a uniformidade destes proporciona uma aplicação

adequada dos fertilizantes, entretanto se as partículas forem desuniformes, pode ocasionar uma segregação e distribuição inadequada dos fertilizantes no canavial. Já a densidade de nutrientes permite analisar a quantidade do fertilizante que pode ocupar o reservatório da adubadora a partir do seu volume, de modo que, quanto mais denso o fertilizante maior o volume ocupado no reservatório.

Dessa forma, essas deficiências expostas estimulam pesquisadores a buscar por novas tecnologias, tentando minimizar os problemas encontrados e criar novos conceitos na aplicação de adubos. Torna-se necessário o desenvolvimento de um novo conceito de adubadora capaz de realizar aplicação individualizada de NPK (nitrogênio, fósforo e potássio), permitindo distribuir fertilizantes com dosagens diferenciadas, conforme a análise do solo, maior eficiência de aplicação dos fertilizantes, que reduza a segregação dos nutrientes, e ainda, possibilite utilizar a agricultura de precisão, favorecendo o monitoramento da taxa de aplicação dos nutrientes.

Em função da necessidade do manejo sustentável dos fertilizantes agrícolas, principalmente na redução e/ou custos na distribuição individualizada dos nutrientes (NPK), são necessários estudos para a variabilidade do processo mecanizado de adubação de cana-soca.

Este trabalho teve como hipótese comparar as operações conjugadas (aplicação simultânea de herbicida e adubação) com a de duas operações (aplicação separada de herbicida e adubo), mostrando qual é a mais eficiente na aplicação de fertilizantes, e ainda verificar o quanto a aplicação individualizada consegue aplicar com maior precisão as dosagens de cada nutriente e menor segregação. Espera-se como resultado, que a operação conjugada possua maior eficiência na automação agrícola de defensivos e fertilizantes do que a de duas operações.

Com este trabalho, o objetivo foi avaliar os indicadores de qualidade na distribuição de fertilizantes da adubadora por meio da aplicação mecanizada de N-P-K individualizada na cultura da cana-de-açúcar.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Cultura da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) chegou ao Brasil nos meados do século XVI, com intuito de defender, colonizar e explorar o patrimônio deste país. Um dos motivos para a escolha dessa cultura no país, foi à presença do solo de massapê, adequado para o seu desenvolvimento. Naquela época, houve aumento no consumo de açúcar, conseqüentemente, o mercado europeu tinha boas cotações e lucros. Sendo assim, entre os séculos XVI e XVII, o setor açucareiro tornou-se a base da colonização portuguesa (RODRIGUES, 2010).

Historicamente a cana-de-açúcar é considerada uma das mais relevantes atividades econômicas brasileiras. A partir do ano de 2003 houve implantação de novas tecnologias no setor automobilístico, como por exemplo, fabricação de veículos bicompostíveis ou “flex fuel”, que conseguem usar tanto gasolina quanto etanol. Com intuito de atender às normas do Protocolo de Kyoto realizou-se a construção destes veículos, visando à diminuição na emissão do monóxido de carbono para atmosfera, sendo um dos gases responsáveis pelo efeito estufa (SOUZA; MIZIARA, 2010).

A cultura da cana-de-açúcar é plantada normalmente em grandes áreas das regiões tropicais e subtropicais, situadas entre os paralelos 35° de latitude Norte e Sul. Contudo, o clima adequado para o bom desempenho produtivo das plantas, deve apresentar duas estações do ano diferenciadas, sendo uma quente e úmida, para favorecer a germinação, perfilhamento e o crescimento vegetativo. Enquanto, a outra deve ser fria e seca, pois ocasiona a maturação e acúmulo de sacarose no colmo (CAPUTO et al., 2008).

As temperaturas ideais para a cana-de-açúcar obter bom crescimento são por volta de 21 à 34°C com pluviosidade anual aproximadamente de 1000 a 3500 mm e altitude até 1000 m em relação ao nível do mar, com fotoperíodo adequado em torno de 10 a 14 horas por dia (CORREIA, 2012).

A cana-de-açúcar é considerada semi-perene, isto é, o seu ciclo varia entorno de 12 a 18 meses. Desta maneira, ao término do ciclo de vida ocorre o plantio de

novas mudas ou partes vegetativas. No plantio, partes do caule das plantas conhecidos como toletes ou rebolos (mudas desenvolvidas para o plantio) são colocados em sulcos. Para obter boa produtividade e resistência a pragas, inicialmente deve-se definir a cultivar que será plantada, levando em consideração condições climáticas, tipo de solo e histórico da área dentre outras coisas (KYOTOKU, 2011). Em média são realizados cinco ou mais cortes da cana-de-açúcar durante o seu ciclo de vida, dependendo da cultivar (KYOTOKU, 2011; COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2014).

Todo o ciclo de produção da cultura tende a ser mecanizado, logo é importante a utilização de equipamentos agrícolas com regulagens adequadas e os mesmos utilizados apropriadamente durante as operações. Por consequência, ocorrerá a diminuição no tempo de trabalho do produtor, maior eficiências operacional, menor custo e aumento do retorno econômico (DUARTE JÚNIOR et al., 2008).

A cultura da cana-de-açúcar tem grande relevância econômica por ter diversas utilidades, como por exemplo, ser aplicada na alimentação animal; na forma in natura; forragem; ou matéria-prima para a produção de rapadura, açúcar, melado, álcool e aguardente. E ainda, seus resíduos são reaproveitados, como o vinhoto, que é convertido em adubo, bagaço e combustível (CAPUTO et al., 2008).

O Brasil, subsequente, a Índia e a China apresentam as maiores produções mundiais de cana-de-açúcar. E, além disso, o mercado brasileiro possui a mais alta produção mundial da mesma com o etanol e açúcar (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2014). De acordo com Voltolini et al. (2012), as maiores atividades agrícolas no Brasil, levando em consideração o valor bruto produzido e a área de produção e por esse motivo cultura ocupa o terceiro lugar do mercado agrícola brasileiro, ficando atrás da soja e do milho.

Para a safra 2014/15 foi contabilizada produção de cana-de-açúcar no Brasil entorno de 634,8 milhões de toneladas, com 9.004,5 hectares de área cultivada. Em comparação com a safra anterior verificou-se perda na produção de 3,7%, sendo a mesma correlacionada com a menor produtividade de 5,7%. Em relação à perda da produção não foi maior devido à extensão da área brasileira cultivada com 2,2% (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2015).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2014), no ano de 2014 a produção agrícola nacional foi estimada em aproximadamente 737 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, porém comparado ao ano de 2013 houve diminuição de 0,2%. Em 2014 houve aumento de 0,4% na área destinada à colheita, mas com redução de 0,6% na produtividade média.

De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (2015), na safra 2014/15, constatou-se para a região centro-sul queda de 4,4% na produção e 7,3% de perda na produtividade. No entanto o declínio produtivo não foi maior devido o aumento de 3,1% das novas áreas cultivadas.

Em relação à região norte e nordeste houve intensa seca entre as safras 2012/13 e 2013/14, contudo a cana-de-açúcar encontra-se em período de recuperação. Nesta região mesmo com 4,6% de redução da área cultivada, verificou-se aumento de 9,8% na produtividade, obtendo progresso produtivo de 4,7% comparando com a safra 2013/14 (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2015).

A mecanização agrícola na cana-de-açúcar apresentou inúmeras mudanças a partir da década de 90, em função do estabelecimento de recentes tecnologias tanto no plantio quanto na colheita por meio do georreferenciamento. Na colheita mecanizada houve transformações no setor agrícola como na sistematização do terreno, otimização do desempenho operacional da colhedora, porém para operação destas colhedoras os trabalhadores precisam estar capacitados e conhecer o funcionamento o seu funcionamento (TORQUATO, 2013).

Com o aumento da área cultivada da cultura vários benefícios relacionados a sustentabilidade podem ser apresentados dentre estes, a mecanização integrada a recentes tecnologias, possibilitando maior produtividade pela terra e mão de obra, visando melhorias no sistema produtivo desta cultura como também aumento do desempenho operacional. Contudo, existem alguns problemas que devem ser minimizados na mecanização, como a ausência do controle do tráfego dos equipamentos agrícolas, dano em soqueiras, compactação do solo entre outros (PAULA, 2010).

No ramo industrial é muito utilizado a mecanização agrícola da cana-de-açúcar, sendo uma técnica em difusão e estabilizada na agricultura, principalmente na colheita mecanizada (PAULA, 2010).

Além disso, as operações agrícolas são induzidas por vários fatores, que influenciam o tamanho do equipamento de acordo com a operação e o desempenho operacional, sendo: o valor do combustível; dimensionamento da área; velocidade do equipamento; eficiência operacional, dentre outros (OLIVEIRA, 2012).

## **2.2 Aplicação de fertilizantes**

Adubo ou fertilizante são definidos como produto de origem orgânica ou mineral, que proporciona a planta um ou mais nutrientes para o seu desenvolvimento, além disso, pode ser encontrado em estado gasoso, sólido ou líquido (MILAN; GADANHA JÚNIOR, 1996).

Máquinas distribuidoras de corretivos (possui substâncias que corrigem um ou mais atributos do solo, indesejáveis ao desenvolvimento da planta, como o gesso, calcário, etc.) e adubos são aquelas que proporcionam aplicação dos mesmos sobre o solo por meio da operação simultânea com a semeadura (aplicação de fertilizante e sementes ao mesmo tempo), cultivo (distribuição de fertilizante) ou distribuição apenas do adubo. De modo que, deposições adequadas dos adubos influenciam diretamente na produtividade (MILAN; GADANHA JÚNIOR, 1996).

As máquinas distribuidoras de fertilizantes sólidos são classificadas em dois grupos, conforme a aplicação dos mecanismos dosadores, sendo: adubadoras em fileiras ou linhas – na adubação de plantio, ocorre aplicação do adubo no sulco, geralmente é realizado com semeadora-adubadora e de cobertura o fertilizante é depositado ao lado das plantas, normalmente é feito com a adubadora acoplada ao cultivador adubador mecânico; e distribuidoras ou adubadoras a lança – o corretivo ou fertilizante é distribuído de forma aleatória sobre o solo (MILAN; GADANHA JÚNIOR, 1996).

O mecanismo dosador libera do reservatório da adubadora o fertilizante por meio de regulagens, sendo determinado à quantidade a ser distribuída. Esses mecanismos são classificados em volumétricos – quantidade do fertilizante

estipulada é liberada do reservatório em direção ao mecanismo distribuidor; e gravitacionais - o adubo é liberado pela força gravitacional, permitindo o monitoramento de escoamento dos fertilizantes do reservatório da adubadora para o mecanismo dosador (MILAN; GADANHA JÚNIOR, 1996).

O mecanismo dosador conduz o fertilizante para mecanismo distribuidor, aplicando o fertilizante sobre o solo, no qual são classificados, como: queda livre; pendular ou inércia; e centrífuga, de modo que, no mercado brasileiro há predominância do mecanismo distribuidor volumétrico, como: helicóide ou rosca sem-fim; pratos giratórios com raspadores fixos; e “rosetas” ou rotores denteados horizontais (BALASTREIRE; COELHO, 2000).

Referente à eficiência na aplicação de fertilizantes em cana-de-açúcar é necessário levar em consideração a idade da lavoura, fase da cultura (o estágio de cana-planta ou cana-soca), chuvas, tipo de solo, estágio fisiológico da cultura e época adequada para adubação (VITTI et al., 2005).

Na adubação de plantio da cana-planta ocorre agregação das bactérias diazotróficas fixadoras de nitrogênio atmosférico com o sistema radicular das plantas, conseqüentemente, usa-se pouca quantidade de nitrogênio e altas quantidades de potássio e fósforo. Contudo, na cana-soca não ocorre associação das bactérias fixadoras de nitrogênio com a raiz, por esse motivo, é preciso adubar com altas quantidades de potássio e nitrogênio e pouca quantidade de fósforo (VITTI et al., 2005).

A adubação está relacionada de forma direta com a produtividade, pois dosagens de fertilizantes aplicados adequadamente de acordo com o resultado da análise do solo proporciona a planta desenvolvimento satisfatório, beneficiando a obtenção da produtividade esperada. Assim, a maior parte das culturas necessitam de uma ou mais adubações de cobertura, devido às exigências nutricionais de cada uma. Durante a aplicação dos fertilizantes pode acontecer por meio dos equipamentos agrícolas distribuição inadequada, em razão da falta de precisão no mecanismo dosador ou distribuidor; desconhecimento da caracterização dos fertilizantes; entre outros, de modo que, esta distribuição inadequada pode afetar a produtividade (BAIO; MOLIN; LEAL, 2012).



Aplicação em excesso de adubo ocasiona impacto ambiental e maior gasto, todavia o déficit causa menor desenvolvimento da planta como também reduz a produtividade (MILAN; GADANHA, 1996; MOTOMIYA; MOLIN; CHIAVEGATO, 2009).

A adubação nitrogenada na cultura é bastante estudada, fato relacionado à aplicação em excesso deste nutriente, pode ocasionar impacto ambiental e perdas por lixiviação como também volatilização. Assim, pesquisadores na tentativa de minimizar essas deficiências, empregaram o sensoriamento remoto por meio da agricultura de precisão, visando à distribuição adequada com maior exatidão de acordo com a dosagem recomendada (MOLIN et al., 2010).

A agricultura de precisão é uma técnica que contribui para a utilização de forma eficiente dos fertilizantes, levando em consideração a diversidade do solo e da lavoura, visando à distribuição com maior precisão aplicando-os adequadamente, com economia e maior preocupação com o meio ambiente (MOTOMIYA et al., 2011).

Assim, essa técnica tem a finalidade de reduzir os danos ambientais, empregar o sistema de sustentabilidade, proporcionar o aumento do lucro por meio da administração agrícola. E, além disso, essa técnica é fundamentada pelas diversas informações coletadas ao longo do desenvolvimento da cultura, como: mapas de produtividade, amostragem de folhas, solo, pragas e doenças (MENEGATT; MOLIN, 2004).

De acordo com Cirani e Moraes (2010), o objetivo da agricultura de precisão para a área agrícola é permitir menor impacto ambiental e utilização adequada de insumos, por meio da sistematização da variabilidade espacial de produção englobando os seus fatores, ou seja, isso realmente é possível por intermédio das novas tecnologias voltadas para agricultura.

Molin et al. (2005), recomendam que a agricultura de precisão seja utilizada levando em consideração o conhecimento da variabilidade espacial dos fatores e da produtividade, conduzindo com mais eficácia o manejo cultural, e ainda, podendo dividir os talhões em menores tamanhos denominado gerenciamento diferenciado ou fixado em algum local.

Segundo Barreto e Adami Júnior (2012), agricultura de precisão é uma prática agrícola muito utilizada na aplicação de fertilizantes com taxas variadas de acordo com o resultado da análise do solo da respectiva área, facilitando a aplicação adequada dos nutrientes no solo. Esses autores ainda mencionam as vantagens da agricultura de precisão em consórcio com a aplicação dos adubos para os produtores rurais, tais como, maior rendimento econômico, menor impacto ambiental e maior produtividade, aplicando na área apenas as quantidades necessárias para que a cultura obtenha bom desenvolvimento.

Motomiya et al. (2014), mencionam que diversos estudos estão sendo feitos a respeito da distribuição de fertilizantes por taxa variada, desse modo, métodos foram criados para o monitoramento das plantas durante o seu desenvolvimento, verificando o efeito causado pela aplicação de fertilizantes se foi satisfatório ou não. Ainda os mesmos relatam que o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) é uma ferramenta que está sendo melhorada e aplicada no supervisionamento da cultura.

Os mapas de distribuição de fertilizantes com taxas variadas são usados por meio do georreferenciamento e amostragem da área, facilitando o conhecimento da variabilidade da cultura e da lavoura, delimitando os locais que serão adubados com dosagens diferenciadas ou não, de modo que, a quantidade necessária para planta obter desenvolvimento apropriado é aplicada. A distribuição de fertilizantes é realizada por dispositivos que atuam alterando a vazão, sendo acoplados em equipamentos agrícolas para distribuição, especialmente de fertilizantes sólidos, sendo ligados, frequentemente, pela potência hidráulica do equipamento (MOLIN; MASCARIN; VIEIRA JÚNIOR, 2006).

### **2.2.1 Caracterização de fertilizantes**

A densidade dos adubos é obtida por meio da relação massa do nutriente pelo volume do mesmo coletado. Porém, essa análise é mais eficaz para adubos líquidos do que sólidos, devido os fertilizantes líquidos possibilitarem a coleta com mais eficiência da fluidez ou escoamento no reservatório da adubadora, indicando a precisão de aplicação dos mesmos. Já os adubos sólidos possuem fluidez, que pode

influenciar vários fatores, tais como, forma das partículas, higroscopicidade e uniformidade dos nutrientes, entre outros (ALCARDE; GUIDOLIN e LOPES, 1998).

Lopes; Silva e Guilherme (1991) relatam que as duas qualidades mais relevantes dos corretivos são: o teor de neutralizantes por meio do PRNT (Poder Relativo de Neutralização Total) e granulometria.

Granulometria de fertilizantes sólidos é definida por meio da forma e tamanho dos grânulos (ALCARDE; GUIDOLIN; LOPES, 1998).

A distribuição mecanizada de fertilizantes sólidos pode ser influenciada diretamente pelo teor de água e granulometria de suas partículas. Quanto menor o tamanho do grânulo e maior umidade, conseqüentemente, ocasiona distribuição inadequada dos fertilizantes pela adubadora, em virtude das condições que os mesmos se apresentam, dificultando a sua aplicação (BALASTREIRE; COELHO, 2000).

Ângulo de repouso tanto de sementes quanto de adubos determinam a fluidez ou escoamento dos mesmos nos reservatórios da semeadora ou adubadora, por conseqüência, podem induzir a taxa de distribuição e vazão dos referidos. Por isso é importante saber o ângulo de repouso do produto aplicado, pois quanto maior o ângulo de repouso menor é a fluidez do fertilizante ou semente (ALTEMANN et al., 2010).

Segundo Vasconcelos; Cardoso e Reis (2011) é importante conhecer o ângulo de repouso, para a escolha do equipamento agrícola a ser utilizado na distribuição do fertilizante. Os mesmos verificaram ângulos de repouso para os formulados 05-20-10 e 10-10-07 e observaram uma diferença entre eles de 1,50° aproximadamente, enquanto o adubo natural pó de rocha obteve maior ângulo de repouso (39,75°) comparado com os demais, seguido do calcário com 38,75°, indicando que os fertilizantes com maiores ângulos de repouso apresentam menor escoamento no reservatório da adubadora.

### **2.3 Capacidade operacional de máquinas agrícolas**

De acordo com Mialhe (1974), o desempenho operacional é o agrupamento de informações complexas explicando por meio de termos quali-quantitativos, as

peculiaridades do equipamento agrícola nos diversos tipos de trabalho. O autor esclarece como é feita a aglomeração dessas informações por intermédio das características de manejo (manutenções, estabilidade, regulagens, entre outras), operacionais (quantidade e qualidade da operação do equipamento agrícola) e dinâmicas (velocidade operacional e potência de acionamento).

Capacidade operacional é definida pela quantidade de operações realizadas pelos equipamentos agrícolas em determinado tempo, sendo considerada como medida de intensidade de acordo com o trabalho efetuado (MIALHE, 1974).

Segundo Lopes et al. (2010), modernas tecnologias proporcionam aumento na capacidade operacional, possibilitando melhoria ou conservação na qualidade do trabalho, menor consumo de combustível, pouca quantidade de manobra, maior eficiência operacional, entre outras.

A mecanização agrícola encontra-se em constante crescimento tecnológico, possibilitando maior capacidade operacional, redução de custos e aumento da produção. No entanto, não adianta apenas conter modernas tecnologias, como também é fundamental a seleção ou dimensionamento correto dos equipamentos agrícolas, tais como, regulagens, lastragens, escolha dos equipamentos de acordo com as condições do solo e operações, manutenções, selecionar o trator conforme a exigência operacional do equipamento, atendendo as potências exigidas para o mesmo realizar o trabalho com mais eficiência, conseqüentemente, obtendo melhores resultados operacionais (MERCANTE et al., 2010).

Para a escolha do equipamento agrícola recomenda-se ao produtor optar por máquinas que consigam realizar de forma eficaz todas as operações executadas na fazenda, visando obter aumento no desempenho operacional, e, além disso, é muito relevante saber o dimensionamento da propriedade rural. Sendo que, ao término as máquinas serão mais rentáveis por meio da união adequada do trator e equipamento de acordo com o suporte da fazenda (SILVEIRA; YANAI; KURACHI, 2006).

#### **2.4 Eficiência operacional de máquinas agrícolas**

O desempenho operacional dos equipamentos agrícolas engloba fatores quantitativos obtidos por intermédio do rendimento e capacidade operacional, e

pelos elementos qualitativos das operações efetuadas. A eficiência operacional possui a função de analisar alguns parâmetros qualitativos no trabalho realizado pelas máquinas agrícolas (MIALHE, 1974).

Klaver et al. (2012) verificaram a importância de obter-se melhoria na eficiência operacional em todos os ramos econômicos do mercado, preservando a competição entre eles, especificamente na área agrícola. Os mesmos descreveram com enfoque no aumento da eficiência na operação no setor agrícola, por meio da adoção do sistema de informação geográfica (SIG), piloto automático por intermédio da agricultura de precisão; utilização dos equipamentos agrícolas adequados, bem como, trator acoplado em equipamento ideal conforme a potência demandada; planejamento operacional e sistematização da área, aproveitando a mesma com mais eficácia e entre outras coisas, possibilitando acréscimo produtivo em menores áreas plantadas.

Quanto ao acoplamento do trator é realizado com equipamento que deve ser selecionado conforme a potência demandada pela máquina, transmitindo potência necessária para o acionamento dos mecanismos no equipamento agrícola, ocorrendo movimentação das máquinas de acordo com a velocidade estipulada. Sendo que, alguns dos parâmetros primordiais para o monitoramento do uso adequado dos equipamentos agrícolas, são: eficiência de campo, desempenho operacional e potências exigidas na operação (SILVEIRA; YANAI; KURACHI, 2006).

Na área agrícola tem-se utilizado com frequência programas computacionais, proporcionando melhorias no planejamento do desempenho operacional. Contudo, a escolha adequada de tratores a serem acoplados a equipamentos é uma tarefa árdua, por encontrar no mercado diversos equipamentos agrícolas, o que dificulta a escolha dos mesmos (KLAVER et al., 2012).

## **2.5 Controle Estatístico de Processo**

Controle Estatístico de Processo (CEP) é considerado uma ferramenta que utiliza a estatística, com intuito, de promover resultados mais precisos na identificação de falhas por meio das possíveis causas especiais e precauções durante as operações para redução dos erros, como também, possibilita menor

perda de produtos, matéria-prima, insumos e dentre outros; aumenta a produtividade do produtor agrícola ou da empresa (IGNÁCIO, 2010).

Assim, o controle estatístico de processo ou controle estatístico de qualidade é aplicado com frequência no ramo industrial, com o objetivo de acompanhar e analisar o andamento do processo produtivo, verificando se os produtos estão dentro dos parâmetros desejáveis ou não (PAIXÃO, 2015). O mesmo autor cita que os métodos do controle estatístico de qualidade utilizados na área agrícola são considerados atuais e encontra-se em desenvolvimento, monitorando práticas agrícolas mecanizáveis, proporcionando obter resultados mais precisos, de modo que, o processo mecanizável seja realizado com eficiência, empregando as ferramentas de qualidade.

Assim, esta ferramenta que proporcionará a identificação de causas específicas no processo de distribuição de fertilizantes e servirá como fonte de diagnóstico e soluções práticas no processo mecanizado.

Nas cartas de controle de Shewhart, o CEP proporciona a verificação da qualidade operacional de alguma determinada atividade mecanizada, pois possuem informações relevantes, tais como, limite superior de controle (LSC); limite inferior de controle (LIC); média; amplitude móvel (resultante da diferença entre o dado atual e o anterior). Esses limites são originados por intermédio da análise estatística e baseados na variabilidade dos dados processados. E, além disso, esses limites propiciam a análise da variabilidade do resultado, por meio de fatores incontroláveis no processo, sendo denominado como causas especiais. Os limites são determinados com base no desvio padrão das variáveis. Logo, abaixo a equação 1 do LIC e LSC (NORONHA et al., 2011):

$$\begin{aligned} \text{LIC} &= \bar{X} - 3.\sigma \\ \text{LSC} &= \bar{X} + 3.\sigma \end{aligned} \tag{1}$$

Em que:

LIC: Limite Inferior de Controle;

LSC: Limite Superior de Controle;

$\bar{X}$  : média geral da variável;

$\sigma$ : desvio-padrão.

Quando os pontos ficam localizados na carta de controle fora do intervalo entre os limites LSC e LIC, significa que por alguma causa especial, os pontos situam neste local devido alguma falha durante a operação, conseqüentemente, os mesmos contêm colorações diferentes dos demais, sendo considerados pontos instáveis. No entanto, quando nenhum ponto situa-se fora do controle, quer dizer, que os mesmos encontram-se entre os limites (LSC e LIC), o processo gerado está dentro do controle estatístico com normalidade (NORONHA et al., 2011).

No momento em que o processo está sob controle ou estado de controle estatístico, sofre interferência apenas de causas aleatórias, ocasionando variabilidade natural nos valores. Quando o processo está fora de controle é influenciado principalmente por causas especiais como também de causas aleatórias de variabilidade natural (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2005).

As cartas de controle de Shewhart de certa forma é o teste de hipótese, no qual pontos fora de controle é estimado pela hipótese alternativa, e processo sob controle por meio da hipótese nula. Nas cartas de controle com instabilidade recomenda-se a utilização da *run chart* para analisar com maior precisão o comportamento dos dados, se estão sendo influenciados ou não pelos padrões aleatórios (NOMELINI; FERREIRA e OLIVEIRA, 2009).

Paixão (2015) por meio dos dados obtidos em seu trabalho na área de colheita mecanizada em soja recomenda não utilizar apenas *run charts* para análise da qualidade operacional, pois pode ocasionar equívoco na interpretação dos dados no processo. No entanto, a autora relata que o ideal é usar *run charts* como complemento, auxiliando na avaliação da qualidade da operação por intermédio do CEP.

Brittar (2001) descreve que indicador de qualidade é uma medida indireta, sendo resultante de problemas a serem solucionadas em determinada área, este indicador pode ser apresentado como índice, fato, taxa, número absoluto ou coeficiente, desse modo analisando parâmetros quantitativos ou qualitativos de acordo com os resultados, estrutura, meio ambiente e processo.

Os indicadores de qualidades são utilizados como parâmetros avaliados como fatores do controle de qualidade, verificando a variabilidade em cada parâmetro analisado. Esses indicadores estudados neste presente trabalho foram os Limites Específicos de Controle (LEC) para avaliar a qualidade operacional da adubação mecanizada, observando a variabilidade e a qualidade dessa operação por meio de monitoramento das variáveis.

Os Limites Específicos de Controle ou limites de engenharia são estipulados por meio de recomendações, sendo utilizados para facilitar visualizações em comparação com a meta estipulada, favorecendo o melhor entendimento da análise da carta de controle e saber quais pontos ficaram dentro do controle desejado, ou seja, na margem aceitável da dosagem recomendada. Esses limites possibilitam obter melhoria na qualidade operacional por intermédio de orientações agrícolas e técnicas. No presente trabalho estes limites foram determinados por sugestões acadêmicas em parceria com o produtor rural, visando obter 80% da qualidade operacional na adubação mecanizada em cana-soca, utilizando a técnica do “*brainstorming*” (PAIXÃO, 2015).

O “*brainstorming*” é um método empregado em reuniões permitindo as pessoas expressarem suas ideias referentes alguma situação, tentando solucionar o problema, e, além disso, este método pode ser aplicado na área agrícola, visando o aumento da qualidade da operação por meio de padrões estabelecidos em reuniões (PAIXÃO, 2015; SELEME; STADLER, 2008).



### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Descrição da área experimental

O experimento foi desenvolvido no município de Matão, estado de São Paulo. A área experimental de cultivo de cana-de-açúcar pertencente à Fazenda Cascavel, situada nas coordenadas geográficas 21°35'55,03"S e 48°25'21,12"W com altitude de 589 m, tendo histórico de sete anos de cultivo da cultura.

O clima do município segundo a classificação de Köppen é Aw, é definido como clima tropical e inverno seco, com temperatura variando de 16°C a 29°C, e frequentemente, o período de chuvas ocorre nos meses de outubro a março, com pluviosidade total anual de 1400 mm aproximadamente.

Com relação à geologia do município de Matão verifica-se a predominância de sedimento do Grupo Bauru originado pela Formação Adamantina. A região desse município possui topos, sendo a parte mais alta com encostas convexas e declividades de 2 a 5% (POLLO, 2013).

De acordo com a Figura 1, o tipo de solo da área experimental é o Latossolo Amarelo Distrófico argissólico, textura arenosa/média e média com declividade de 2% aproximadamente.

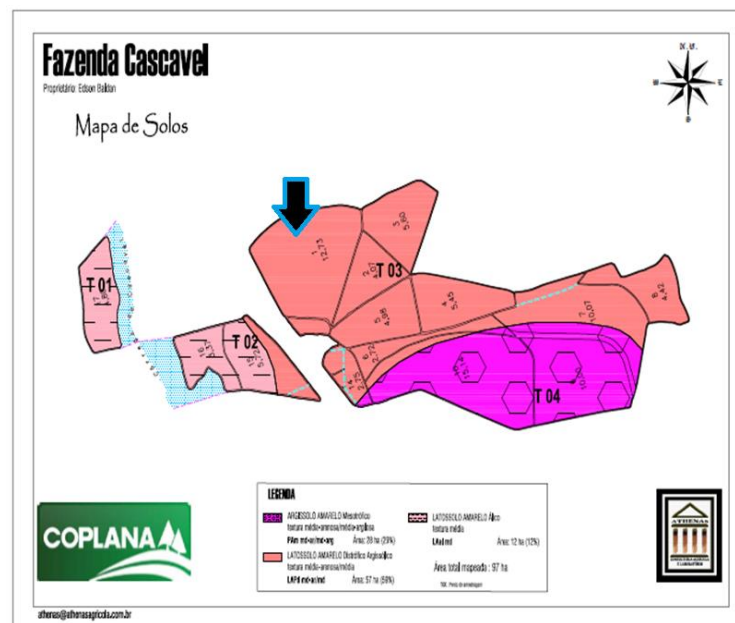
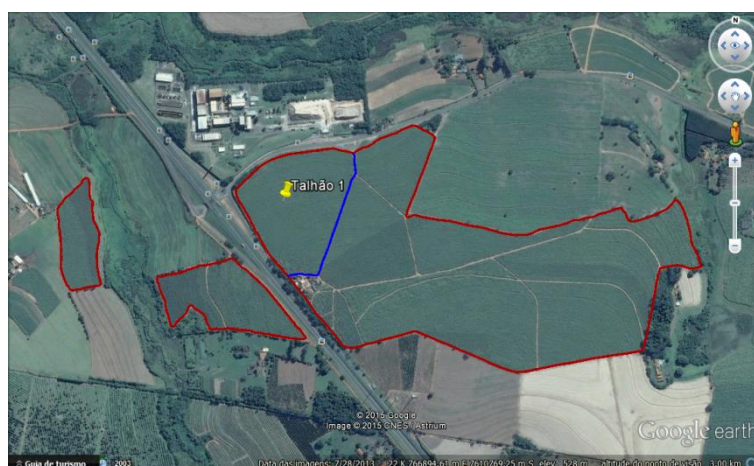


Figura 1. Mapa de solos da Fazenda Cascavel.

A quantidade aplicada de fertilizantes de acordo com a regulação efetuada na adubadora foi: 434 kg ha<sup>-1</sup> de ureia protegida (45% de N), 153 kg ha<sup>-1</sup> de MAP - Fosfato Monoamônio (45% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 11% de N) e 283 kg ha<sup>-1</sup> de KCl – Cloreto de Potássio (60% de K<sub>2</sub>O).

A área experimental (Figura 2) foi de 1,66 ha com a cultivar RB 86-7515 (caracterizada pela sua rusticidade e alta produtividade), no sexto corte com plantio efetuado no ano de 2008. A colheita mecanizada da cana-de-açúcar ocorreu entre os dias 01 a 04 de agosto de 2014, caracterizando o cultivo de cana de ano, e a adubação mecanizada foi realizada no dia 21 de outubro de 2014.



**Figura 2.** Imagem de satélite da Fazenda Cascavel.

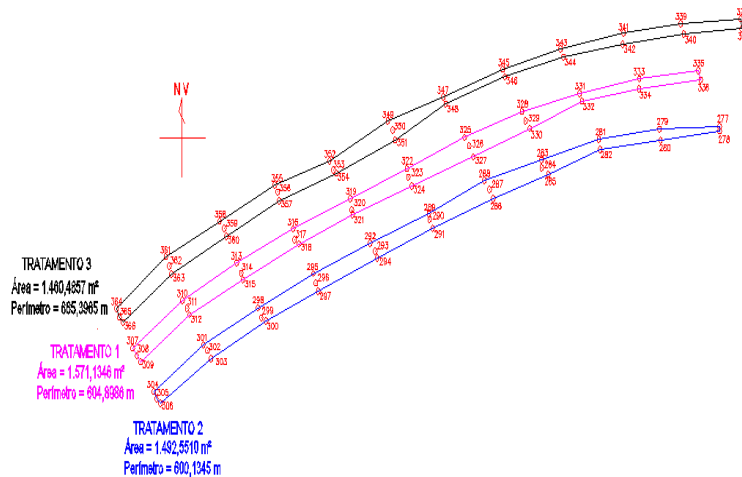
### 3.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi Inteiramente Casualizado (DIC), com 3 tratamentos e 30 repetições por tratamento. Este delineamento utilizado foi estabelecido conforme os critérios do controle de qualidade, sendo o monitoramento das variáveis realizado durante a operação de adubação. Ao final do período de avaliação foram coletados 90 pontos amostrais no total, sendo 30 pontos para cada tratamento.

Os tratamentos foram elaborados visando à mão de obra, custo e tempo, sendo: Tratamento 1 (testemunha) - Adubação mecanizada, sem aplicação de herbicida; Tratamento 2- Operação conjugada (aplicação simultânea de herbicida e

fertilizante); e Tratamento 3- Duas operações (aplicação separada de herbicida e fertilizante). Os tratamentos foram sorteados aleatoriamente na área experimental.

Os tratamentos 1, 2 e 3 possuem aproximadamente as seguintes medidas de comprimento e área (Figura 3), correspondendo respectivamente a 298 m (0,1571 ha); 297 m (0,1492 ha) e 328 m (0,1460 ha).



**Figura 3.** Caracterização dos tratamentos 3, 1 e 2 obtendo medidas de comprimento e área.

As parcelas de cada tratamento foram constituídas por seis linhas de cana-de-açúcar, correspondendo a três passadas do trator. Todavia, para separação dos tratamentos foram deixadas seis fileiras de plantio da cultura. A adubadora distribuiu o adubo em duas linhas por passada, sendo o espaçamento entre linhas da cultura de 1,5 m.

Os pontos amostrais situados nas laterais da área experimental tiveram o distanciamento de 50 m das mesmas, os demais pontos ficaram distanciados uns dos outros por 30 m, para estabilizar a distribuição dos fertilizantes por isso o trator percorreu essas distâncias.

### 3.3 Máquinas e equipamentos agrícolas \*

Para realização da adubação foi utilizado o trator da marca John Deere, modelo 6145J (Figura 4), com as seguintes características: potência do motor de 107 kW (145 cv) na rotação nominal, com capacidade de 300 L do tanque de combustível e transmissão PowerQuad 16x16, tração 4x2 TDA, bitola de 1,80 m e pneus dianteiros 18.4-26 e traseiros 24.5-32 (JOHN DEERE, 2015).

Durante as operações o trator utilizou a 2ª marcha B, com rotação de 1800 rpm no motor e velocidade média de 5,7 km h<sup>-1</sup>.



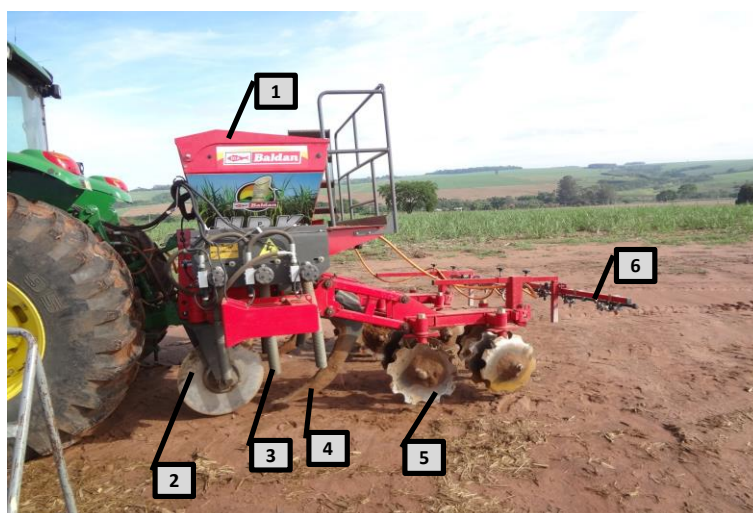
**Figura 4.** Modelo do trator utilizado durante o experimento 6145J.

O consumo de combustível foi mensurado antes de iniciar as coletas dos adubos nos três tratamentos, para isso o tanque de combustível do trator foi abastecido completamente e ao final das operações em cada tratamento, foi realizado a verificação do consumo, sendo coletado em apenas um ponto e não foi utilizado medidor. Após abastecimento do trator, iniciou-se a coleta dos adubos nos 30 pontos amostrais por tratamento.

\* Marcas e modelos não indicam sugestão por parte do autor.

A adubadora formuladora utilizada neste experimento pertence à empresa BIA – Baldan – Máquinas e Implementos Agrícolas e está em desenvolvimento sendo protótipo na linha canavieira, modelo CAMB-AP. A adubadora possui mecanismo dosador volumétrico, mecanismo distribuidor helicoidal como também é composta por (Figura 5):

- Três reservatórios individuais possuindo capacidade de 1000 kg para cada fertilizante;
- 12 tubos - conduzem o NPK, facilitando a aplicação destes sobre o solo, isto é, três tubos em cada uma das laterais da máquina e seis tubos no centro da mesma;
- Haste - permite a mobilização do solo, largura da ponteira 3” e distância entre hastes 1500 mm;
- Discos recortados - incorporação de fertilizantes aplicados no solo, possuindo diâmetro de 18” e 11” de espaçamento entre os discos e 34” de distância entre os pares desses discos;
- Discos de corte - corte da palhada da cultura para evitar o embuchamento do equipamento agrícola, com 22” de diâmetro e 750 mm distância entre discos;
- Barra de pulverização – aplicação de herbicida com tanque de 300 L, posicionado na frente do trator.



**Figura 5.** Componentes da adubadora, sendo: Reservatório da adubadora (1), Disco de corte (2), Tubos (3), Haste (4), Discos recortados (5); Barra de pulverização (6).

O pulverizador utilizado foi montado no trator John Deere 6145J com cabine, cujo modelo da bomba Jacto JP 75 (Figura 5). A barra do pulverizador com seis m de comprimento localizou-se na parte traseira da adubadora (Figura 6), com pontas do tipo leque marca TEEJET, modelo TII 02.

Deste modo, os herbicidas sulfentrazone, dose: 1,20 L ha<sup>-1</sup>; e tebutiuram, dose: 2,0 L ha<sup>-1</sup> foram aplicados para o controle de plantas daninhas na área experimental.

### **3.4 Indicadores de qualidade**

As variáveis utilizadas como indicadores de qualidade foram: eficiência de distribuição, avaliada por meio da quantidade de adubo aplicado (doses de N, P e K); densidade dos nutrientes, análise granulométrica; ângulo de repouso; consumo de combustível; tempo gasto para cada passada realizada pelo trator (capacidade de campo efetiva) e manobras (capacidade de campo operacional); e paralelismo entre passadas.

#### **3.4.1 Eficiência de distribuição de adubo**

No dia 21 de outubro de 2014 foi realizada a coleta de adubos em 30 pontos amostrais por tratamento. A coleta dos adubos iniciou-se no tratamento 3 (2 operações - aplicações separadas de adubo e herbicida), depois no tratamento 1 (apenas adubação mecanizada) e por fim no tratamento 2 (operação conjugada).

A coleta foi realizada com auxílio de uma ferramenta construída especificamente para esta finalidade, sendo uma armação metálica com suporte para três copos medidores com capacidade de 1 kg, a barra desta ferramenta possui 1 m de comprimento, largura da cesta dos copos coletores de 28", diâmetro de cada copo medidor 11" e espaçamento entre eles de 13". Os adubos foram recolhidos em cada lado da adubadora, denominados de lado esquerdo e direito (Figura 6).



**Figura 6.** Ferramenta utilizada para coleta de adubo (doses de N, P e K).

Os nutrientes foram coletados apenas nas laterais da adubadora, locais estes que possuíam três tubos (um para cada nutriente, sendo ureia protegida - N, MAP - P e cloreto de potássio - K). A coleta individual de N, P e K foi possível devido o reservatório da adubadora também possuir três divisões (Figura 7).



**Figura 7.** Divisões no reservatório da adubadora para os nutrientes (N, P e K).

Para a coleta o operador levantava a adubadora pelo sistema hidráulico do trator por meio do controle do fluxo de óleo, colocando então o amostrador nos respectivos tubos condutores em ambas as laterais (direita/esquerda). Na sequência

o operador acionava a liberação do adubo por efetivamente cinco segundos (Figura 8). Ao longo das coletas dos fertilizantes, não se esperava diferença entre os lados analisados da adubadora, porém ao término da análise verificou-se dissemelhança entre eles, provavelmente pode ter ocorrido devido à regulagem inadequada entre os mesmos.



**Figura 8.** Coleta de cada nutriente em ambos os lados (esquerdo e direito) da adubadora.

O adubo retido nos três recipientes foi posteriormente colocado em sacos plásticos identificados com as informações: número do tratamento, lado da adubadora, nutriente recolhido e ponto amostral. Ademais, cada fertilizante coletado foi analisado separadamente.

### 3.4.2 Densidade dos nutrientes

A densidade de N-P-K (nitrogênio, fósforo e potássio), baseou-se na metodologia de Reynaldo (2013), na qual foi usada uma proveta com escala de 10 mL e volume de 500 mL. A mesma foi preenchida com fertilizante individualmente até o volume máximo, posteriormente, pesou-se cada nutriente, sendo este procedimento realizado por seis vezes para cada nutriente, realizando por último a média dos mesmos. Esta quantidade de repetição foi realizada para minimizar a margem de erro do equipamento, com intuito de aumentar a acurácia.



Reynaldo (2013) recomenda a utilização da Equação 2 para obter a densidade, sendo a média da massa por nutriente e o volume da proveta contendo os adubos.

$$D = \left(10^3 \times \frac{m}{v}\right)/1000 \quad (2)$$

Em que:

*D*: Densidade do adubo (g cm<sup>-3</sup>);

*m*: Massa medida do nutriente (g);

*v*: Volume ocupado pelo fertilizante (mL).

A densidade do fertilizante foi realizada para saber o volume ocupado no reservatório da adubadora.

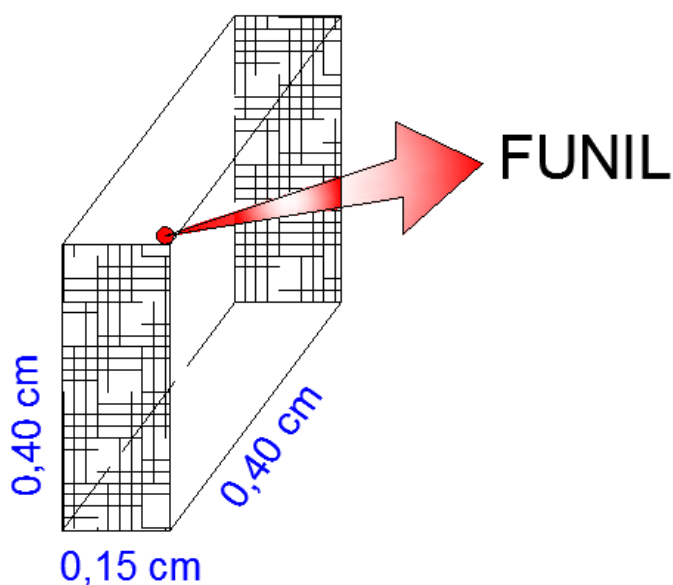
### **3.4.3 Análise granulométrica de fertilizantes**

A análise granulométrica dos fertilizantes (N-P-K) baseou-se nos procedimentos da norma ISO 5690/1 (REYNALDO, 2013), visando à análise do fertilizante por meio da pureza e uniformidade. O autor recomenda a colocação de 1 kg de amostra do fertilizante avaliado. As peneiras utilizadas apresentam malhas de 0,250 mm (ABNT nº. 60); 0,500 mm (ABNT nº. 35); 0,710 mm (ABNT nº. 25); 1,000 mm (ABNT nº. 18); 2,000 mm (ABNT nº. 10); 4,000 mm (ABNT nº. 5).

As peneiras foram colocadas em ordem decrescente no agitador automático por cerca de 10 minutos para cada nutriente. Os grânulos foram colocados em agitador automático para simular a vibração e o balanço do reservatório equipamento agrícola na lavoura durante as operações. Ao final, pesou-se a quantidade de adubo contido por peneira, realizando o cálculo da porcentagem dos dados coletados em cada peneira e comparando os valores (ISO 5690/1; REYNALDO, 2013).

### 3.4.4 Ângulo de repouso

O ângulo de repouso dos fertilizantes possibilita a análise da fluidez ou escoabilidade, sendo realizado conforme Reynaldo (2013), utilizando uma caixa com armação em formato de quadro, com dimensões 40 x 40 x 15 cm (Figura 9), contendo madeira ao redor e duas placas de vidros com 3 mm de espessura nas laterais da mesma, facilitando a visualização durante a deposição dos fertilizantes (Figura 10 a). O adubo (1 kg e 2 kg) foi depositado com velocidade contínua em um funil na parte superior da borda direita, formando o ângulo de repouso (Figura 10 b), com quatro repetições de cada nutriente para 1 kg e 2 kg, sendo que, esta quantidade de repetição foi efetuada para minimizar a margem de erro do equipamento, com intuito de aumentar a acurácia.



**Figura 9.** Dimensionamento da caixa utilizada para o cálculo do ângulo de repouso.



**Figura 10.** Material utilizado para a coleta do ângulo de repouso

Para o cálculo do ângulo de repouso utilizou-se do arco-tangente (Equação 3), sendo o ângulo determinado por meio da medição dos valores do cateto oposto (eixo vertical) e do cateto adjacente (eixo horizontal). Na caixa foram colocadas fitas métricas graduadas em centímetros nos eixos horizontal (x) e vertical (y), sendo realizadas 4 repetições.

$$\alpha = \text{arc tg } C_O / C_A \quad (3)$$

Em que:

$\alpha$  : Ângulo de repouso (°);

$C_O$ : Cateto oposto (cm);

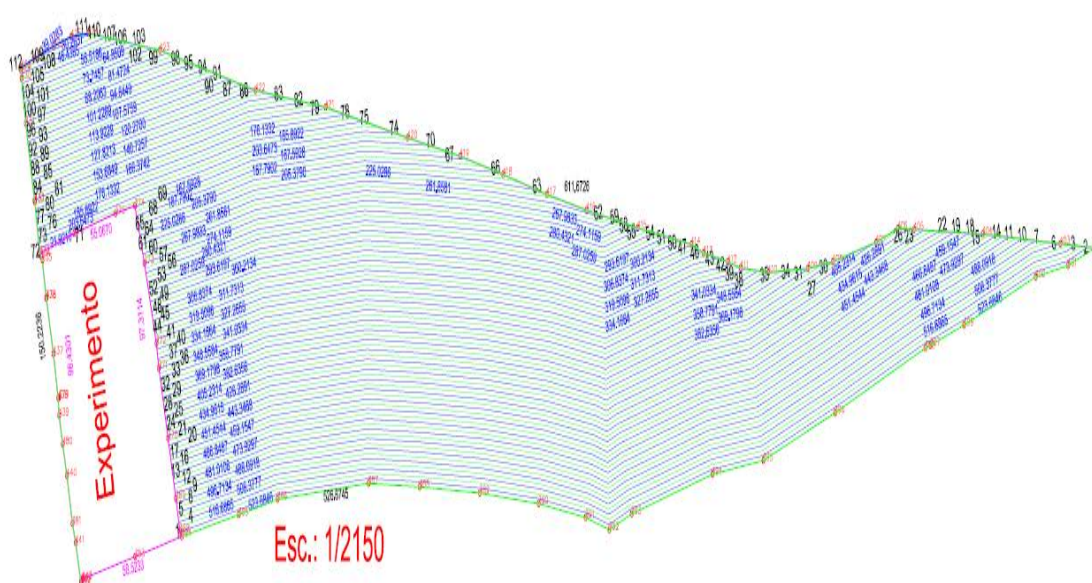
$C_A$ : Cateto adjacente (cm);

*arc tg*: Arco tangente.

O ângulo de repouso é calculado para conhecer a fluidez do produto aplicado, se este é distribuído com facilidade ou não sobre o solo, de modo que, ângulo de repouso maior que 50° apresenta baixa fluidez, sendo um fertilizante mais trabalhoso a ser aplicado.

### 3.4.5 Tempo com manobras e passadas

No dia 7 de novembro de 2014 cronometrou-se o tempo gasto com passadas, manobras e abastecimentos no talhão quatro, sendo que apenas a operação conjugada foi utilizada a pedido do produtor rural (Figura 11). Para realização dessa operação, foram utilizados os mesmos equipamentos agrícolas usados na coleta de fertilizantes.



**Figura 11.** Cronometragem do tempo com manobras e passadas no talhão 4 da fazenda.

Os adubos aplicados no talhão 4 na parte da manhã foram: 280 kg ha<sup>-1</sup> de ureia protegida (45% de N) e 200 kg ha<sup>-1</sup> de cloreto de potássio (60% de K<sub>2</sub>O) e não foi aplicado MAP de acordo com as recomendações do produtor rural.

Durante a operação o trator utilizou a 2ª marcha B, velocidade média de 6,0 km h<sup>-1</sup> com rotação de 1.900 rpm no motor (essa condição foi utilizada em função do solo estar com elevado teor de água devido à ocorrência de chuva em dia anterior de 115 mm). Ao término do trabalho foi verificado que o trator consumiu 12,29 L ha<sup>-1</sup> de combustível.

A bomba utilizada na pulverização foi preparada para 300 L de calda perfazendo 2 ha.

Os herbicidas aplicados neste talhão para o controle de plantas daninhas foram: sulfentrazone, dose: 1,20 L ha<sup>-1</sup>; mesotriona, dose: 250 mL ha<sup>-1</sup>; hexazinona, dose: 300 g ha<sup>-1</sup>; atrazina, dose: 2,2 kg ha<sup>-1</sup>; e fertilizante foliar, dose: 60 mL ha<sup>-1</sup>.

### 3.4.5.1 Desempenho operacional da adubadora

Vale et al. (2011); Mialhe (1974), calcularam a capacidade de campo efetiva por intermédio da área total trabalhada em função do tempo de produção (Equação 4).

$$C_cE = \frac{A}{T_p} \quad (4)$$

Em que:

$C_cE$  = Capacidade de campo efetiva (ha h<sup>-1</sup>);

$A$  = Área trabalhada (ha), sendo a distância do ponto 1 ao 2 multiplicando pela largura do equipamento;

$T_p$  = Tempo de produção (h).

A capacidade de campo operacional foi determinada por meio da Equação 5 e 6 (MIALHE, 1974; SIMÕES; SILVA, 2012).

$$C_cO = \frac{A}{T_{pro} + T_m} \quad (5)$$

Em que:

$C_cO$  = Capacidade de campo operacional (ha h<sup>-1</sup>);

$A$  = Área trabalhada (ha);

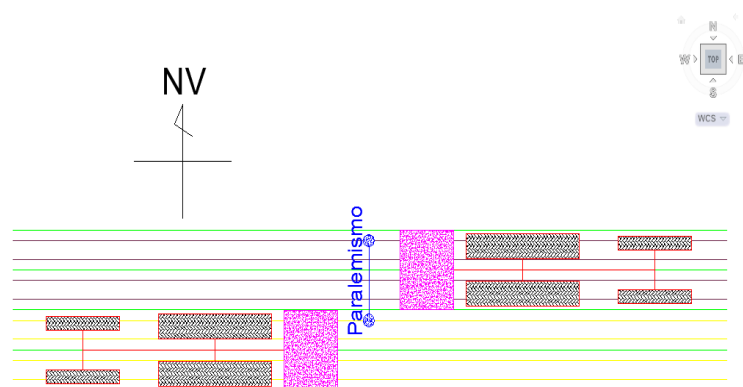
$T_{pro}$  = Tempo produtivo ou passada (h);

$T_m$  = Tempo com manobras (h).

### 3.4.6 Paralelismo

No dia 21 de outubro de 2014, mediu-se o paralelismo após a distribuição dos adubos sem utilização do piloto automático, devido o plantio da cana-de-açúcar ter sido efetuado sem adoção deste. As medidas foram realizadas em 30 pontos amostrais por tratamento, realizadas a cada passagem do conjunto trator equipamento.

Na Figura 12, observa-se a medição do paralelismo de um ponto amostral, sendo as linhas verdes a cultura de cana-de-açúcar, as linhas amarelas e lilás as faixas aplicadas de adubo. As faixas de adubo tiveram colorações diferentes para facilitar a visualização de cada passada.



**Figura 12.** Medições do paralelismo.

### 3.5 Análise descritiva

Análise descritiva baseia-se na sistematização, caracterização e verificação dos dados que serão analisados, determinando a variabilidade e distribuição dos mesmos (MEDRI, 2011).

Neste trabalho realizou-se a análise descritiva utilizando-se medidas de tendência central (média e mediana), de posição (desvio padrão, amplitude, mínimo e máximo), de dispersão (coeficiente de variação) e medidas da forma da distribuição (coeficientes de assimetria e de curtose). Ainda foi verificada a normalidade das distribuições por meio dos testes de normalidade de Anderson-Darling - deve ser usado em distribuições que contenham até 25 pontos ou Ryan-Joiner, dependendo da quantidade dos dados analisados.

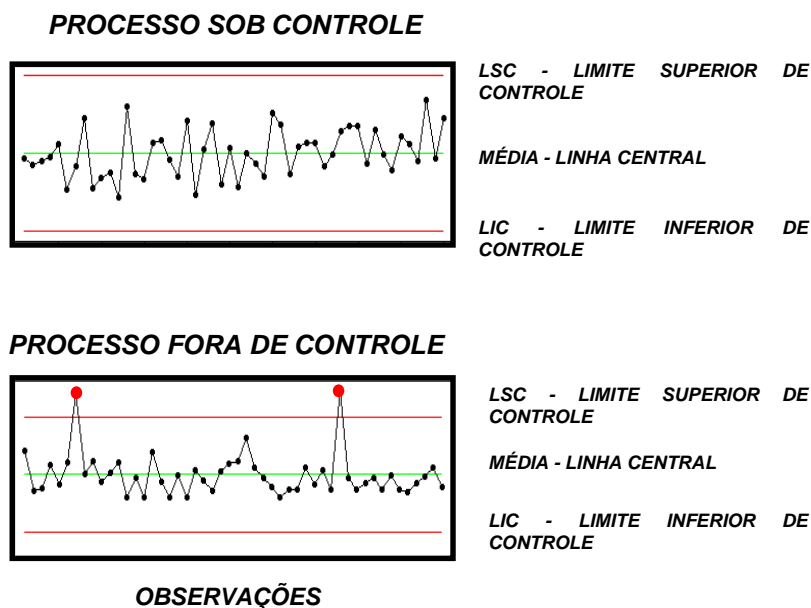
As medidas de dispersão, tais como, desvio padrão, amplitude total e coeficiente de variação, demonstram distribuição dos valores em torno da média tendo-a como referência, e essas medidas possibilitam analisar a variabilidade dos dados estudados (REIS, 2009).

O coeficiente de variação (CV) é considerado medida de dispersão, sendo obtido em porcentagem por meio do desvio padrão e média, com intuito, de confrontar com mais eficiência a variabilidade dos valores, contendo unidades diferentes ou não (GOMES; GARCIA, 2002).

### **3.6 Controle Estatístico de Processo**

O Controle Estatístico de Processo (CEP) foi utilizado para avaliar a qualidade operacional e a distribuição dos fertilizantes por intermédio da elaboração das cartas de controle de valores individuais e de amplitude móvel (I-MR), contendo como medidas o limite superior de controle ( $LSC = \text{média} + 3 \text{ vezes o desvio padrão}$ ); limite inferior de controle ( $LIC = \text{média} - 3 \text{ vezes o desvio padrão}$ ); média; e amplitude.

As cartas contêm dois gráficos: o primeiro corresponde apenas aos valores individuais; já no segundo refere-se à Amplitude Móvel, sendo a diferença do valor atual e do valor anterior, baseados nos valores individuais, sendo que para elaboração de cartas com mais de um tratamento agrupados na mesma carta utilizou-se a Amplitude Móvel Individual (Figura 13).



Fonte: Bertonha (2011).

**Figura 13.** Constituição da carta de processo por meio do Controle Estatístico de Processo (CEP).

### 3.6.1 Limites Específicos de Controle

A margem aceitável para a distribuição de fertilizantes considera-se até 50%, porém neste trabalho os limites específicos utilizados foram 20% a mais e 20% a menos da meta de cada fertilizante (434 kg ha<sup>-1</sup> de ureia protegida, 153 kg ha<sup>-1</sup> de MAP e 283 kg ha<sup>-1</sup>) conforme a regulagem da adubadora, deixando o teste mais rigoroso e qualidade operacional de 80%, e, além disso, esses limites foram estipulados pela equipe técnica acadêmica em parceria com o produtor (Tabela 1).

**Tabela 1.** Limites específicos de controle usados para estimar as dosagens dos adubos coletados na cultura de cana-de-açúcar.

Indicador de qualidade na adubação mecanizada	Limite Específico Inferior (LEI)	META	Limite Específico Superior (LES)
Ureia Protegida (kg ha <sup>-1</sup> )	347	434	521
MAP (kg ha <sup>-1</sup> )	122	153	184
Cloreto de Potássio (kg ha <sup>-1</sup> )	226	283	340



O Limite Específico Inferior (LEI) e Limite Específico Superior (LES) localizados nas cartas de controle não são determinados pelo desvio padrão, pois os mesmos são estipulados pelo produtor rural ou empresa, determinando a margem aceitável para obtenção da qualidade operacional desejável, contudo os limites de controle como o LSC (Limite Superior de Controle) e LIC (Limite Inferior de Controle) são definidos pelo desvio padrão (VOLTARELLI, 2013).

### 3.7 Cronograma das atividades executadas no experimento

DATA	Atividades executadas para a elaboração da dissertação
30/06/2014	Visita à Fazenda Cascavel onde foi mensurado com auxílio do GPS toda área experimental
01/08/2014	Início do processo de colheita da cana-de-açúcar
04/08/2014	Final do processo de colheita da cana-de-açúcar
13/08/2014	Visita a Fazenda Cascavel juntamente com orientador com intuito de conhecimento do equipamento agrícola que seria utilizado no experimento e a respectiva área experimental (talhão 1)
10/09/2014	Estaqueamento do experimento e explicação para os funcionários da fazenda como seria realizada a condução do experimento
18/10/2014	Foi necessário realizar novamente o estaqueamento em função de ruas mortas no talhão
21/10/2014	Coleta dos adubos (N, P e K), medição do consumo de óleo diesel, paralelismo e dados do computador de bordo do trator
23/10/2014	Pesagem dos adubos (N, P e K)
29/10/2014	Realizado novamente o estaqueamento, pois as mesmas foram derrubadas pelo trator durante a coleta de adubos.
07/11/2014	Cronometragem do tempo gasto com manobras, para cada passada e o tempo total de trabalho no talhão 4 da fazenda
24/11/2014	Transferência de dados do GPS Garmin (modelo: Vista) para o computador
26/11/2014	Com os dados do GPS Garmin no computador importou-os para o programa Autocad
27/11/2014	No programa Autocad ligou-se os pontos marcados pelo GPS Garmin dos talhão 4, para localizar o percurso realizado pelo trator
06 à 10/12/2014	Realizou-se análise em programas estatísticos
21/02/2015 à 26/03/2015	Revisão de literatura, tabulação de dados das variáveis, processamento estatístico
29/03/15 a 20/04/15	Revisão de literatura dos trabalhos acadêmicos
16/04/2015	Determinou-se a densidade dos adubos
12/05/2015	Efetou-se a análise granulométrica de fertilizantes (N-P-K)
14/05/2015	Realizou-se o ângulo de repouso dos adubos (N-P-K)
13 à 20/05/2015	Análise estatística
13/05/2015 à 01/06/2015	Revisão da revisão de literatura

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Logo abaixo a análise dos indicadores de qualidade sendo: caracterização de fertilizantes por meio da densidade dos nutrientes, análise granulométrica, ângulo de repouso; consumo de combustível; tempo gasto para cada passada realizada pelo trator e manobras; eficiência de distribuição e paralelismo entre passadas por meio de cartas de controle, análise descritiva e *run charts*.

### 4.1 Caracterização dos fertilizantes

#### 4.1.1 Densidade dos nutrientes

Na Tabela 2 foi verificada a densidade para cada nutriente aplicado. O cloreto de potássio apresentou a maior densidade em relação aos demais dos fertilizantes com  $1,025 \text{ g cm}^{-3}$ , e a ureia protegida expressou menor densidade de  $0,756 \text{ g cm}^{-3}$ .

**Tabela 2.** Análise de densidade de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K)

NUTRIENTE	MASSA (g)	VOLUME (mL)	DENSIDADE ( $\text{g cm}^{-3}$ )
Ureia protegida	378,167	500,000	0,756
MAP	464,167	500,000	0,928
Cloreto de potássio	512,500	500,000	1,025

g: gramas; mL: mililitros.

Reynaldo (2013) obteve em sua pesquisa analisando funcionamento dos dosadores na adubadora, densidade de  $0,801 \text{ g cm}^{-3}$  do formulado 04-14-08.

Vasconcelos; Cardoso e Reis (2011) verificaram que adubos refinados possuem maior densidade do que os granulados. Os mesmos salientam a diferença do adubo natural pó de rocha com o formulado 05-20-10, indicando que o fertilizante em pó contém maior densidade por ocupar mais espaço no reservatório da adubadora, conseqüentemente, obtendo maior volume ocupado com relação ao formulado, por isso é muito relevante saber a densidade dos adubos distribuídos.

Assim, a ureia protegida por ter menor densidade ocupou mais espaço no reservatório da adubadora, porém o cloreto de potássio por ter obtido maior

densidade obteve menor volume ocupado na mesma em relação a ureia protegida, observando a Tabela 2 percebe-se que a ureia protegida é mais leve cerca de 134,333 gramas relacionado ao cloreto de potássio.

#### 4.1.2 Análise granulométrica de fertilizantes

De acordo com a Tabela 3 foi constatado que a peneira com abertura de 2,000 mm reteve maior quantidade dos adubos, ou seja, acima de 80%, demonstrando maior uniformidade dos fertilizantes, indicando boa qualidade do produto a ser aplicado, informando por meio desses dados maior homogeneidade na distribuição dos mesmos. Esta análise é muito importante para saber a uniformidade dos grânulos dos fertilizantes, pois se estes estiverem com diferentes tamanhos, influencia a taxa de aplicação durante a adubação, distribuindo quantidades inadequadas e heterogêneas na lavoura podendo prejudicar o desenvolvimento da cultura e afetar a produtividade.

**Tabela 3.** Análise granulométrica de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K).

PEN (mm)	N (g)	P (g)	K (g)	N (%)	P (%)	K (%)
4,000	23,32	12,47	16,48	2,33	1,25	1,65
2,000	930,76	876,29	870,10	93,08	87,63	87,01
1,000	39,78	92,15	88,15	3,98	9,22	8,82
0,710	2,30	6,62	12,87	0,23	0,66	1,29
0,500	1,13	3,17	7,32	0,11	0,32	0,73
0,250	1,09	2,82	0,82	0,11	0,28	0,08
FUNDO DA PEN	1,62	6,48	4,26	0,16	0,65	0,43
SOMATÓRIO	1,000	1,000	1,000	100	100	100

PEN: Peneiras com aberturas em mm (milímetros); g: gramas; %: porcentagem; FUNDO DA PEN: Fundo da peneira.

O nitrogênio (ureia protegida) expressou maior porcentagem de retenção na peneira 2,000 mm (93,08%), conseqüentemente, esse fertilizante apresentou melhor uniformidade de grânulo comparado com o fósforo e potássio. A quantidade de fósforo (MAP) e potássio (cloreto de potássio) retidos na peneira de 2,000 mm

diferenciou-se entre eles, aproximadamente 0,62% indicando por meio desses valores, que os mesmos possuem granulometria parecida (Figura 14).



**Figura 14.** Granulometria de ureia protegida (nitrogênio - N), MAP (fósforo – P) e cloreto de potássio (potássio - K) retidos na peneira de 2,000 mm e o agitador automático.

Alcarde; Guidolin e Lopes (1998) caracterizam a qualidade do adubo sólido pela uniformidade dos grânulos e tamanho dos mesmos, porém quando se encontra heterogeneidade entre os grânulos proporcionam a segregação, ocasionando ocupação das partículas de acordo com a ordem de tamanho e separação, por meio da agitação e vibração do fertilizante no reservatório da adubadora, afetando a sua homogeneidade. Ainda os mesmos autores citam os inúmeros problemas da heterogeneidade, bem como, desuniformidade na distribuição dos adubos, dificuldade em regulagens na adubadora devido aos diferentes tamanhos dos nutrientes e segregação de formulados.

### 4.1.3 Ângulo de repouso

O maior ângulo de repouso obtido foi para o nutriente potássio, tanto no peso de 1 kg quanto de 2 kg, em contrapartida o menor ângulo foi adquirido pela ureia protegida em ambos os pesos, porém o cloreto de potássio apresentou o maior ângulo de repouso em ambos os pesos. Quanto menor o ângulo de repouso maior é escoamento ou fluidez do fertilizante na adubadora, ou seja, são inversamente proporcionais (Tabela 4).

**Tabela 4.** Ângulo de repouso dos nutrientes (N-P-K).

NUTRIENTE	PESO (kg)	ÂNGULO DE REPOUSO (°)
Ureia protegida - N	1	24,5
MAP - P	1	27,8
Cloreto de potássio - K	1	32,8
Ureia protegida - N	2	29,9
MAP - P	2	32,2
Cloreto de potássio - K	2	36,0

N: Nitrogênio; P: Fósforo; K: Potássio.

Campos (2012) relatou que quanto maior o ângulo de repouso menor é a fluidez dos grânulos de fertilizante, devido às partículas possuírem maior coesão entre elas, assim sendo verifica-se pouco escoamento do produto distribuído, contudo grânulos com menor ângulo de repouso apresentam menor aderência entre os mesmos, em contrapartida maior fluidez.

Conforme a Enciclopédia Agrícola Brasileira (1995) citada por Milan e Gadanha Júnior (1996) definem que fertilizantes com ângulo de repouso maior que 50°, apresentam pouca taxa de aplicação por causa da menor fluidez do adubo, todavia ângulo de repouso menor que 40° indica maior escoamento do produto distribuído.

Assim sendo, nenhum dos fertilizantes estudados tiveram ângulos de repouso maiores que 40°, demonstrando que estes possuem excelente fluidez na adubadora, sendo aplicados sobre o solo com maior facilidade. Diante disso, a ureia protegida obteve menores ângulos de repouso apresentando melhor distribuição e o cloreto de potássio maior ângulo em relação ao MAP e ureia protegida, mesmo assim não foi

superior a 40°. E, além disso, entre os pesos de 1 kg e 2 kg houve diferença de quase 5° na ureia protegida e no MAP, enquanto no cloreto de potássio apresentou 3°.

## 4.2 Eficiência da máquina

### 4.2.1 Análise descritiva e controle estatístico de processo

#### 4.2.1.1 Adubação mecanizada com ureia protegida

A análise descritiva da ureia protegida - lado esquerdo (Tabela 2) o tratamento 2 (operação conjugada) apresentou maior média (450,59 kg ha<sup>-1</sup>) dos dados coletado, enquanto o tratamento 1 e 3 (duas operações) ficaram próximos, de modo que, a maior dispersão observada foi no tratamento 1 (apenas adubação mecanizada) por meio do desvio padrão, em relação, aos valores da média ficaram relativamente próximos aos da mediana. Quanto ao coeficiente de variação todos os tratamentos tiveram coeficientes de variação médios variando de 10,59% a 13,29% e alto 20,48% conforme a classificação de Gomes e Garcia (2002).

**Tabela 5.** Análise descritiva da ureia protegida - lado esquerdo.

TRAT	Média*	M	$\sigma$	CV	Amp	Cs	Ck	RJ	P
1	388,70 b	376,50	79,60	20,48	461,60	0,24	3,81	0,923	<0,010 <sup>A</sup>
2	450,59 a	448,52	47,73	10,59	186,99	0,04	-0,57	0,991	>0,100 <sup>N</sup>
3	388,77 b	397,56	51,66	13,29	309,12	-1,58	6,73	0,914	<0,010 <sup>A</sup>

TRAT: Tratamento; M: mediana;  $\sigma$ : desvio padrão; CV: coeficiente de variação; Amp: amplitude; Cs: coeficiente de assimetria; Ck: coeficiente de curtose; RJ: teste de normalidade de Ryan-Joiner; P: valor de probabilidade por meio do teste de Ryan-Joiner; A: distribuição assimétrica com  $p < 0,05$ .

\*Médias seguidas de mesma letra não possuem diferença estatística, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

O coeficiente de assimetria (Cs) para os tratamentos 1 e 2 expressaram distribuição assimétrica positiva (Cs > 0), com intensidade moderada e pequena, respectivamente. Porém, o tratamento 3 apresentou distribuição assimétrica negativa (Cs < 0) com o elevado grau de assimetria ( $|Cs| > 1$ ). Em relação, aos coeficientes de curtose (Ck) os tratamentos 1 e 3 demonstraram distribuição

leptocúrtica ( $C_k > 0$ ) com os dados mais concentrados, no entanto o tratamento 2 demonstrou distribuição platicúrtica ( $C_k < 0$ ).

Noronha et al. (2011), relataram pela análise descritiva de seu experimento as medidas de assimetria, sendo que, os  $C_s$  apresentaram distribuições assimétricas positivas e negativas, em relação aos  $C_k$  contendo valores próximos a 0, logo esses coeficientes serviram como parâmetros para constatar a distribuição dos dados, possibilitando verificar normalidade ou não das variáveis.

Os valores da média, mediana, desvio padrão deste presente trabalho foram maiores em relação ao trabalho de Sugisawa (2004) avaliando a adubação de cobertura no trigo, porém o coeficiente de assimetria observado neste foi menor comparado com o dado obtido pelo autor mencionado.

Os testes de normalidade de Ryan-Joiner, ao nível de 5%, nos tratamentos 1 e 3 foram assimétricos, não possuindo normalidade para ambos os lados, contudo no tratamento 2 apresentaram normalidade em seus dados (Tabela 5).

Noronha et al. (2011) em trabalho analisando a colheita mecanizada verificaram em algumas variáveis anormalidade no teste de normalidade, sendo que os testes de hipóteses, tais como, Shapiro-Wilk ou Ryan-Joiner, Anderson-Darling e Kolmogorov-Smirnov analisam com severidade a normalidade das variáveis, e, na maioria das vezes, esses testes rejeitam a hipótese de normalidade.

Tanto na carta de controle de valores individuais (Figura 15 a) quanto de amplitude móvel (Figura 15 b) para ureia protegida - lado esquerdo foi verificado menor variabilidade no tratamento 3, sendo duas operações – aplicação separada de adubo e herbicida, contudo a maior variabilidade observada foi no tratamento 1 – apenas adubação mecanizada, e ainda, nestes tratamentos observou-se pontos fora dos limites de controle, deixando o processo com instabilidade, porém esse processo não é considerado inviável em virtude dos valores estarem dentro da margem admissível dos 11% para o processo ser aceitável, ademais estes apresentaram distribuição anormal.

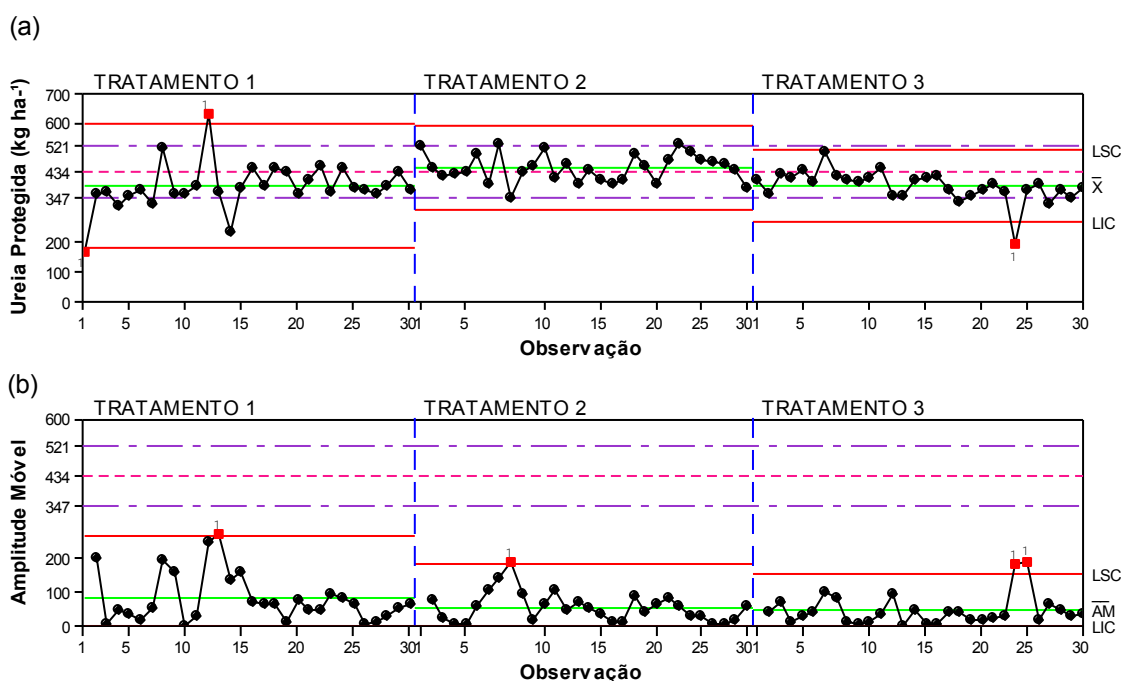
Nos limites específicos dos valores individuais (Figura 15 a) o tratamento 1 apresentou 5 pontos fora dos limites delimitados, nos tratamentos 2 e 3 tiveram 2 pontos acima do limite específico superior (LES). Na carta de controle de amplitude



móvel (Figura 15 b) em ambos os tratamentos os seus valores ficaram abaixo da margem aceitável, observando nenhum ponto entre estes limites.

Os pontos que ficaram fora de controle deixaram o processo com maior instabilidade, ou seja, diminuindo a qualidade operacional. A carta de controle avaliou a qualidade da operação por meio da variabilidade dos valores, assim, pode-se dizer que a qualidade é inversamente proporcional a variabilidade, quanto maior a qualidade menor é a variabilidade.

### UREIA PROTEGIDA - LADO ESQUERDO



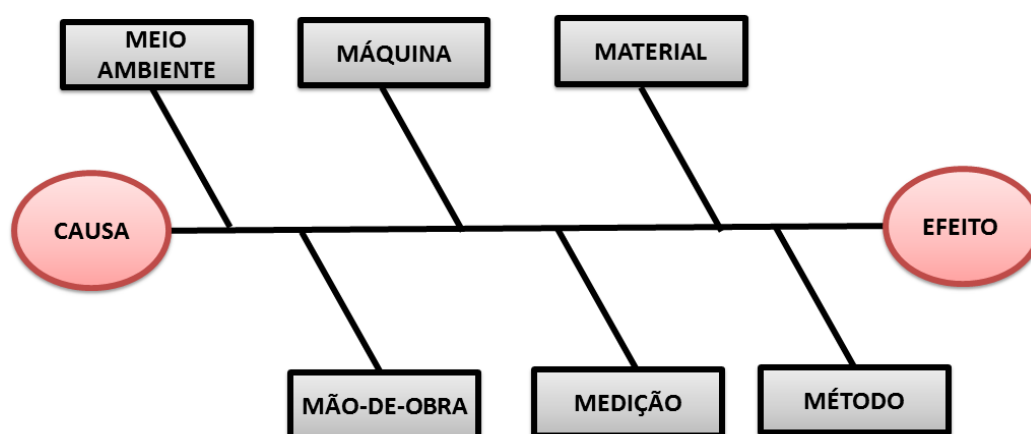
LSC: Limite Superior de Controle;  $\bar{X}$ : Média dos valores individuais; LES: Limite Específico Superior; LEI: Limite Específico Inferior; LIC: Limite Inferior de Controle;  $\bar{AM}$ : Média da amplitude móvel individual.

**Figura 15.** Carta de controle de ureia protegida do lado esquerdo.

Os pontos de controle fora dos limites superior e inferior (LSC e LIC) podem ser explicados por meio das causas especiais ocorridas durante a condução deste experimento, sendo denominadas diagrama de causa efeito, espinha de peixe ou fatores 6Ms (Figura 16), sendo: Meio ambiente – solo, umidade, textura do solo e palhada da cultura; Máquina – mecanismo dosador eixo helicoidal, regulagem, embuchamento, reservatório/abastecimento e diferentes dosagens aplicadas de N-

P-K; Material – caracterização do adubo por meio da granulometria, ângulo de repouso e densidade; Mão-de-obra – pós-graduandos, funcionários da Unesp-Câmpus de Jaboticabal e operadores; Medição – tempo de coleta dos adubos, diferentes dosagens distribuídas, plantio e adubação sem piloto automático; e Método – variabilidade, qualidade operacional e Controle Estatístico de Processo.

## DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO



**Figura 16.** Diagrama de causa e efeito ou espinha de peixe ou fatores 6 Ms.

Assim, o abastecimento do reservatório com os fertilizantes - NPK; maior quantidade aplicada de ureia protegida (N) comparado ao MAP (P) e cloreto de potássio (K), sendo que a ureia protegida por ter aplicado maiores quantidades foi primeiro nutriente acabar no reservatório tendo a necessidade de reabastecimento. Para a ureia protegida foi constatada maior variabilidade nos dados em relação ao MAP e cloreto de potássio (Tabelas 5 e 6), em virtude da ureia protegida possuir menor ângulo de repouso equivalendo maior fluidez deste na adubadora, e ainda por possuir menor densidade, ocupando mais espaço no reservatório da adubadora do que os demais fertilizantes analisados, por isso a ureia foi depositada em maior proporção sobre o solo.

Em determinados momentos durante a condução do experimento, ocorreram embuchamentos nos discos recortados com a palhada de cana-de-açúcar, ocasionando menor velocidade do trator, patinagem, maior força exigida pelo trator, proporcionando maior consumo de combustível e fluxo de óleo dos equipamentos

agrícolas, fato este que pode ter influenciado maior distribuição da ureia protegida. E, além disso, este fertilizante possui o menor ângulo de repouso comparado ao MAP e cloreto de potássio, demonstrando maior facilidade e melhor distribuição dos fertilizantes, pois quanto menor esse ângulo maior é o escoamento do fertilizante no mecanismo dosador da adubadora.

Reynaldo (2013) testou vários tipos de eixos helicoidais fabricado no Brasil, sendo os mais usados em semeadoras-adubadoras. De acordo com o autor, esses mecanismos dosadores demonstraram ineficiência na distribuição dos adubos em declividade longitudinal, principalmente, a 5 e 15° com base no eixo de rotação desse mecanismo.

A análise descritiva da ureia protegida - lado direito (Tabela 6) obteve maior média (480,80 kg ha<sup>-1</sup>) no tratamento 2 (operações conjugadas), mas o tratamento 3 (duas operações) teve a menor média (443,07 kg ha<sup>-1</sup>) representando que este tratamento teve o valor mais próximo da dosagem estipulada, os valores da mediana ficaram próximos aos das médias, o desvio padrão superior no tratamento 1 tendo os dados mais dispersos em relação ao tratamento 3. Com relação aos coeficientes de variação dos tratamentos 2 e 3 apresentaram coeficiente de variação médio, enquanto o tratamento 1 foi alto conforme a classificação de Gomes e Garcia (2002).

**Tabela 6.** Análise descritiva da ureia protegida - lado direito.

TRAT	Média*	M	$\sigma$	CV	Amp	Cs	Ck	RJ	P
1	447,90 a	450,20	103,60	23,14	636,80	-0,68	5,68	0,913	<0,010 <sup>A</sup>
2	480,80 a	483,90	60,30	12,54	306,60	-1,51	4,25	0,933	<0,010 <sup>A</sup>
3	443,07 a	442,20	53,05	11,97	315,01	-1,28	6,62	0,899	<0,010 <sup>A</sup>

TRAT: Tratamento; M: mediana;  $\sigma$ : desvio padrão; CV: coeficiente de variação; Amp: amplitude; Cs: coeficiente de assimetria; Ck: coeficiente de curtose; RJ: teste de normalidade de Ryan-Joiner; P: valor de probabilidade por meio do teste de Ryan-Joiner; A: distribuição assimétrica com  $p < 0,05$ .

\*Médias seguidas de mesma letra não possuem diferença estatística, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

O coeficiente de variação - CV serve como parâmetro de qualidade para os experimentos, de modo que trabalhos conduzidos no campo possuem as notas de CV, sendo: menor ou igual a 10% (CV é baixo); entre 10 e 20% (CV médio); 20 a 30% (CV alto); e acima de 30% (CV é muito alto). Ainda esses autores relatam o CV para os experimentos realizados em laboratório, normalmente, apresentam CV baixo, pois neste local alguns fatores podem ser controlados, tais como,

temperatura, luminosidade, umidade dentre outras, enquanto que em trabalhos de campo estes fatores interferem (GOMES; GARCIA, 2002).

Contudo para Barbosa (2014), o CV adequado para experimentos realizados no campo, normalmente, entre 10 a 20%, enquanto, na área de entomologia os trabalhos, frequentemente, possuem CV maiores que 30%.

Para o coeficiente de assimetria todos os tratamentos possuíram distribuição assimétrica negativa ( $C_s < 0$ ), com intensidade moderada ( $0,15 < |C_s| < 1$ ) e elevada ( $C_k > 1$ ). Assim, o coeficiente de curtose apresentou distribuição leptocúrtica ( $C_k > 0$ ) para todos os tratamentos, verificando dados mais concentrados (Tabela 3). Em virtude, dos valores dos coeficientes de assimetria e curtose estarem afastados de zero, possuindo alto grau de assimetria e estes sendo indicativo de normalidade ou não, por consequência, o teste de normalidade de Ryan-Joiner, ao nível de 5%, apresentou assimetria em ambos os tratamentos (Tabela 6).

O coeficiente de assimetria ( $C_s$ ) demonstra a disposição dos dados em relação à média sendo o local de simetria. De modo que, determina-se o  $C_s$  como:  $C_s = 0$  distribuição simétrica;  $C_s < 0$  distribuição assimétrica negativa ou à esquerda; e  $C_s > 0$  distribuição assimétrica positiva ou à direita. E ainda, pode-se verificar a intensidade da assimetria por meio do  $C_s$ , sendo:  $|C_s| < 0,15$  tem-se distribuição com assimetria pequena;  $|C_s|$  entre 0,15 e 1 distribuição com assimetria moderada; enquanto  $|C_s| > 1$  possui elevada distribuição assimétrica (GUIMARÃES, 2004; ZERBATO, 2013).

Para o coeficiente de curtose ( $C_k$ ) verifica-se a constância da dispersão dos valores, tendo como referência a curva normal ou mesocúrtica sendo padrão. Podendo ser apresentado por curvas alongadas, achatadas e normais. Em certos programas computacionais como o Minitab®, Statistica, Excel entre outros, tem-se padronização na medida do  $C_k$ , da maneira que  $C_k > 0$  distribuição leptocúrtica, curva alongada e dados mais aglomerados;  $C_k < 0$  distribuição platicúrtica, valores mais distribuídos e curva mais achatada; e distribuição mesocúrtica, tendo curva normal com o  $C_k = 0$  (GUIMARÃES, 2004; ZERBATO, 2013).

De acordo com os resultados encontrados por Zerbato et al. (2014), foi verificado assimetria no teste de normalidade por meio do Anderson-Darling nos parâmetros de perdas para amendoim. Os mesmos citam que os valores dos

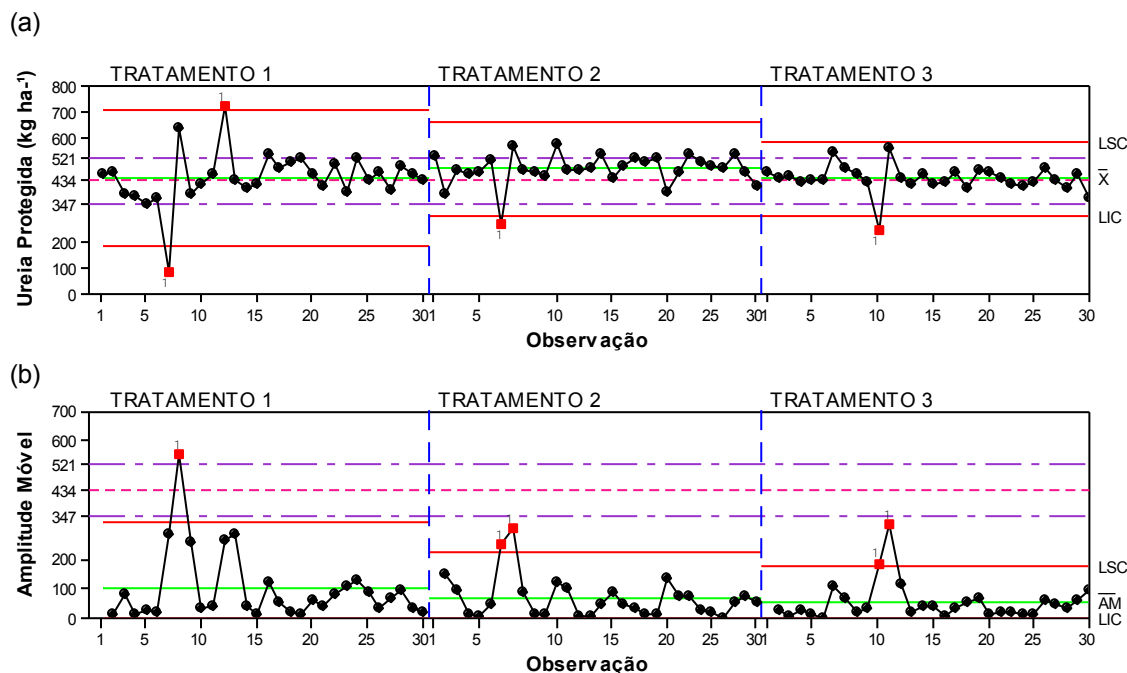
coeficientes de curtose e assimetria foram maiores que 0, sendo que o  $C_s$  apresentou distribuição assimétrica positiva ( $C_s > 0$ ) e elevada intensidade de assimetria ( $|C_s| > 1$ ), enquanto o  $C_k$  possuiu distribuição leptocúrtica tendo curva alongada e com dados mais aglomerados.

Para a carta de controle tanto com valores individuais (Figura 17 a) quanto de amplitude móvel (Figura 17 b) de ureia protegida - lado direito a menor variabilidade apresentada foi no tratamento 3 (duas operações) todavia o tratamento 1 (apenas adubação mecanizada) expressou a maior variabilidade, por consequência, menor qualidade operacional (Figura 17 a), ademais houve pontos fora, ocasionados por alguma causa especial, podendo ser regulagem inadequada, embuchamento, adubação sem a utilização do piloto automático, entre outros.

Em todos os tratamentos foram observados pontos fora de controle, causando desestabilidade no processo como também diminuindo a qualidade operacional deste e ainda estes apresentaram distribuição anormal, porém foram considerados aceitáveis por terem menos de 3 pontos fora de controle de acordo com 11% dos 30 pontos amostrais por tratamento. Assim, quando pontos fora de controle são encontrados no processo, recomenda-se solucionar o mais rápido o problema ocorrido, tentando minimizar a atuação de causas especiais no processo por meio do monitoramento, visando o aumento da qualidade operacional.

Sobre os dados fora dos limites específicos de controle (LEC) das cartas individuais dos tratamentos 1, 2 e 3 obtiveram, respectivamente, 5, 8 e 3 dados (Figura 17 a). Já na amplitude móvel (Figura 17 b) em ambos os tratamentos não foi encontrado nenhum dado fora dos limites específicos de controle, verificando que estes ficaram abaixo do LEC, devido a uma das causas a não utilização do piloto automático na adubação.

## UREIA PROTEGIDA - LADO DIREITO



LSC: Limite Superior de Controle;  $\bar{X}$ : Média dos valores individuais; LES: Limite Específico Superior; LEI: Limite Específico Inferior; LIC: Limite Inferior de Controle;  $\overline{AM}$ : Média da amplitude móvel individual.

**Figura 17.** Carta de controle para operação conjugada, sendo aplicação simultânea de herbicida e adubação individualizada com ureia protegida.

As causas especiais desestabilizam o processo deixando pontos fora do controle, acarretando inconstância ao processo. Na maioria das vezes, consegue-se eliminar as mesmas, porém, em alguns processos é necessário adotar medidas mais expressivas reparando a falha cometida durante a operação, por meio de monitoramento, verificando as possíveis causas pelo diagrama de causa e efeito, visando menor efeito destas causas (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2005).

Provavelmente umas das principais causas especiais encontradas foi no mecanismo dosador por não possuir precisão na distribuição dos fertilizantes.

Os eixos helicoidais com passo de rosca inferior a 2" expressaram alta variação na distribuição de adubos, como por exemplo, PLASA 1 (12,4%) e SEMAN 1 (26,1%), em relação aos mecanismos dosadores com passo de rosca superior a 2", os valores ficaram mais baixos como o PROT 2 cerca de 10,4% (Reynaldo,

2013). Assim foi verificado pelo autor que o tamanho do passo da rosca helicoidal pode influenciar a distribuição de fertilizantes.

Suguisawa (2004) também encontrou resultado semelhante a este, em trabalho em que foi avaliada a qualidade operacional da distribuição de fertilizantes, assim nas cartas de controle tanto de valores individuais quanto amplitude móvel apresentou pontos fora de controle, ocasionando inconstância no processo, com desuniformidade na aplicação de ureia, influenciando a qualidade e quantidade dos grãos de trigo produzidos, de modo que, a dosagem aplicada de adubo está diretamente relacionada com a produtividade desejada.

Costa; Epprecht e Carpinetti (2005) mencionaram que pontos fora de controle são influenciados por causas especiais, estas por sua vez, movem os valores devido ao acréscimo da dispersão nestes. Os mesmos autores relataram que esta causa ocasiona irregularidade no processo e deve ser reparada e reduzida após a identificação do problema ou falha.

Voltarelli (2013) relatou quando os valores ficam distribuídos entre os LSC (Limite Superior de Controle) e LIC (Limite Inferior de Controle) nas cartas de amplitude móvel como de valores individuais, considera-se que os dados estão estáveis. Contudo, os pontos fora dos limites de controle, sendo ocasionados por causas especiais, não aleatórias denominadas extrínsecas.

#### **4.2.1.2 Adubação mecanizada com MAP - Fosfato Monoamônio**

A análise descritiva de MAP - lado esquerdo, o tratamento 3 (duas operações) obteve a menor média, no entanto a maior média no tratamento 2 (operação conjugada), ficando perto da dosagem recomendada, sobre os valores da mediana ficaram próximos à média. Em relação, ao desvio padrão o tratamento 1 apresentou maior dispersão, tendo maior desvio porém o tratamento 3 teve o menor desvio, obtendo dados mais concentrados, por isso, o CV do tratamento 1 (29,03%) foi maior em relação aos demais (24,97% e 27,33%), devido à variabilidade dos dados (Tabela 7).

**Tabela 7.** Análise descritiva do MAP - lado esquerdo.

TRAT	Média*	M	$\sigma$	CV	Amp	Cs	Ck	RJ	P
1	139,82 ab	139,40	40,59	29,03	168,46	-0,26	0,08	0,987	>0,100 <sup>N</sup>
2	155,65 a	158,77	38,87	24,97	197,94	-1,11	2,61	0,958	0,033 <sup>A</sup>
3	120,78 b	120,45	33,01	27,33	137,29	-0,38	0,53	0,982	>0,100 <sup>N</sup>

TRAT: Tratamento; M: mediana;  $\sigma$ : desvio padrão; CV: coeficiente de variação; Amp: amplitude; Cs: coeficiente de assimetria; Ck: coeficiente de curtose; RJ: teste de normalidade de Ryan-Joiner; P: valor de probabilidade por meio do teste de Ryan-Joiner; A: distribuição assimétrica com  $p < 0,05$ .

\*Médias seguidas de mesma letra não possuem diferença estatística, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Os coeficientes de assimetria (Cs) para os três tratamentos expressaram distribuição assimétrica negativa ( $Ck < 0$ ) com intensidade de assimetria moderada ( $0,15 < |Cs| < 1$ ) e elevada ( $|Cs| > 1$ ). Para o coeficiente de curtose (Ck) estes tratamentos obtiveram distribuições leptocúrtica ( $Ck > 0$ ), com dados mais concentrados (Tabela 7).

O coeficiente de assimetria demonstra o posicionamento de certo dado mensurando com base na média ou dado central. Assim, quando se tem distribuição simétrica os dados são proporcionalmente divididos em duas partes, ou seja, 50% de um lado e 50% no outro, ficando situados entorno do dado central, porém na distribuição assimétrica não possui a mesma disposição dos dados quanto da simétrica. Com relação ao coeficiente de curtose a curva pode ser achatada, simétrica ou alongada, de acordo com a distribuição dos valores (GUIMARÃES, 2004).

Reis (2009) relatou as medidas de assimetria, sendo a maioria dos mesmos, os Cs apresentaram distribuição assimétrica positiva ( $Cs > 0$ ) e negativa ( $Cs < 0$ ), quanto aos Ck distribuição leptocúrtica ( $Ck > 0$ ) com dados mais concentrados e platicúrtica ( $Ck < 0$ ) - dados mais dispersos. Ainda mencionou os resultados dos Cs das variáveis por perdas de toco e lasca em cana de açúcar, sendo que os valores ficaram em torno de 0, considerando-os como distribuições simétricas ( $Cs = 0$ ) de pequena a moderada, todavia as outras variáveis demonstraram distribuições assimétricas.

Assim, o teste de normalidade por Ryan-Joiner, ao nível de 5%, verificou normalidade entre os tratamentos 1 e 3, observando que os coeficientes de assimetria e curtose tiveram valores próximos a zero, em contrapartida o tratamento



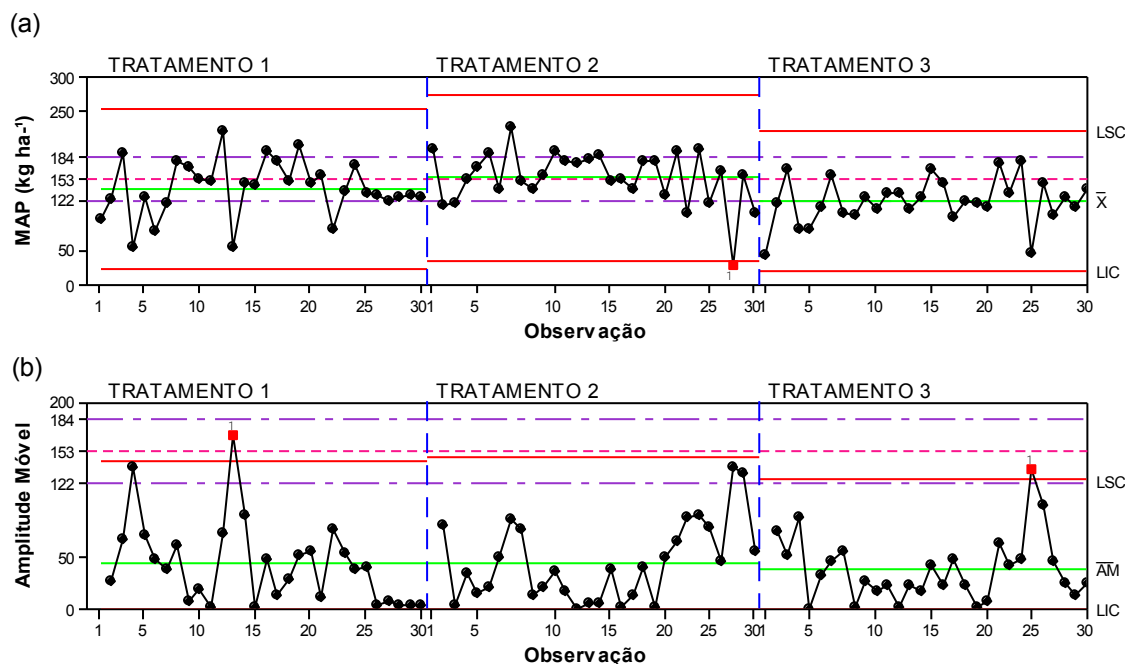
2 obteve anormalidade no teste, averiguando que os valores desses coeficientes ficaram distantes de zero (Tabela 7). Além dessas informações outras medidas relevantes para obter distribuição normal como a média igual a 0 e variabilidade constante dos dados.

Reis (2009) aplicou o teste de normalidade utilizando Anderson-Darling, ao nível de 5%, para variável desgaste das facas de corte basal de colhedoras de cana-de-açúcar obtendo distribuição normal, o mesmo salienta a normalidade do teste, por consequência, dos resultados obtidos nas medidas de assimetria ( $C_s$  e  $C_k$ ), com valores próximos a 0 e distribuição simétrica.

Para a carta de controle tanto os valores individuais (Figura 19 a), quanto amplitude móvel (Figura 19 b) de MAP do lado esquerdo, o tratamento 3 (duas operações separadas) apresentou menor variabilidade com atuação apenas das causas naturais sendo inerentes ao processo, e ainda o processo ficou estável pois todos os pontos ficaram entre os limites de controle, enquanto ao tratamento 2 (operação conjugada) demonstrou maior variabilidade como também menor qualidade por um ponto fora de controle. Apenas o tratamento 2 apresentou distribuição normal.

Os dados fora dos limites específicos de controle (LEC) das cartas dos valores individuais os tratamentos 1, 2 e 3 obtiveram, respectivamente, 11, 13 e 14 dados (Figura 18 a). Na amplitude móvel (Figura 18 b) os tratamentos 1 e 2 obtiveram dois pontos dentro do LEC e no tratamento 3 apenas 1 ponto dentro do limite, os demais ficaram abaixo deste, provavelmente uma das possíveis causas de ocorrência foi o erro na regulagem.

## MAP - LADO ESQUERDO



LSC: Limite Superior de Controle;  $\bar{X}$ : Média dos valores individuais; LES: Limite Específico Superior; LEI: Limite Específico Inferior; LIC: Limite Inferior de Controle;  $\bar{AM}$ : Média da amplitude móvel individual.

**Figura 18.** Carta de controle de MAP do lado esquerdo.

As cartas de controle de MAP de valores individuais os tratamentos 1 e 3 obtiveram processos estáveis (Figura 18 a), sem atuação de causas especiais, apenas de causas naturais, porém na amplitude móvel esses tratamentos possuíam pontos fora de controle (Figura 18 b). Assim, apresentou resultado satisfatório diante a análise dos outros fertilizantes que possuem pontos fora de controle, porém o cloreto de potássio obteve menor variabilidade, por consequência maior qualidade na operação, apesar de alguns pontos fora de controle e demonstrou maior ângulo de repouso em relação aos fertilizantes analisados.

Reis (2009) obteve resultado semelhante, analisando as perdas na colheita mecanizada em cana-de-açúcar nas cartas de controle de valores individuais que algumas variáveis obtiveram o processo sob controle, contudo nas cartas de amplitude móvel os valores ficaram afastados dos limites de controle, obtendo processo instável.

Milan e Fernandes (2002) também aplicaram o CEP (Controle Estatístico de Processo) nas operações de preparo do solo e verificaram menor variabilidade dos dados por meio do controle das cartas de processo e histogramas, ficando próximos aos Limites Específicos de Controle. Esses autores enfatizaram o quanto foi significativo e relevante à utilização do CEP no preparo do solo, facilitando o acompanhamento da qualidade operacional.

Na análise descritiva do MAP - lado direito, as médias ficaram próximas umas das outras estatisticamente, não diferindo, sobre os valores da mediana ficaram próximos aos das médias, os dados do desvio padrão permaneceram próximos dos demais, diferindo em torno de 6,91. Para os coeficientes de variação foram classificados em médio e alto conforme a classificação Gomes e Garcia (2002), diferindo com os valores próximos a 6,59% entre os tratamentos analisados (Tabela 8).

**Tabela 8.** Análise descritiva do MAP - lado direito.

TRAT	Média*	M	$\sigma$	CV	Amp	Cs	Ck	RJ	P
1	171,57 a	173,51	37,53	21,88	202,15	-0,36	2,32	0,963	0,049 <sup>A</sup>
2	172,92 a	179,41	30,62	17,71	147,40	-1,61	3,92	0,930	<0,010 <sup>A</sup>
3	152,12 a	160,03	36,96	24,30	137,29	-0,32	-0,63	0,990	>0,100 <sup>N</sup>

TRAT: Tratamento; M: mediana;  $\sigma$ : desvio padrão; CV: coeficiente de variação; Amp: amplitude; Cs: coeficiente de assimetria; Ck: coeficiente de curtose; RJ: teste de normalidade de Ryan-Joiner; P: valor de probabilidade por meio do teste de Ryan-Joiner; A: distribuição assimétrica com  $p < 0,05$ .

\*Médias seguidas de mesma letra não possuem diferença estatística, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

O coeficiente de assimetria (Cs) manifestaram em ambos os tratamentos distribuição assimétrica negativa ( $Cs < 0$ ) com elevada intensidade de assimetria no tratamento 2 ( $|Cs| > 1$ ) e moderada nos tratamentos 1 e 3 ( $0,15 < |Cs| < 1$ ). Em relação, ao coeficiente de curtose (Ck) houve distribuição leptocúrtica ( $Ck > 0$ ) nos tratamentos 1 e 2, com dados mais concentrados, enquanto o tratamento 3 obteve distribuição platicúrtica, tendo dados mais dispersos (Tabela 8).

O teste de normalidade por intermédio do Ryan-Joiner no tratamento 3 apresentou distribuição normal, porém nos tratamentos 1 e 2 expressaram assimetria. Os valores dos coeficientes de assimetria e curtose mais distantes de zero, possivelmente resultarão em distribuição assimétrica, como foi neste caso.

Chioderoli et al. (2012) verificaram para a variável número de vagens em soja, que o coeficiente de assimetria manifestou-se distribuição assimétrica positiva ( $C_s > 0$ ) e elevado grau de assimetria ( $|C_s| > 1$ ). E ainda, os mesmos relataram para o coeficiente de curtose distribuição leptocúrtica ( $C_k > 0$ ) possuindo curva alongada, por consequência, o teste de normalidade foi assimétrico.

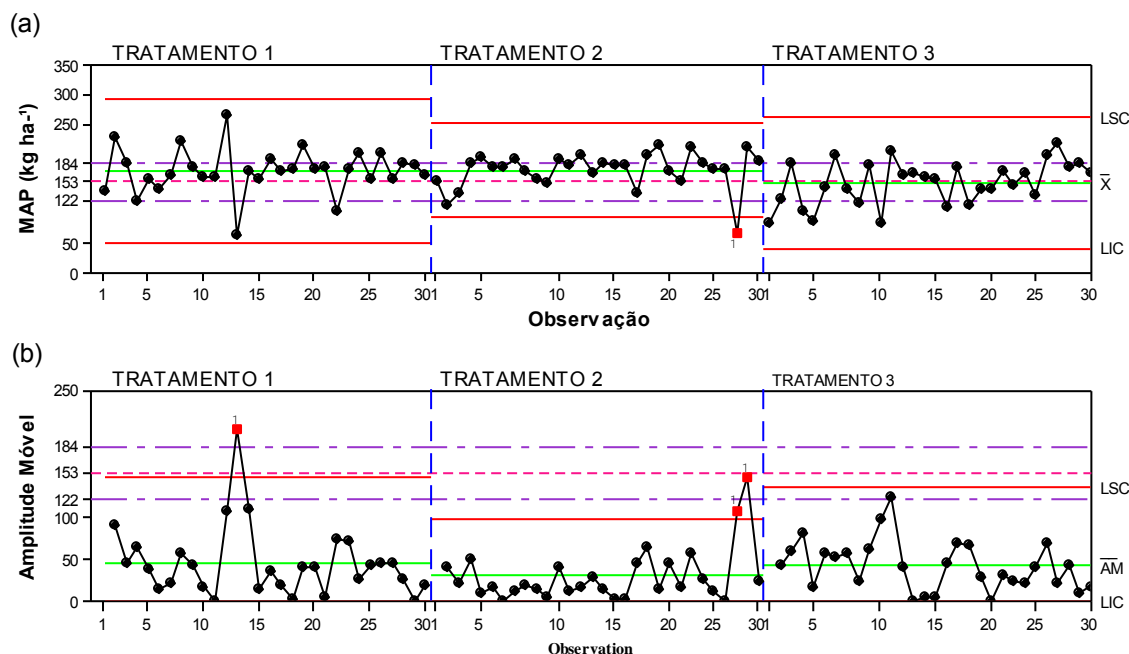
Zerbato (2013) constatou para os parâmetros força e potência na barra de tração, por meio do teste de normalidade utilizando Anderson-Darling distribuição normal, embora o  $C_k$  (Coeficiente de curtose) ter apresentado distribuição platicúrtica ( $C_k < 0$ ) tendo dados mais dispersos e curva achatada, em relação ao coeficiente de assimetria, houve distribuição assimétrica negativa ( $C_s < 0$ ), demonstrando pequeno grau de assimetria ( $|C_s| < 0,15$ ).

De acordo com os resultados obtidos por Chioderoli et al. (2012) averiguaram pelo teste de normalidade distribuição normal apenas nas variáveis consumo de combustível e potência do motor, apresentando por sua vez distribuição leptocúrtica ( $C_k > 0$ ) no coeficiente de curtose, contudo o coeficiente de assimetria foi assimétrico negativo ( $C_s < 0$ ) variando de moderado a elevado o grau de assimetria.

A carta de controle de valores individuais (Figura 19 a) e amplitude móvel (Figura 19 b) apresentaram menor variabilidade no tratamento 2 (operação conjugada), porém no tratamento 1 (apenas adubação mecanizada) foi observado maior variabilidade com menor qualidade operacional, ademais os pontos fora de controle foram ocasionados por alguma causa especial, possível pela deficiência na precisão do mecanismo dosador, inadequada regulagem na distribuição de fertilizante; embuchamento alterando a distribuição e a carga entre outros possíveis fatores. Apenas o tratamento 3 expressou distribuição normal e os demais tiveram anormalidade.

Referente aos limites específicos na carta de valores individuais, os tratamentos 1 e 3 apresentaram 14 pontos fora dos limites estipulados e no tratamento 2 foram 16 pontos (Figura 19 a), sendo que, nestas cartas de controle a maioria dos dados ficaram acima da dosagem estipulada, contudo na amplitude móvel (Figura 19 b) estes ficaram localizados abaixo do limite específico inferior, provavelmente pela baixa precisão do mecanismo helicoidal.

## MAP - LADO DIREITO



LSC: Limite Superior de Controle;  $\bar{X}$ : Média dos valores individuais; LES: Limite Específico Superior; LEI: Limite Específico Inferior; LIC: Limite Inferior de Controle;  $\overline{AM}$ : Média da amplitude móvel individual.

**Figura 19.** Carta de controle de MAP do lado direito.

Os gráficos de controle de Shewhart proporcionam o supervisionamento dos processos obtidos por meio das operações mecanizadas, possibilitando observar a interferência ou não das causas especiais sobre os dados (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2005).

Em experimento realizado por Sagawa e Yamada (2013), foi utilizado o CEP no qual certificaram por meio desse processo estatístico, o monitoramento mais eficaz do controle de qualidade por intermédio das variáveis de fermentação alcoólica, sobre as quais encontraram com facilidade as possíveis falhas ocorridas em operação.

Franck et al. (2015) analisaram a distribuição de adubos por meio da velocidade de acionamento e inclinação do dosador, mostrando como a declividade do terreno influencia a taxa de aplicação dos nutrientes de maneira diferenciada por dosador analisado. Os mesmos relataram que o eixo helicoidal - descarga por gravidade demonstrou maior vulnerabilidade em relação às inclinações transversais

e longitudinais, resultando baixa precisão na distribuição dos fertilizantes, enquanto o mecanismo helicoidal – descarga por transbordo transversal obteve melhor distribuição dos adubos.

#### 4.2.1.3 Adubação mecanizada com cloreto de potássio

A análise descritiva do cloreto de potássio – lado esquerdo, a maior média encontrada foi no tratamento 2 (operação conjugada), porém o tratamento 3 (duas operações) obteve a menor média, quanto aos valores da mediana ficaram próximos aos da média. O tratamento 1 obteve o maior desvio padrão, expressando alta dispersão dos dados em relação aos demais tratamentos, por isso, o CV deste tratamento foi mais alto (12,55%) quando comparado aos demais, devido à variabilidade dos dados (Tabela 9).

**Tabela 9.** Análise descritiva do cloreto de potássio - lado esquerdo.

TRAT	Média*	M	$\sigma$	CV	Amp	Cs	Ck	RJ	P
1	262,99 b	265,32	33,02	12,55	120,45	0,41	-0,61	0,982	>0,100 <sup>N</sup>
2	300,61 a	291,43	31,98	10,64	118,76	0,75	-0,06	0,966	0,064 <sup>N</sup>
3	241,15 c	241,73	27,97	11,60	152,45	0,40	2,68	0,957	0,032 <sup>A</sup>

TRAT: Tratamento; M: mediana;  $\sigma$ : desvio padrão; CV: coeficiente de variação; Amp: amplitude; Cs: coeficiente de assimetria; Ck: coeficiente de curtose; RJ: teste de normalidade de Ryan-Joiner; P: valor de probabilidade por meio do teste de Ryan-Joiner; A: distribuição assimétrica; N: distribuição normal com  $p > 0,05$ .

\*Médias seguidas de mesma letra não possuem diferença estatística, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Os coeficientes de assimetria (Cs) para os três tratamentos manifestaram distribuição assimétrica positiva ( $Cs > 0$ ), com moderado grau de assimetria ( $0,15 < |Cs| < 1$ ). Para o coeficiente de curtose (Ck) os tratamentos 1 e 2, demonstraram distribuição platicúrtica ( $Ck < 0$ ) com dados dispersos, obtendo uma curva achatada, não obstante o tratamento 3 obteve distribuição leptocúrtica ( $Ck > 0$ ) com dados mais aglomerados, formando uma curva alongada.

De acordo com o teste de normalidade, por meio de Ryan-Joiner, ao nível de 5%, os tratamentos 1 e 2 possuíram normalidade, enquanto o tratamento 3 teve assimetria. Assim, nos tratamentos 1 e 2 os coeficientes de assimetria e curtose ficaram próximos a 0, apresentando distribuição normal, já o tratamento 3

apresentou valores mais altos, repercutindo com uma distribuição assimétrica, obtendo valores mais dispersos.

Silva et al. (2013), também constataram que algumas das variáveis analisadas possuíam distribuição normal pelo teste de normalidade, logo as mesmas, apresentaram na análise descritiva, valores da mediana próximos ao da média; o desvio padrão com baixo valor; o Cs com distribuição assimétrica positiva ( $Cs > 0$ ) e pequena ( $|Cs| < 0,15$ ), o Ck apresentou distribuição leptocúrtica ( $Ck > 0$ ), isto é, dados mais concentrados e platicúrtica ( $Ck < 0$ ) com valores concentrados. Esses autores ainda citaram as variáveis com distribuição assimétrica positiva ( $Cs > 0$ ) e elevada ( $|Cs| > 1$ ), por consequência, o valor da média ficou afastado ao da mediana e a amplitude total com alta variabilidade.

Zerbato et al. (2014), constataram na avaliação de perdas na cultura do amendoim, para as variáveis consumo de combustível, horário e consumo efetivo por meio do teste de normalidade com Anderson-Darling distribuição normal, porém os outros parâmetros tiveram distribuição assimétricas, sendo eles, velocidade de deslocamento e capacidade de campo efetivo.

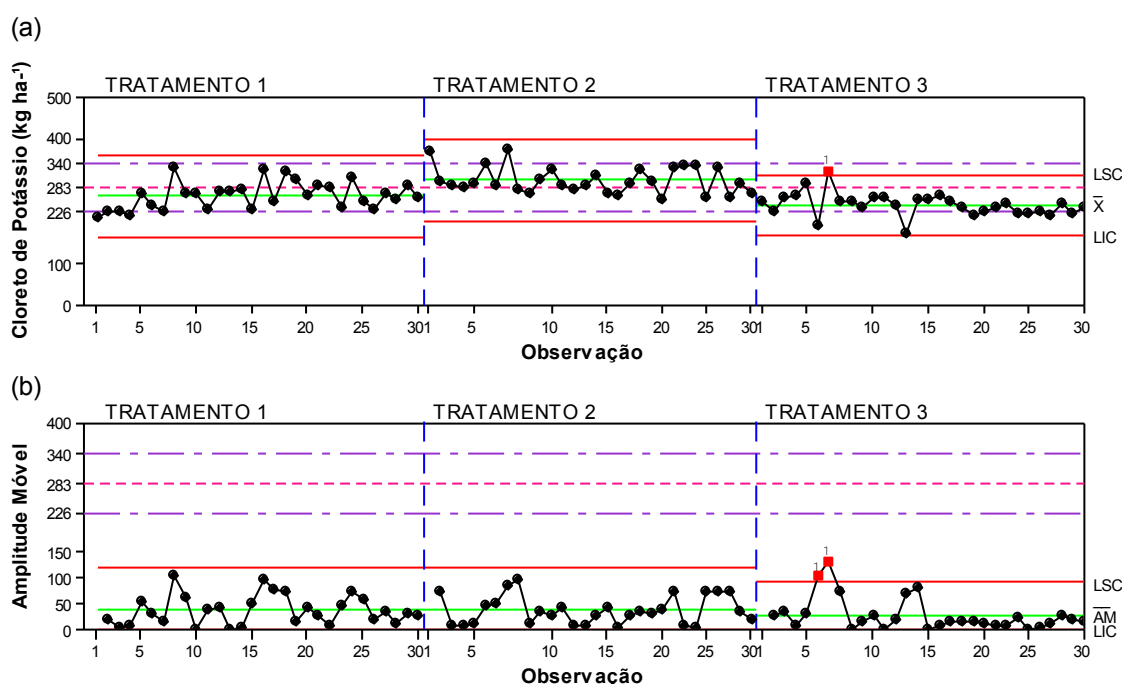
Em trabalho de campo foi analisado o desempenho operacional da colhedora em função do formato do talhão (trapezoidal, irregular e retangular), na cultura da soja, verificando as seguintes variáveis, rotação do cilindro (apenas no formato trapezoidal) e velocidade operacional (em todos os talhões avaliados) demonstraram distribuição normal pelo teste de normalidade. De modo que, valores próximos à zero no teste de normalidade por meio do Anderson-Darling, encontraram-se os melhores resultados em relação à distribuição dos dados ao longo da colheita (PAIXÃO, 2015).

A carta de controle os valores individuais (Figura 20 a) como de amplitude móvel (Figura 20 b) de cloreto de potássio lado esquerdo retrataram menor variabilidade no tratamento 3 (duas operações separadas), obtendo melhor qualidade na distribuição de fertilizantes, apesar de ter um ponto fora de controle deixando instável esse processo com distribuição assimétrica pelo teste de normalidade e aos demais tratamentos distribuição normal, porém o tratamento 1 teve maior variabilidade e menor qualidade devido a variabilidade, mesmo que o

processo tenha estabilidade, atuando apenas as causas naturais. Ademais, os pontos fora de controle podem ser explicados pelo diagrama de causa e efeito (Figura 16).

Para os limites específicos das cartas de controle dos valores individuais, os dados que ficaram fora destes foram 3, 4 e 2, correspondendo, respectivamente, ao tratamento 1, 2 e 3 (Figura 20 a). No entanto, na carta de controle de amplitude móvel nenhum dado ficou entre estes limites, ficando abaixo destes (Figura 20 b).

### CLORETO DE POTÁSSIO - LADO ESQUERDO



LSC: Limite Superior de Controle;  $\bar{X}$ : Média dos valores individuais; LES: Limite Específico Superior; LEI: Limite Específico Inferior; LIC: Limite Inferior de Controle;  $\bar{AM}$ : Média da amplitude móvel individual.

**Figura 20.** Carta de controle de cloreto de potássio lado esquerdo.

Pontos fora do controle (LSC e LIC) em cartas de processo, do mesmo modo foram encontrados por Silva et al. (2008), na operação de colheita mecanizada de cana-de-açúcar avaliando-se as perdas da mesma, onde foi verificado instabilidade do processo, diminuindo a qualidade operacional.

Voltarelli (2013), argumentou sobre as cartas de controle, tanto de amplitude móvel quanto de valores individuais, quando os pontos ficaram afastados dos LSC e LIC, ressaltando que os mesmos ficaram realçados na carta com cor diferente dos



demais pontos, com intuito, de facilitar a rápida identificação do erro ou falha, logo esses pontos, possivelmente, podem ter sido influenciados por causas especiais, deixando o processo instável. Todavia, o autor citou que quando todos os pontos estavam dentro dos limites de controle a carta possuiu boa qualidade operacional por não ter erros perceptíveis, isto é, o processo estava dentro do CEP contendo dados estáveis e sem causas especiais, porém esses valores sofreram apenas a influência das causas aleatórias.

Na análise descritiva de cloreto de potássio – lado direito (Tabela 10) o tratamento 2, apresentou maior média (306,73 kg ha<sup>-1</sup>) porém o tratamento 3 obteve o menor valor (281,52 kg ha<sup>-1</sup>). Quanto aos valores das medianas ficaram próximos das médias, o maior desvio padrão observado foi no tratamento 1, expressando maior dispersão nos dados em relação aos demais. A respeito do coeficiente de variação nos tratamentos 1 e 3 foi médio enquanto no tratamento 2 foi baixo conforme a classificação de Garcia e Gomes (2002).

**Tabela 10.** Análise descritiva de cloreto de potássio – lado direito.

TRAT	Média*	M	$\sigma$	CV	Amp	Cs	Ck	RJ	P
1	300,78 ab	291,85	41,62	13,84	208,04	2,43	7,79	0,870	<0,010 <sup>A</sup>
2	306,73 a	306,17	27,38	8,93	125,50	0,13	0,08	0,993	>0,100 <sup>N</sup>
3	281,52 b	277,11	32,84	11,67	151,61	1,35	2,66	0,940	<0,010 <sup>A</sup>

TRAT: Tratamento; M: mediana;  $\sigma$ : desvio padrão; CV: coeficiente de variação; Amp: amplitude; Cs: coeficiente de assimetria; Ck: coeficiente de curtose; RJ: teste de normalidade de Ryan-Joiner; P: valor de probabilidade por meio do teste de Ryan-Joiner; A: distribuição assimétrica; N: distribuição normal com  $p > 0,05$ .

\*Médias seguidas de mesma letra não possuem diferença estatística, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

O coeficiente de assimetria em ambos os tratamentos tiveram distribuição assimétrica positiva ( $Cs > 0$ ), de modo que, o grau de assimetria foi elevado ( $|Cs| > 1$ ) nos tratamentos 1 e 3, no entanto o tratamento 2 foi pequeno ( $|Cs| < 0,15$ ). Para o coeficiente de curtose os dois lados analisados apresentaram distribuição leptocúrtica ( $Ck > 0$ ) com valores mais concentrados em determinada região do gráfico.

Assim os coeficientes de Cs e Ck auxiliam como complemento para explicar o resultado do teste de normalidade simétrico ou não, ou seja, quanto mais próximo os

valores dos mesmos de zero, maior a probabilidade destes testes serem simétricos devido a distribuição simétricas dos dados (GUIMARÃES, 2004).

Com relação ao teste de normalidade utilizando Ryan-Joiner foi verificada distribuição assimétrica nos tratamentos 1 e 3, contudo o tratamento 2 apresentou normalidade (Tabela 10).

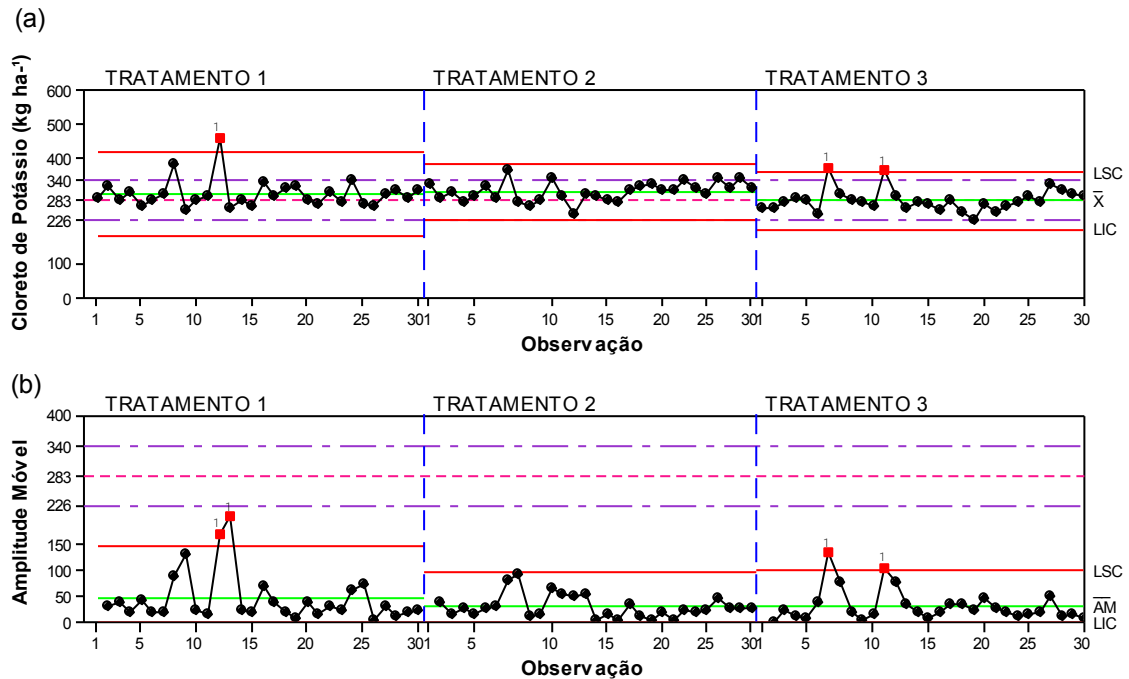
Silva et al. (2014), analisaram a qualidade operacional no transplante mecanizado de mudas de café e observaram que os parâmetros erro de alinhamento, velocidade e patinação, contendo nos mesmos operação do transplante de mudas e preparo reduzido do solo, expressaram distribuição assimétrica pelo teste de normalidade de Anderson-Darling. Além disso, esses autores relataram que o coeficiente de assimetria, que todas essas variáveis demonstraram distribuição assimétrica positiva ( $C_s > 0$ ), cujo grau de assimetria variou de pequeno ( $|C_s| < 0,15$ ) a elevado ( $|C_s| > 1$ ), logo o coeficiente de curtose obteve distribuição leptocúrtica ( $C_k > 0$ ) ou platicúrtica ( $C_k < 0$ ) dependendo da variável analisada.

Para a carta de controle de cloreto de potássio – lado direito tanto nos valores individuais (Figura 21 a) quanto de amplitude móvel (Figura 21 b), o tratamento 2 apresentou menor variabilidade, perfazendo melhor qualidade operacional e processo sob controle não tendo atuação das causas especiais e expressou distribuição normal pelo teste de normalidade, com os valores próximos ao da média, todavia o tratamento 1, demonstrou maior variabilidade e influencia de causas especiais.

Em relação aos limites específicos de controle de valores individuais (Figura 21 a), os dados que ficaram fora destes limites nos tratamentos 1, 2 e 3 foram 3, 4 e 2 respectivamente. Quanto à amplitude móvel (Figura 21 b) nenhum ponto ficou dentro da margem estipulada, provavelmente pode ter ocorrido erro na regulagem.

O cloreto de potássio apresentou maior uniformidade e menor variabilidade nas cartas de controle, demonstrando maior qualidade operacional do que a ureia protegida e MAP.

## CLORETO DE POTÁSSIO - LADO DIREITO



LSC: Limite Superior de Controle;  $\bar{X}$ : Média dos valores individuais; LES: Limite Específico Superior; LEI: Limite Específico Inferior; LIC: Limite Inferior de Controle;  $\bar{AM}$ : Média da amplitude móvel individual.

**Figura 21.** Carta de controle de cloreto de potássio lado direito.

Bertonha (2011), também encontrou o mesmo resultado avaliando a colheita mecanizada em amendoim, obtendo processo estável nas cartas de controle, na qual os pontos ficaram dentro dos limites de controle para o parâmetro maturação das vagens do amendoim, demonstrando normalidade na distribuição.

Costa; Epprecht e Carpinetti (2005) recomendam o acompanhamento da operação, verificando se o processo possui causas especiais influenciando a distribuição dos valores. E ainda, os mesmos salientam se caso o processo apresentarm atuação das causas especiais, deve-se realizar análise deste processo, com intuito de remover as causas especiais após sua identificação.

### 4.2.2 Padrões de aleatoriedade por *Run Charts*

Para o tratamento com adubação mecanizada individualizada de ureia protegida (nitrogênio), MAP (fósforo) e cloreto de potássio (potássio) foi verificado os

indicadores de qualidade por meio dos valores padrões de aleatoriedade na adubação mecanizada em cana-de-açúcar. Sendo que, no lado esquerdo os valores do fósforo apresentaram distribuição por agrupamento, por sua vez, os dados do potássio obtiveram organização por oscilação, sendo influenciados por causas especiais ocasionando instabilidade no processo. Os dados do nitrogênio demonstraram distribuição indefinida, ou seja, os parâmetros avaliados por meio dos padrões de aleatoriedade tiveram comportamento aleatório (Tabela 11).

Em relação ao lado direito nenhum dos nutrientes apresentaram distribuições definidas pelos padrões de aleatoriedade, pois os valores-padrão obtidos de nitrogênio fósforo e potássio apresentaram aleatoriedade em todos os parâmetros. Portanto, são influenciados apenas por causas naturais, sendo inerentes ao processo.

**Tabela 11.** Indicadores de qualidades por meio dos valores padrões de aleatoriedade no tratamento 1 - adubação mecanizada na cultura de cana-de-açúcar.

Indicadores de qualidade	Padrões de aleatoriedade			
	Agrupamento	Mistura	Tendência	Oscilação
<b>LADO ESQUERDO</b>				
Ureia protegida (kg ha <sup>-1</sup> )	0,137 <sup>ns</sup>	0,863 <sup>ns</sup>	0,228 <sup>ns</sup>	0,772 <sup>ns</sup>
MAP (kg ha <sup>-1</sup> )	0,005 *	0,995 <sup>ns</sup>	0,559 <sup>ns</sup>	0,441 <sup>ns</sup>
Cloreto de potássio (kg ha <sup>-1</sup> )	0,868 <sup>ns</sup>	0,132 <sup>ns</sup>	0,974 <sup>ns</sup>	0,026 *
<b>LADO DIREITO</b>				
Ureia protegida (kg ha <sup>-1</sup> )	0,500 <sup>ns</sup>	0,500 <sup>ns</sup>	0,559 <sup>ns</sup>	0,441 <sup>ns</sup>
MAP (kg ha <sup>-1</sup> )	0,645 <sup>ns</sup>	0,355 <sup>ns</sup>	0,851 <sup>ns</sup>	0,149 <sup>ns</sup>
Cloreto de potássio (kg ha <sup>-1</sup> )	0,771 <sup>ns</sup>	0,229 <sup>ns</sup>	0,724 <sup>ns</sup>	0,276 <sup>ns</sup>

<sup>ns</sup>valores-padrão de aleatoriedade identificados pelo teste de probabilidade, sendo  $p > 0,05$ , ao nível de 5% de probabilidade;

\*valores-padrão com não aleatoriedade identificados pelo teste de probabilidade obtendo  $p < 0,05$ , ao nível de 5% de probabilidade.

Voltarelli (2013), descreveu os valores não aleatórios por meio dos padrões de aleatoriedade (tendência, agrupamento, oscilação e mistura), de modo que, quando os pesquisadores observaram apenas as cartas de valores individuais, tiveram dificuldade na interpretação dos valores devido à complexidade da distribuição desses dados. O mesmo foi relatado para a correta interpretação dessa

análise, a necessidade de adquirir o conhecimento de todo o processo, como também de métodos estatísticos.

Cassia (2012), também utilizou o CEP (Controle Estatístico de Processo) e gráficos sequenciais por meio do *run charts* para analisar a colheita mecanizada de café, de modo que esses gráficos são parâmetros de qualidade.

Referente ao tratamento com aplicação simultânea de herbicida e adubação individualizada de ureia protegida (N), MAP (P) e cloreto de potássio (K) no lado esquerdo apenas o nitrogênio apresentou tendência, enquanto no lado direito os dados do potássio expressaram distribuição por agrupamento. Em relação aos demais nutrientes verificou-se que os valores-padrão tiveram aleatoriedade demonstrando que não possuíram nenhuma distribuição definida (Tabela 12).

Os valores que obtiveram os valores-padrão com não aleatoriedade identificados foram ocasionados por causas especiais, deixando o processo instável e verificando pontos fora de controle. No entanto, valores-padrão de aleatoriedade identificados, apresentaram apenas influencia de causas naturais.

**Tabela 12.** Indicadores de qualidades por meio dos valores padrões de aleatoriedade na do tratamento 2 - operação conjugada, aplicação simultânea de herbicida e adubação mecanizada na cultura de cana-de-açúcar.

Indicadores de qualidade	Padrões de aleatoriedade			
	Agrupamento	Mistura	Tendência	Oscilação
<b>LADO ESQUERDO</b>				
Ureia protegida (kg ha <sup>-1</sup> )	0,229 <sup>ns</sup>	0,771 <sup>ns</sup>	0,019 <sup>*</sup>	0,981 <sup>ns</sup>
MAP (kg ha <sup>-1</sup> )	0,771 <sup>ns</sup>	0,229 <sup>ns</sup>	0,724 <sup>ns</sup>	0,276 <sup>ns</sup>
Cloreto de potássio (kg ha <sup>-1</sup> )	0,510 <sup>ns</sup>	0,490 <sup>ns</sup>	0,117 <sup>ns</sup>	0,883 <sup>ns</sup>
<b>LADO DIREITO</b>				
Ureia protegida (kg ha <sup>-1</sup> )	0,229 <sup>ns</sup>	0,771 <sup>ns</sup>	0,383 <sup>ns</sup>	0,617 <sup>ns</sup>
MAP (kg ha <sup>-1</sup> )	0,229 <sup>ns</sup>	0,771 <sup>ns</sup>	0,383 <sup>ns</sup>	0,617 <sup>ns</sup>
Cloreto de potássio (kg ha <sup>-1</sup> )	0,032 <sup>*</sup>	0,968 <sup>ns</sup>	0,383 <sup>ns</sup>	0,617 <sup>ns</sup>

<sup>ns</sup>valores-padrão de aleatoriedade identificados pelo teste de probabilidade, sendo  $p > 0,05$ , ao nível de 5% de probabilidade;

<sup>\*</sup>valores-padrão com não aleatoriedade identificados pelo teste de probabilidade obtendo  $p < 0,05$ , ao nível de 5% de probabilidade.

Para Santos (2008), *run charts* é considerada uma relevante ferramenta de qualidade do CEP (Controle Estatístico de Processo), sendo que a mesma reproduz gráfico sequencial, proporcionando analisar a variabilidade no processo, permitindo verificar a distribuição dos valores por intermédio de padrões de aleatoriedade, sendo: agrupamento, mistura, tendência e oscilação.

No tratamento com duas operações (aplicação individualizada de N-P-K e herbicida) constatou-se que apenas no lado esquerdo a ureia protegida (nitrogênio) expressou distribuição por agrupamento, induzido por causas especiais. Contudo os outros nutrientes tanto do lado direito quanto do esquerdo, os valores-padrão tiveram aleatoriedade na distribuição, dificultando a identificação do padrão de aleatoriedade, atuando exclusivamente em causas naturais com o processo sob controle (Tabela 13).

**Tabela 13.** Indicadores de qualidades por meio dos valores padrões de aleatoriedade na do tratamento 3 - duas operações, com aplicação individualizada de potássio e herbicida.

Indicadores de qualidade	Padrões de aleatoriedade			
	Agrupamento	Mistura	Tendência	Oscilação
<b>LADO ESQUERDO</b>				
Ureia protegida (kg ha <sup>-1</sup> )	0,001 *	0,999 <sup>ns</sup>	0,228 <sup>ns</sup>	0,772 <sup>ns</sup>
MAP (kg ha <sup>-1</sup> )	0,931 <sup>ns</sup>	0,069 <sup>ns</sup>	0,724 <sup>ns</sup>	0,276 <sup>ns</sup>
Cloreto de potássio (kg ha <sup>-1</sup> )	0,229 <sup>ns</sup>	0,771 <sup>ns</sup>	0,051 <sup>ns</sup>	0,949 <sup>ns</sup>
<b>LADO DIREITO</b>				
Ureia protegida (kg ha <sup>-1</sup> )	0,500 <sup>ns</sup>	0,500 <sup>ns</sup>	0,117 <sup>ns</sup>	0,883 <sup>ns</sup>
MAP (kg ha <sup>-1</sup> )	0,500 <sup>ns</sup>	0,500 <sup>ns</sup>	0,851 <sup>ns</sup>	0,149 <sup>ns</sup>
Cloreto de potássio (kg ha <sup>-1</sup> )	0,071 <sup>ns</sup>	0,929 <sup>ns</sup>	0,117 <sup>ns</sup>	0,883 <sup>ns</sup>

<sup>ns</sup>valores-padrão de aleatoriedade identificados pelo teste de probabilidade, sendo  $p > 0,05$ , ao nível de 5% de probabilidade;

\*valores-padrão com não aleatoriedade identificados pelo teste de probabilidade obtendo  $p < 0,05$ , ao nível de 5% de probabilidade.

Lima et al. (2014), mencionaram que a ferramenta de qualidade *run charts* é pouco utilizada no CEP, onde a mesma permite o acompanhamento das operações mecanizáveis por um longo período, verificando a distribuição e aleatoriedade ou não dos valores.

### 4.3 Consumo de combustível

Para o consumo de combustível verificou-se que a operação com apenas adubação mecanizada individualizada de N-P-K obteve menor consumo com 70 L ha<sup>-1</sup> sendo o mais econômico em relação aos demais tratamentos. Porém a operação conjugada (aplicação simultânea de herbicida e adubação individualizada) o trator apresentou maior consumo de combustível (101 L ha<sup>-1</sup>) comparado com os demais tratamentos, em virtude do trator demandar mais potência por ter realizado duas operações conjugadas ao mesmo tempo (aplicação simultânea de adubo e herbicida). O gasto de combustível nas duas operações (aplicação separada de herbicida e adubo) foi de 96 L ha<sup>-1</sup>, diferenciando cerca de 5 L ha<sup>-1</sup> da operação conjugada.

Uma das principais funções do combustível é quanto ao funcionamento das colhedoras autopropelidas ou dos motores de tratores. De modo que, o consumo de

combustível depende de vários fatores, sendo eles: o tipo de combustível, tais como, gasolina, óleo diesel, álcool, biogás, entre outros; operação realizada pelo trator; e de acordo com o trabalho efetuado pelo trator a atuação da carga influencia no funcionamento do motor, pois quanto maior for a carga aplicada sobre o motor, maior o gasto de combustível, devido à maior demanda de potência da máquina agrícola (BALASTREIRE, 1987).

Fernandes; Silveira e Rinaldi (2008) averiguaram o consumo horário de combustível ( $L h^{-1}$ ) em diferentes preparos do solo para a semeadura de milho, sendo que o preparo que exibiu o menor consumo foi o plantio direto ( $8,9 L ha^{-1}$ ), porém o convencional apresentou o maior consumo ( $20,7 L ha^{-1}$ ).

Mello (2011), analisou o desempenho operacional do trator e da semeadora-adubadora de acordo com a velocidade de avanço na semeadura de milho. O mesmo citou que obteve o maior consumo de combustível por área ( $L ha^{-1}$ ) na velocidade  $4,5 km h^{-1}$  ( $8,30 L ha^{-1}$ ), não obstante o menor consumo foi para a velocidade de  $7,5 km h^{-1}$  ( $6,42 L ha^{-1}$ ).

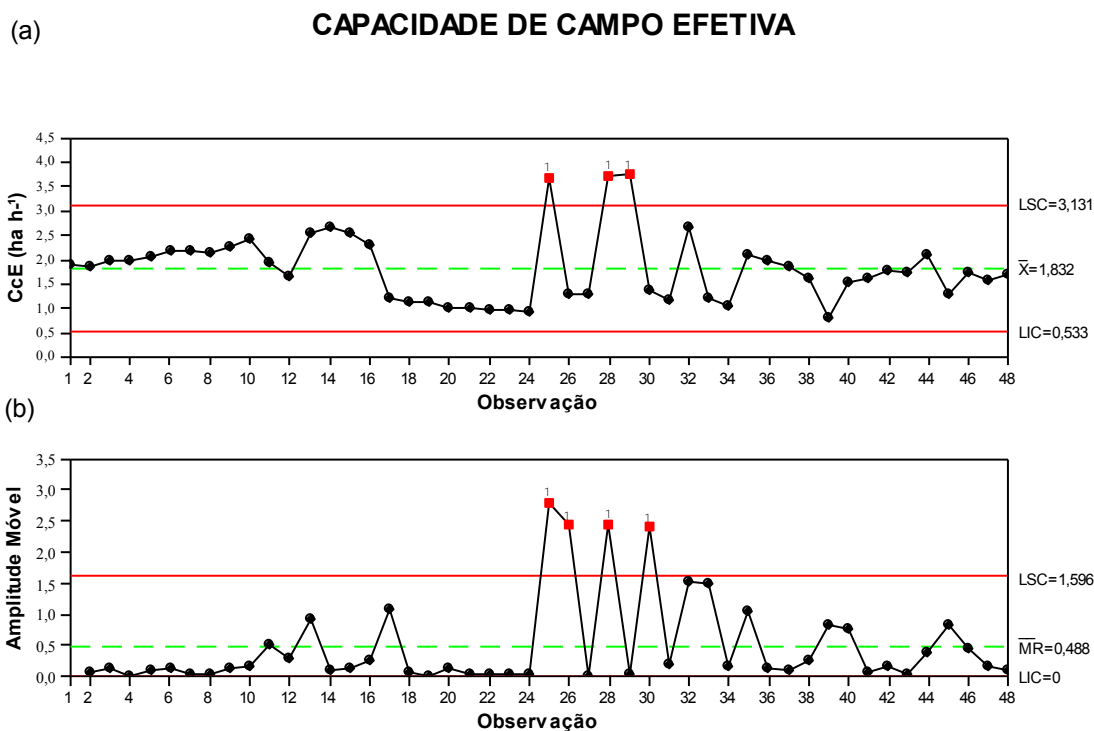
#### **4.4 Tempo com manobras e passadas**

##### **4.4.1 Avaliação do desempenho operacional da adubadora**

###### **4.4.1.1 Capacidade de campo efetiva ( $ha h^{-1}$ )**

A capacidade de campo efetiva foi determinada pela distância do ponto 1 ao 2 por meio da carta de controle, visto que, nos valores individuais três pontos ficaram acima do limite superior de controle, deixando o processo instável devido às causas especiais como: ruas mortas no talhão; plantio da cana-de-açúcar sem usar o piloto automático; espaçamento entre linhas de 1,4 m, sendo menores em relação à bitola do trator (1,8 m), por esse motivo o rodado amassou as folhas da cultura e os discos recortados da adubadora cortaram-nas (Figura 22 a). Na amplitude móvel quatro pontos também ficaram acima do limite superior de controle, obtendo processo inconstante (Figura 22 b).





LSC: Limite Superior de Controle;  $\bar{X}$ : Média dos valores individuais; LES: Limite Específico Superior; LEI: Limite Específico Inferior; LIC: Limite Inferior de Controle;  $\bar{AM}$ : Média da amplitude móvel individual; CcE: capacidade de campo efetiva ( $\text{ha h}^{-1}$ ).

**Figura 22.** Carta de controle da capacidade de campo efetiva ( $\text{ha h}^{-1}$ ).

A média dos valores encontrados da capacidade de campo efetiva (CcE) por Furlani; Lopes e Silva (2005) em preparo do solo convencional (arado reversível mais grade niveladora), reduzido (escarificador com rolo destorroador) e plantio direto (semeadora-adubadora de precisão) foram maiores (variando de 2,5 a 2,7) do que a média deste trabalho (1,83).

**Tabela 14.** Análise descritiva da capacidade de campo efetiva ( $\text{ha h}^{-1}$ ).

TRAT	Média	M	$\sigma$	CV	Amp	Cs	Ck	RJ	P
CcE	1,83	1,76	0,71	38,59	2,95	1,03	1,25	0,958	<0,010 <sup>A</sup>

TRAT: tratamento; M: mediana;  $\sigma$ : desvio padrão; CV: coeficiente de variação; Amp: amplitude; Cs: coeficiente de assimetria; Ck: coeficiente de curtose; RJ: teste de normalidade de Ryan-Joiner; P: valor de probabilidade por meio do teste de Ryan-Joiner; A: distribuição assimétrica com  $p < 0,05$ .

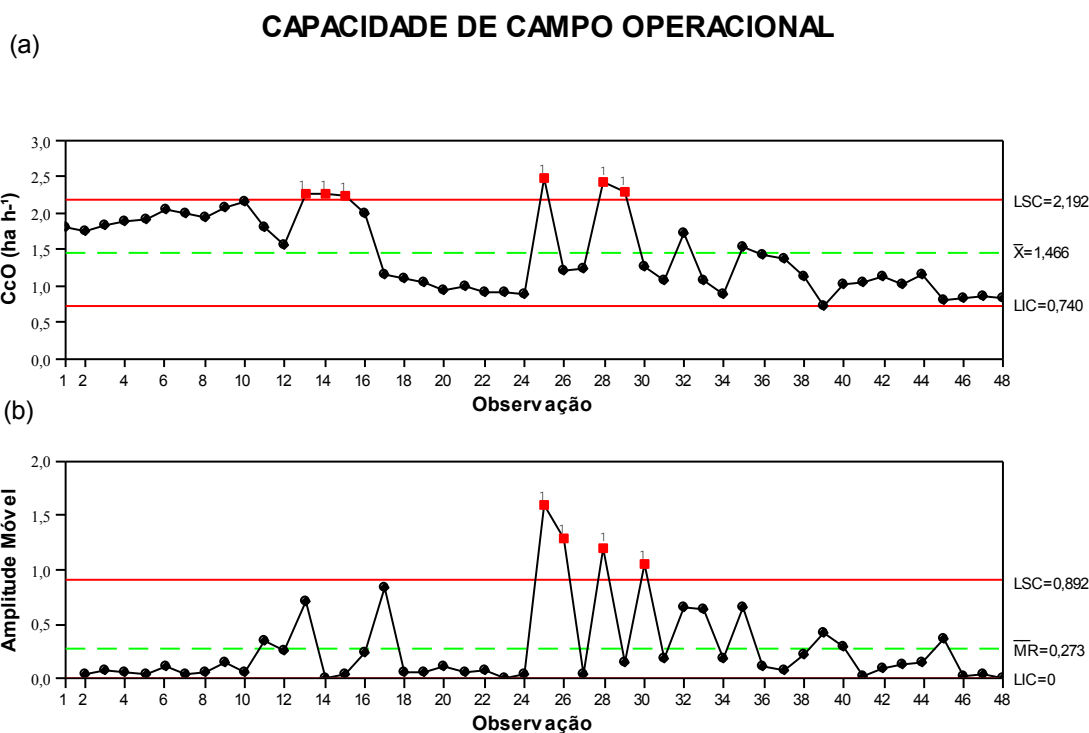
A média da CcE obtida na análise descritiva (Tabela 14) do presente trabalho (1,83) ficou próxima aos valores apresentados nos trabalhos de Vale et al. (2011); Molin et al.(2006) e Chioderoli et al. (2014). E, além disso, observou-se baixo desvio

padrão, demonstrando menor dispersão dos dados, contudo alto coeficiente de variação de acordo com Barbosa (2014), sendo ideal entre 10% a 20%, este valor ficou alto devido às causas especiais mencionadas nas cartas de controle. Para o coeficiente de assimetria expressou distribuição assimétrica positiva ( $C_s > 0$ ) com intensidade elevada de assimetria ( $|C_s| > 1$ ), e o coeficiente de curtose ( $C_k$ ) manifestou distribuição leptocúrtica ( $C_k > 0$ ), contendo dados mais aglomerados, resultando em uma curva alongada.

Assim, o teste de normalidade utilizando Ryan-Joiner expressou distribuição assimétrica, ao nível de 5% de probabilidade de significância, em razão da alta variabilidade dos dados (Tabela 17).

#### **4.6.1.2 Capacidade de campo operacional ( $ha\ h^{-1}$ )**

A capacidade de campo operacional nas cartas de controle expressou seis pontos fora de controle, demonstrando inconstância nos dados em virtude da influência de causas especiais, sendo: ausência de sistematização no talhão, problemas com ruas mortas; embuchamento na adubadora, ocasionando menor velocidade, patinagem, maior consumo de combustível entre outros (Figura 23 a). Para a carta de controle da amplitude móvel, houve instabilidade no processo por ter demonstrado 4 pontos acima do limite de controle (Figura 23 b).



LSC: Limite Superior de Controle;  $\bar{X}$ : Média dos valores individuais; LES: Limite Específico Superior; LEI: Limite Específico Inferior; LIC: Limite Inferior de Controle;  $\bar{AM}$ : Média da amplitude móvel individual; CcO: capacidade de campo operacional ( $\text{ha h}^{-1}$ ).

**Figura 23.** Carta de controle da capacidade de campo operacional ( $\text{ha h}^{-1}$ ).

Os valores da média tanto na carta de controle de valores individuais quanto na análise descritiva (Tabela 15) ficaram próximos aos encontrados por Furlani et al. (2007) e Lopes et al. (2010). E, além disso, o cálculo da capacidade de campo operacional total utilizando toda a área trabalhada e o horário final de toda operação, resultando em  $0,523 \text{ ha h}^{-1}$ . Observou-se que o valor da capacidade de campo total foi menor comparado ao CcE a distância do ponto 1 ao 2 ( $1,466$ ).

**Tabela 15.** Análise descritiva da capacidade de campo operacional ( $\text{ha h}^{-1}$ ).

TRAT	Média*	M	$\sigma$	CV	Amp	Cs	Ck	RJ	P
CcO	1,47	1,25	0,53	35,86	1,74	0,40	-1,28	0,959	<0,010 <sup>A</sup>

TRAT: tratamento; M: mediana;  $\sigma$ : desvio padrão; CV: coeficiente de variação; Amp: amplitude; Cs: coeficiente de assimetria; Ck: coeficiente de curtose; RJ: teste de normalidade de Ryan-Joiner; P: valor de probabilidade por meio do teste de Ryan-Joiner; A: distribuição assimétrica com  $p < 0,05$ .

Na análise descritiva o coeficiente de variação apresentou menor valor em relação à capacidade de campo operacional, demonstrando menor dispersão dos

dados. Em relação, ao coeficiente de assimetria foi obtido distribuição assimétrica positiva ( $C_s > 0$ ), contendo moderado grau de assimetria ( $0,15 < |C_s| < 1$ ).

Para o teste de normalidade, verificou-se distribuição assimétrica, ao nível de 5% de probabilidade de significância, com alta dispersão dos valores observados nos coeficiente de assimetria e curtose (Tabela 15).

Comparando a capacidade de campo operacional (CcO) com a capacidade de campo efetiva (CcE), a menor variabilidade foi no CcO, mas houve seis pontos fora de controle afetando o processo (Figura 23 a), deixando-o instável e não ficou dentro da margem aceitável dos 11% para o processo ser admissível, podendo ter apenas cinco pontos fora de controle, diante disso, os problemas verificados durante a condução como de ruas mortas; pisoteio do rodado pelo trator, em virtude do espaçamento entre linhas de 1,40 m ter sido menor equiparada ao tamanho da bitola do trator; plantio e adubação sem utilização do piloto automático; e talhão irregular. Enquanto, o CcE apresentou maior variabilidade, tendo três pontos fora de controle, ademais esse processo ficou dentro da margem dos 11% sendo considerado aceitável, portanto o CcE apresentou melhor resultado em relação ao CcO (Figura 22 a).

Além disso, pela jornada operacional de trabalho foi calculado o tempo perdido com manobras em média 27%, demonstrando que possivelmente talhões regulares e sistematizados com utilização do piloto automático são fatores que provavelmente teriam contribuído para obter menor porcentagem deste tempo. Araldi et al. (2013), analisando o tempo operacional perdido com manobras na colheita mecanizada de arroz obteve média de 11%, colhendo em áreas sistematizadas.

Para os indicadores de qualidade utilizando os valores padrões de aleatoriedade, tanto o CcO (Capacidade de campo operacional) quanto CcE (Capacidade de campo efetiva) apresentaram valores-padrão com não aleatoriedade identificados pelo teste de probabilidade, sendo que, ambos obtiveram comportamento de mistura e tendência (Tabela 16), verificando nas cartas de controle (Figura 22 e 23) pontos fora de controle sendo afetados pelas causas especiais com processo instável e expressaram distribuição assimétrica.

**Tabela 16.** Indicadores de qualidades utilizando valores padrões de aleatoriedade da capacidade de campo efetiva e operacional.

Indicadores de qualidade	Padrões de aleatoriedade			
	Agrupamento	Mistura	Tendência	Oscilação
CcE	0,004*	0,996 <sup>ns</sup>	0,024*	0,976 <sup>ns</sup>
CcO	0,000*	1,000 <sup>ns</sup>	0,010*	0,990 <sup>ns</sup>

CcE: Capacidade de campo efetiva; CcO: Capacidade de campo operacional.

<sup>ns</sup>valores-padrão de aleatoriedade identificados pelo teste de probabilidade, sendo  $p > 0,05$ , ao nível de 5% de probabilidade;

\*valores-padrão com não aleatoriedade identificados pelo teste de probabilidade obtendo  $p < 0,05$ , ao nível de 5% de probabilidade.

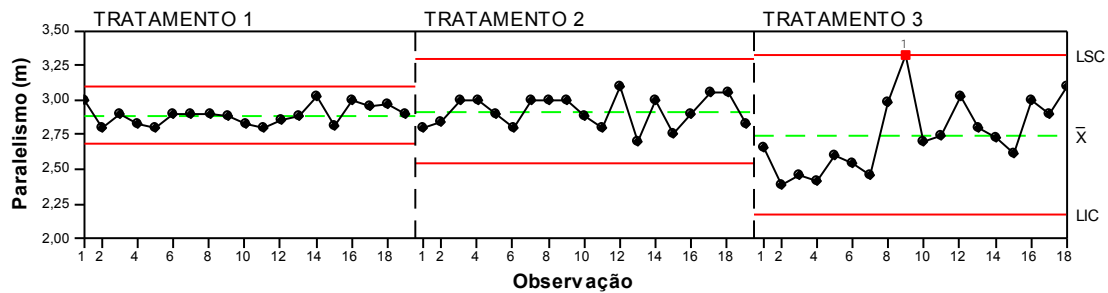
Voltarelli (2013), citou os cálculos para cada padrão de aleatoriedade, sendo que para mistura e agrupamento os cálculos foram obtidos entre os lados da linha central, contudo, para oscilação e tendência foi apenas em um lado da linha central, denominado teste unilateral. O autor ressaltou a utilização da *run charts* em seu trabalho, com intuito, de enriquecê-lo por intermédio da avaliação dos parâmetros, verificando aleatoriedade ou não entre os valores e analisando as cartas de controle com mais exatidão.

#### 4.7 Paralelismo

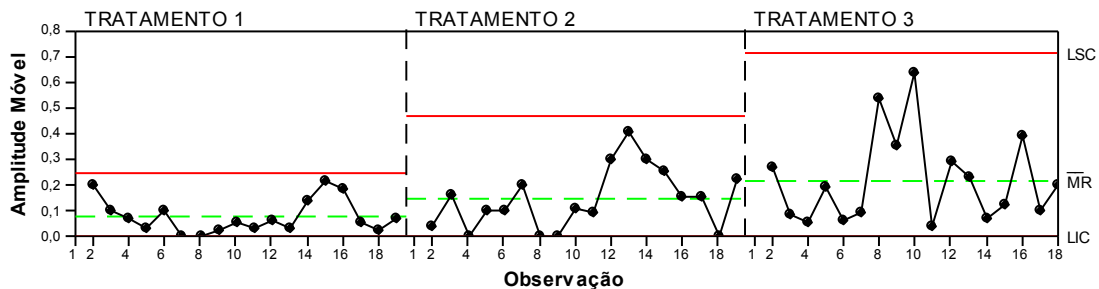
Nas cartas de controle de valores individuais (Figura 24 a), o tratamento 1 - operação com apenas adubação mecanizada individualizada de N-P-K, obteve menor variabilidade em relação aos demais. O mesmo com o tratamento 2 - operação conjugada (aplicação simultânea de herbicida e adubação individualizada) demonstraram estabilidade, ou seja, o processo ficou sob controle. Enquanto o tratamento 3 - duas operações (aplicação separada de herbicida e fertilizante), apenas um ponto ficou acima do limite superior de controle (LSC). Referente às cartas de controle com amplitude móvel nenhum tratamento avaliado apresentou pontos fora de controle (Figura 24 b).

## ADUBAÇÃO MECANIZADA SEM PILOTO AUTOMÁTICO

(a)



(b)



LSC: Limite Superior de Controle;  $\bar{X}$ : Média dos valores individuais; LES: Limite Específico Superior; LEI: Limite Específico Inferior; LIC: Limite Inferior de Controle;  $\bar{AM}$ : Média da amplitude móvel individual.

**Figura 24.** Carta de controle da adubação mecanizada sem piloto automático por meio do paralelismo.

Quando não há utilização do piloto automático em operações, como neste trabalho, provavelmente podem ocorrer alguns problemas ocasionados na lavoura, como: pisoteio dos equipamentos agrícolas em soqueiras de cana-de-açúcar; distribuição desuniforme de adubos entre as passadas da máquina; compactação do solo, favorecendo a baixa infiltração da água no solo, menor desenvolvimento radicular; erosão; tráfego inadequado dos equipamentos agrícolas, devido à falta de monitoramento durante as operações, entre outras, por isso é relevante utilizar o controle de tráfego, facilitando o monitoramento dos equipamentos agrícolas na lavoura.

Oliveira e Molin (2011), avaliaram operação de abertura de sulcos para o estabelecimento de pomar com citros utilizando o sistema convencional (sem o piloto automático) e com piloto automático, verificaram para os parâmetros de tempo com manobras e parado que o piloto automático apresentou os maiores valores,

obtendo menor eficiência de campo (73,4%) comparado ao sistema convencional (77,6%). Os mesmos relataram que o maior tempo de manobra mensurado foi no piloto automático, em razão de o operador realizar o alinhamento do equipamento agrícola antes de entrar na linha com os sulcos, porém no sistema convencional a manobra é efetuada com maior rapidez, em função das estacas terem sido colocadas no começo da linha, como alinhamento para orientação do operador.

Oliveira e Molin (2011), também observaram para a variável velocidade, quando o operador utilizou o piloto automático nas operações de abertura de sulcos, possibilitou o equipamento agrícola trabalhar com maior velocidade ( $1,86 \text{ m s}^{-1}$ ) em relação ao sistema convencional ( $1,71 \text{ m s}^{-1}$ ).

Barros e Milan (2010), realizaram monitoramento no plantio de cana-de-açúcar verificando a qualidade operacional, por meio de reuniões com equipe técnica disponibilizada pela empresa, indicaram as duas possíveis falhas mais agravantes, como a profundidade de plantio e o paralelismo. Espaçamentos menores que 1,35 m favorecem aumento no pisoteio das soqueiras pelos rodados dos equipamentos agrícolas, principalmente durante o período de colheita mecanizada, entretanto espaçamentos maiores que 1,50 m ocasionam perda em metros de plantio na área do canavial.

Baio e Moratelli (2011), analisaram no plantio de cana-de-açúcar a utilização com e sem piloto automático. Quando o piloto automático foi empregado nesta operação obtiveram precisão de 0,033 m entre as passadas, contudo sem o piloto o valor foi muito maior entre as passadas de 0,170 m em relação à operação com piloto, proporcionando melhor aproveitamento da área cultivada com o uso do piloto e favorecendo aumento do número de linhas plantadas na lavoura.

Diante disso, a área trabalhada da adubadora foi 3 m e o espaçamento entre linhas da cultura de 1,5 m (Figura 24), de modo que, a medição do paralelismo foi medida entre uma passada e outra da adubadora, observando que estas medições ficaram próximas a 3 m (Figura 24). Ademais, a distância entre hastes da adubadora possui 1,5 m pela qual mobiliza o solo, mensurando o fertilizante depositado nas entre linhas da cultura de uma passada a outra.



**Figura 25.** Espaçamento entre linhas da cultura e área trabalhada da adubadora.

Na análise descritiva (Tabela 17) verificou-se que os valores das médias ficaram próximos aos da mediana em ambos os tratamentos, o maior desvio padrão foi no tratamento 3, expressando maior dispersão dos dados, referente aos coeficientes de variação que para todos os tratamentos foram baixo de acordo com Gomes e Garcia (2002).

**Tabela 17.** Análise discriminante da adubação mecanizada sem piloto automático por meio do paralelismo.

TRAT	Média*	M	$\sigma$	CV	Amp	Cs	Ck	AD	P
1	2,893 a	2,90	0,07	2,47	0,23	0,42	-0,73	0,508	0,175 <sup>N</sup>
2	2,916 a	2,90	0,11	3,97	0,40	-0,24	-1,12	0,647	0,077 <sup>N</sup>
3	2,745 b	2,71	0,27	9,69	0,95	0,53	-0,36	0,268	0,642 <sup>N</sup>

TRAT: tratamento; M: mediana;  $\sigma$ : desvio padrão; CV: coeficiente de variação; Amp: amplitude; Cs: coeficiente de assimetria; Ck: coeficiente de curtose; AD: teste de normalidade de Anderson-Darling; P: valor de probabilidade por meio do teste de Anderson-Darling; A: distribuição assimétrica com  $p < 0,05$ .

\*Médias seguidas de mesma letra não possuem diferença estatística, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Os coeficientes de assimetria (Cs) no tratamento 1 e 3 apresentaram distribuição assimétrica positiva ( $Cs > 0$ ), evidenciando moderado grau de assimetria ( $0,15 < |Cs| < 1$ ), porém o tratamento 2 expressou assimetria negativa ( $Cs < 0$ ), expondo também moderado grau de assimetria. Para os coeficientes de curtose (Ck) todos os tratamentos demonstraram distribuição platicúrtica ( $Ck < 0$ ) (Tabela 19).

Baio e Moratelli (2011), verificaram no plantio de cana-de-açúcar na análise descritiva utilizando o piloto automático, o coeficiente de assimetria demonstrou



distribuição assimétrica positiva ( $C_s > 0$ ) com grau de intensidade elevado ( $|C_s| > 1$ ), para o coeficiente de curtose foi obtido distribuição leptocúrtica ( $C_k > 0$ ) e curva alongada, tendo dados mais concentrados. E ainda, os mesmos mencionaram a análise descritiva sem o piloto, no coeficiente de assimetria a distribuição também foi assimétrica positiva com grau de assimetria moderado ( $0,15 < |C_s| < 1$ ), e em relação ao coeficiente de curtose também apresentou distribuição leptocúrtica.

Os tratamentos com apenas adubação mecanizada individualizada de N-P-K (ureia protegida, MAP e cloreto de potássio) e com aplicação simultânea de herbicida e adubação individualizada de N-P-K não apresentaram nenhum padrão de aleatoriedade, demonstrando distribuição indefinida dos valores, no qual o processo foi influenciado exclusivamente por causas naturais (Tabela 18). Porém o tratamento com duas operações (aplicação individualizada de N-P-K e herbicida) apresentou padrão não aleatório por meio da distribuição de agrupamento dos dados, sendo provocado por causas especiais, correlacionado com o processo instável na carta de controle de valores individuais possuindo um ponto fora de controle (Figura 24 a).

**Tabela 18.** Indicadores de qualidades utilizando valores padrões de aleatoriedade em adubação mecanizada sem piloto automático por meio do paralelismo.

Indicadores de qualidade	Padrões de aleatoriedade			
	Agrupamento	Mistura	Tendência	Oscilação
<b>TRATAMENTO</b>				
1	0,071 <sup>ns</sup>	0,929 <sup>ns</sup>	0,223 <sup>ns</sup>	0,777 <sup>ns</sup>
2	0,598 <sup>ns</sup>	0,402 <sup>ns</sup>	0,091 <sup>ns</sup>	0,909 <sup>ns</sup>
3	0,026 <sup>*</sup>	0,974 <sup>ns</sup>	0,578 <sup>ns</sup>	0,422 <sup>ns</sup>

<sup>ns</sup>valores-padrão de aleatoriedade identificados pelo teste de probabilidade, sendo  $p > 0,05$ , ao nível de 5% de probabilidade;

<sup>\*</sup>valores-padrão com não aleatoriedade identificados pelo teste de probabilidade obtendo  $p < 0,05$ , ao nível de 5% de probabilidade.

Quando os valores possuem padrões não aleatórios (agrupamento, mistura, tendência e oscilação) é um indicativo que o processo possa estar fora do controle ou bem próximo da instabilidade, sendo influenciado por causas especiais que diminuem a qualidade operacional. A *run chart* deve ser utilizada como complemento

das cartas de controle, colaborando para melhores entendimentos do comportamento do processo, visando obter a qualidade operacional. Por outro lado, quando não se tem estes padrões significa que o processo é induzido apenas por causas naturais, que são inerentes ao processo, demonstrando estabilidade e distribuição homogênea dos dados em relação à média (PAIXÃO, 2015).

## 5 CONCLUSÕES

A melhor qualidade operacional da distribuição de fertilizantes verificada por meio das cartas de controle foi o tratamento 3, sendo duas operações (aplicação separada de herbicida e adubo) por ter apresentado menor variabilidade.

O lado direito da adubadora foi o melhor por ter aplicado quantidades próximas à dosagem regulada.

Para o indicador de qualidade paralelismo de plantio, sem utilização do piloto automático, a operação com apenas adubação mecanizada individualizada, demonstrou maior qualidade operacional em relação aos demais tratamentos.

## 6 REFERÊNCIAS

ARALDI, P. F.; SCHLOSSER, J. F.; FRANTZ, U. G.; RIBAS, R. L.; SANTOS, P. M. dos. Eficiência operacional na colheita mecanizada em lavouras de arroz irrigado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.43, n.3, p.445-451, 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v43n3/a8213cr6530.pdf>>. Acesso em: 7 ago. 2015.

ALCARDE, J. C.; GUIDOLIN, J. A.; LOPES, A. S. **Os adubos e a eficiência das adubações**. São Paulo: ANDA, 1998. 43 p. (Boletim Técnico, 3). Disponível em: <[http://www.anda.org.br/multimedia/boletim\\_03.pdf](http://www.anda.org.br/multimedia/boletim_03.pdf)>. Acesso em: 16 maio 2015.

ALTEMANN, A. S.; BEDIN, P. R.; BONOTTO, G. J.; SILVEIRA, H. A. T.; DIAS, V. de O.; CARPES, D.; MONTEMEZZO, L.; ALONÇO, A. dos S. Determinação do ângulo de repouso de fertilizantes e sementes através da análise de imagens. In: SIMPÓSIO DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 14., 2010, Santa Maria. **Anais...**. Santa Maria: SEPE, 2010. v. 1, p. 1 - 2. Disponível em: <<http://www.unifra.br/eventos/sepe2010/2010/Trabalhos/tecnologica/Resumo/4957.pdf>>. Acesso em: 16 maio 2015.

BAIO, F. H. R.; MOLIN, J. P.; LEAL, A. J. F. Avaliação comparativa da distribuição transversal de adubos sólidos aplicados em culturas anuais. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 4, p. 527-536, 2012. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/13441>>. Acesso em: 31 jul. 2015.

BAIO, F. H. R.; MORATELLI, R. F. Avaliação da acurácia no direcionamento com piloto automático e contraste da capacidade de campo operacional no plantio mecanizado da cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 2, p.367-375, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162011000200017>>. Acesso em: 01 jun. 2015.

BALASTREIRE, L. A. **Máquinas Agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987. p. 44-46.

BALASTREIRE, L. A.; COELHO, J. L. D. **Aplicação mecanizada de fertilizantes e corretivos**. São Paulo: ANDA, 2000. 53 p. (Boletim Técnico, 7). Disponível em: <[http://www.anda.org.br/multimedia/boletim\\_07.pdf](http://www.anda.org.br/multimedia/boletim_07.pdf)>. Acesso em: 16 maio 2015.

BARBOSA, J. C. **Experimentação Agronômica**. Jaboticabal: Departamento de Ciências Exatas, FCAV, UNESP, 2014. p.18.

BARRETO, L. F.; ADAMI JÚNIOR, W. A. **Estudo sobre piloto automático nas operações mecanizadas em cana de açúcar (*Saccharum officinarum*)**. 2012. 23 f. TCC (Graduação) - Curso de Curso de Mecanização em Agricultura de Precisão, Faculdade de Tecnologia Shunji Nishimura, Pompéia, 2012. Disponível em: <<http://fatecpompeia.edu.br/arquivos/arquivos/tccwilsonleonardo.pdf>>. Acesso em: 01 mar. 2015.

BARROS, F. F.; MILAN, M. Qualidade operacional do plantio de cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 1, p.221-229, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052010000100028>>. Acesso em: 01 jun. 2015.

BERTONHA, R. S. **Variabilidade de perdas no arranquio mecanizado de amendoim: estudo de caso**. 2011. 75 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia (Produção Vegetal), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Câmpus de Jaboticabal, Jaboticabal, 2011. Disponível em: <[http://base.repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/96895/bertonha\\_rs\\_me\\_jabo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://base.repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/96895/bertonha_rs_me_jabo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Acesso em: 10 maio 2015.

BITTAR, O. J. N. V. Indicadores de qualidade e quantidade em saúde. **Revista de administração em saúde**, São Paulo, v. 3, n. 12, p. 21-28, 2001. Disponível em: <<http://www.saude.am.gov.br/planeja/doc/indicadores.pdf>>. Acesso em: 02 ago. 2015.

CAMPOS, M. M. de. **Análise de escoabilidade de pós**. 2012. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012. Disponível em: <[http://www.btdt.ufscar.br/htdocs/tedeSimplificado//tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=5031](http://www.btdt.ufscar.br/htdocs/tedeSimplificado//tde_busca/arquivo.php?codArquivo=5031)>. Acesso em: 16 maio 2015.

CAPUTO, M. M.; BEAUCLAIR, E. G. F. de; SILVA, M. de A; PIEDADE, S. M. de S. Resposta de genótipos de cana-de-açúcar à aplicação de indutores de maturação. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 1, p.15-23, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052008000100002>>. Acesso em: 19 jun. 2014.

CASSIA, M. T. **Qualidade da colheita mecanizada de café em plantio circular sob pivô central**. 2012. 71 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia (Produção Vegetal), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Câmpus de Jaboticabal, Jaboticabal, 2012. Disponível em: <[http://base.repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/96823/cassia\\_mt\\_me\\_assis\\_prot.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://base.repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/96823/cassia_mt_me_assis_prot.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Acesso em: 19 abr. 2015.

CHIODEROLI, C. A.; SILVA, R. P. da; NORONHA, R. H. de F.; Cassia, M. T.; SANTOS, E. P. dos. Perdas de grãos e distribuição de palha na colheita mecanizada de soja. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 1, p.112-121, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052012005000003>>. Acesso em: 02 jun. 2015.

CHIODEROLI, C. A.; SILVA, V. F. A.; FURLANI, C. E. A.; BERTONHA, R. S.; CAVICHIOLI, F. A. Energy demand in soybean seeding on maize straw intercropped with forage. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 8, p.873-878, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n08p873-878>>. Acesso em: 01 jun. 2015.

CIRANI, C. B. S.; MORAES, M. A. F. D. de. Inovação na indústria sucroalcooleira paulista: os determinantes da adoção das tecnologias de agricultura de precisão. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba, v. 48, n. 4, p.543-565, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-20032010000400003>>. Acesso em: 02 mar. 2015.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar**. Brasília, 2014. Disponível em:<[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14\\_12\\_19\\_09\\_02\\_49\\_bol\\_etim\\_cana\\_portugues\\_-\\_3o\\_lev\\_-\\_2014-15.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_12_19_09_02_49_bol_etim_cana_portugues_-_3o_lev_-_2014-15.pdf)>. Acesso em: 19 abr. 2015.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar**. Brasília, 2015. Disponível em:<[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15\\_04\\_13\\_08\\_45\\_51\\_bol\\_etim\\_cana\\_portugues\\_-\\_4o\\_lev\\_-\\_14-15.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_04_13_08_45_51_bol_etim_cana_portugues_-_4o_lev_-_14-15.pdf)>. Acesso em: 19 abr. 2015.

CORREIA, M. A. R. **Nitrogênio em soqueiras de cana-de-açúcar cultivada em sistema conservacionista**. 2012. 72 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia (produção Vegetal), Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Câmpus de Jaboticabal, Jaboticabal, 2012. Disponível em: <[http://base.repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/105121/correia\\_mar\\_dr\\_jabo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://base.repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/105121/correia_mar_dr_jabo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Acesso em: 27 fev. 2015.

COSTA, A. F. B.; EPPRECHT, E .K.; CARPINETTI, L. C. R. **Controle Estatístico de Qualidade**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2005. 335 p.

DUARTE JÚNIOR, J. B.; GARCIA, R. F.; COELHO, F. C.; AMIM, R. T. Desempenho de trator-implemento na cana-de-açúcar em sistemas de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina

Grande, v. 12, n. 6, p.653-658, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662008000600013>>. Acesso em: 23 fev. 2015.

ENCICLOPÉDIA AGRÍCOLA BRASILEIRA/ESALQ. **Apresentação Humberto de Campos**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1995.

FERNANDES, H. C.; SILVEIRA, J. C. M. da; RINALDI, P. C. N. Avaliação do custo energético de diferentes operações agrícolas mecanizadas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p.1582-1587, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542008000500034>>. Acesso em: 01 jun. 2015.

FRANCK, C. J.; ALONÇO, A. dos S.; MACHADO, O. D. da C.; FRANCETTO, T. R.; CARPES, D. P.; BELLÉ, M. P. Modelos estatísticos para seleção de dosadores helicoidais com diferentes dispositivos de descarga de fertilizante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 5, p. 512-518, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n5p512-518>>. Acesso em: 28 maio 2015.

FURLANI, C. E. A.; LOPES, A.; SILVA, R. P. da. Avaliação de semeadora-adubadora de precisão trabalhando em três sistemas de preparo do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p.458-464, 2005. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162005000200019>>. Acesso em: 01 jun. 2015.

FURLANI, C. E. A.; PAVAN JÚNIOR, Á.; LOPES, A.; SILVA, R. P. da; GROTTA, D. C. C.; CORTEZ, J. W. Desempenho operacional de semeadura-adubadora em diferentes manejos da cobertura e da velocidade. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p.456-462, 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162007000300014>>. Acesso em: 01 jun. 2015.

GOMES, F. P.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.

GUIMARÃES, E. C. **Geoestatística básica e aplicada**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Matemática, Núcleos de Estudos Estatísticos e Biométricos, 2004. 78 p. Disponível em: <<files.ednaldoufu.webnode.com.br/200000109-9dfa99ef3f/apgeo1.pdf>>. Acesso em: 13 maio 2015.

IGNÁCIO, S. A. **Importância da estatística para o processo de conhecimento e tomada de decisão**. Curitiba: IPARDES, 2010. 17p. (Nota Técnica, 6). Disponível em:

<[http://www.ipardes.pr.gov.br/biblioteca/docs/NT\\_06\\_importancia\\_estatistica\\_tomada\\_decisao.pdf](http://www.ipardes.pr.gov.br/biblioteca/docs/NT_06_importancia_estatistica_tomada_decisao.pdf)>. Acesso em: 17 mar. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola**: Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em:

<[ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao\\_Agricola/Levantamento\\_Sistematico\\_da\\_Producao\\_Agricola\\_\[mensal\]/Fasciculo/lspa\\_201404.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_[mensal]/Fasciculo/lspa_201404.pdf)>. Acesso em: 18 jun. 2014.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO. **Equipment for distributing fertilizers**: Test methods – Part 1: Full width fertilizer distributors. Gêneve, 1985. 5 p. (ISO Standard 5690/1).

JOHN DEERE (Brasil). **Tratores 6145J**. 2015. Disponível em: <[http://www.deere.com.br/pt\\_BR/products/equipment/tractors/medium\\_tractors/6j\\_series/6145j/6145j.page#viewTabs](http://www.deere.com.br/pt_BR/products/equipment/tractors/medium_tractors/6j_series/6145j/6145j.page#viewTabs)>. Acesso em: 22 jan. 2015.

KLAVER, P. P. C.; GARCIA, R. F.; VASCONCELOS JUNIOR, J. F. S.; CORRÊA JUNIOR, D. Programa computacional para determinação da capacidade operacional de máquinas agrícolas. **Global Science And Technology**, Rio Verde, v.5, n.1, p.52-58, 2012. Disponível em: <<http://rioverde.ifgoiano.edu.br/periodicos/index.php/gst/article/view/449/288>>. Acesso em: 03 maio 2015.

KYOTOKU, A. C. de B. C. **Aplicação do vinhoto em processos de fertirrigação da cultura da cana-de-açúcar: uma descrição de uso**. 2011. 36 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Centro de Tecnologia Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2011. Disponível em: <<http://www.ct.ufpb.br/coordenacoes/ccgec/images/arquivos/TCC/ANA-CLARA-KYOTOKU-TCC.pdf>>. Acesso em: 21 jun. 2014.

LIMA, P. H. de; VOLTARELLI, M. A.; ZERBATO, C.; SILVA, V. F. A.; SILVA, R. P. da. Qualidade da operação do plantio mecanizado de cana-de-açúcar por meio de *run-charts*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA - CONBEA, 43., 2014, Campo Grande. **Anais...**. Campo Grande: SBEA, 2014. p. 1 - 4. Disponível em: <<http://www.sbea.org.br/conbea/2014/anais/R0080-2.pdf>>. Acesso em: 19 abr. 2015.



LOPES, A. S.; SILVA, M. de C.; GUILHERME, L. R. G. **Acidez do solo e calagem**. São Paulo: ANDA, 1991. 17 p. (Boletim Técnico, 1). Disponível em: <[http://www.anda.org.br/multimedia/boletim\\_01.pdf](http://www.anda.org.br/multimedia/boletim_01.pdf)>. Acesso em: 16 maio 2015.

LOPES, A.; CAMARA, F. T. da; SCALA JÚNIOR, N. Ia; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P. da; BARBOSA, L. P. B. Desempenho operacional de um protótipo “aerossolo”. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 1, p.82-91, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162010000100009>>. Acesso em: 29 abr. 2015.

MEDRI, W. **Análise exploratória de dados**. 2011. Disponível em: <[http://www.uel.br/pos/estatisticaquantitativa/textos\\_didaticos/especializacao\\_estatistica.pdf](http://www.uel.br/pos/estatisticaquantitativa/textos_didaticos/especializacao_estatistica.pdf)>. Acesso em: 02 fev. 2015.

MELLO, A. J. R. **Distribuição longitudinal e produtividade do milho em função da velocidade de deslocamento e da profundidade de deposição da semente**. 2011. 103 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia (Ciência do Solo), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Câmpus de Jaboticabal, 2011. Disponível em: <<http://base.repositorio.unesp.br/handle/11449/100864>>. Acesso em: 01 jun. 2015.

MENEGATTI, L. A. A.; MOLIN, J. P. Remoção de erros em mapas de produtividade via filtragem de dados brutos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.8, n.1, p.126-134, 2004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662004000100019>>. Acesso em: 31 jul. 2015.

MERCANTE, E.; SOUZA, E. G. de; JOHANN, J. A.; GABRIEL FILHO, A.; URIBE-OPAZO, M. A. PRAPRAG - software para planejamento racional de máquinas agrícolas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 2, p.322-333, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162010000200015>>. Acesso em: 28 abr. 2015.

MIALHE, L.G. **Manual de mecanização agrícola**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1974. p. 115-126.

MILAN, M.; GADANHA JÚNIOR, C. D. Ensaio & certificação das máquinas para aplicação de adubos e corretivos. In: MIALHE, L.G. **Máquinas agrícolas: ensaios & certificação de estudos agrários**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1996. cap. 10, p. 515-550.

MILAN, M.; FERNANDES, R. T. Qualidade das operações de preparo de solo por controle estatístico de processo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 59, n. 2, p. 261-266, 2002. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162002000200009>>. Acesso em: 28 abr. 2015.

MOLIN, J. P.; FRASSON, F. R.; AMARAL, L. R.; POVH, F. P.; SALVI, J. V. Capacidade de um sensor ótico em quantificar a resposta da cana-de-açúcar a doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.12, p.1345–1349, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010001200014>>. Acesso em: 31 jul. 2015.

MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L. M.; PAULETTI, V.; SCHMIDHALTER, U.; HAMMER, J. Mensuração da condutividade elétrica do solo por indução e sua correlação com fatores de produção. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.2, p.420-426, 2005. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162005000200015>>. Acesso em: 31 jul. 2015.

MOLIN, J. P.; MILAN, M.; NESRALLAH, M. G. T.; CASTRO, C. N. de; GIMENEZ, L. M. Utilização de dados georreferenciados na determinação de parâmetros de desempenho em colheita mecanizada. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p.759-767, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162006000300013>>. Acesso em: 01 jun. 2015.

MOLIN, J. P.; MASCARIN, L. S.; VIEIRA JÚNIOR, P. A. Avaliação de intervenções em unidades de aplicação localizada de fertilizantes e de populações de milho. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.2, p.528-536, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162006000200022>>. Acesso em: 31 jul. 2015.

MOTOMIYA, A. V. de A.; MOLIN, J. P.; CHIAVEGATO, E. J. Utilização de sensor óptico ativo para detectar deficiência foliar de nitrogênio em algodoeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.2, p.137–145, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662009000200005>>. Acesso em: 31 jul. 2015.

MOTOMIYA, A. V. de A.; MOTOMIYA, W. R.; MOLIN, J. P.; LIRA, A.; OLIVEIRA, J. R. G. Di; BISCARO, G. A. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo e produtividade do algodoeiro. **Revista Agrarian**, Dourados, v.4, n.11, p.1-9, 2011. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/view/1118/670>>. Acesso em: 31 jul. 2015.

MOTOMIYA, A. V. de A.; VALENTE, I. M. Q.; MOLIN, J. P.; MOTOMIYA, W. R.; BISCARO, G. A.; JORDAN, R. A. Índice de vegetação no algodoeiro sob diferentes doses de nitrogênio e regulador de crescimento. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 1, p. 169-178, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n1p169>>. Acesso em: 31 jul. 2015.

NOMELINI, Q. S. S.; FERREIRA, E. B.; OLIVEIRA, M. S. de. Estudos dos padrões de não aleatoriedade dos gráficos de controle de Shewhart: um enfoque probabilístico. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 16, n. 3, p.414-421, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0104-530X2009000300008>>. Acesso em: 05 jun. 2015.

NORONHA, R. H. de F.; SILVA, R. P. da; CHIODEROLI, C. A.; SANTOS, E. P. dos; CASSIA, M. T. Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada diurna e noturna de cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 4, p.931-938, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052011000400028>>. Acesso em: 15 mar. 2015.

PAIXÃO, C. S. S. **Tempos, movimentos e qualidade da operação de colheita mecanizada de soja em função do formato dos talhões**. 2015. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia (Ciência do Solo), Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Unesp - Câmpus de Jaboticabal, Jaboticabal, 2015. Disponível em: <<http://www.athena.biblioteca.unesp.br/exlibris/bd/cathedra/12-05-2015/000829820.pdf>>. Acesso em: 03 maio 2015.

PAULA, V. R. de. **Avaliação dos danos causados pelo inadvertido tráfego de veículos sobre as soqueiras de cana-de-açúcar**. 2010. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências (Máquinas Agrícolas), Universidade de São Paulo/escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2010. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11148/tde-22102010-085509/pt-br.php>>. Acesso em: 31 jul. 2015.

POLLO, G. Z. **Suscetibilidade magnética, atributos do solo e da planta na discriminação de áreas de manejo específico na cultura do café**. 2013. 58 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia (Produção Vegetal), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Unesp - Câmpus de Jaboticabal, Jaboticabal, 2013. Disponível em: <<http://base.repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/88578/000739148.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 20 jan. 2015.

REIS, G. N. dos. **Perdas na colheita mecanizada da cana-de-açúcar crua em função do desgaste das facas do corte de base**. 2009. 89 f. Tese (Doutorado) -

Curso de Agronomia (Ciência do Solo), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Câmpus de Jaboticabal, Jaboticabal, 2009. Disponível em: <<http://www.fcav.unesp.br/download/pgtrabs/cs/d/2314.pdf>>. Acesso em: 04 abr. 2015.

REYNALDO, É. F. **Avaliação de mecanismos dosadores de fertilizantes sólidos tipo helicoidais em diferentes níveis de nivelamento longitudinal e transversal**. 2013. 94 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia (Energia na Agricultura), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrônômicas - Câmpus de Botucatu, Botucatu, 2013. Disponível em: <<http://www.pg.fca.unesp.br/Teses/PDFs/Arq1059.pdf>>. Acesso em: 03 maio 2015.

RODRIGUES, L. D. **A cana-de-açúcar como matéria-prima para a produção de biocombustíveis: impactos ambientais e o zoneamento agroecológico como ferramenta para mitigação**. 2010. 64 f. TCC (Graduação) - Curso de Curso de Especialização em Análise Ambiental, Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, Juiz de Fora, 2010. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/analiseambiental/files/2009/11/monografia.-1.pdf>>. Acesso em: 18 jun. 2014.

SANTOS, M.B. **MINITAB: Um Breve Resumo de Aplicações**. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2008. Disponível em: <[www.mbambirra.com.br/wordpress/aulas/MINITAB.doc](http://www.mbambirra.com.br/wordpress/aulas/MINITAB.doc)>. Acesso em: 19 abr. 2015.

SAGAWA, J. K.; YAMADA, R. I. Aplicação de ferramentas de controle estatístico da qualidade ao monitoramento da produção de etanol. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 33., 2013, Salvador. **Anais...**. Salvador: ENEGEP, 2013. p. 1-16. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2013\\_TN\\_STO\\_177\\_007\\_23157.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2013_TN_STO_177_007_23157.pdf)>. Acesso em: 08 abr. 2015.

SELEME, R.; STADLER, H. **Controle da qualidade: as ferramentas essenciais**. Curitiba: Ibpex, 2008. 181 p.

SILVA, R. P da; CORRÊA, C. F.; CORTEZ, J. W.; FURLANI, C.E.A. Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 2, p. 292-304, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162008000200010>>. Acesso em: 28 maio 2015.

SILVA, R. P. da; CASSIA, M. T.; VOLTARELLI, M. A.; COMPAGNON, A. M.; FURLANI, C. E. A. Qualidade da colheita mecanizada de feijão (*Phaseolus vulgaris*) em dois sistemas de preparo do solo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 61-69, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902013000100008>>. Acesso em: 28 maio 2015.

SILVA, R. P. da; VOLTARELLI, M. A.; CASSIA, M. T.; VIDAL, D. O.; CAVICHIOLI, F. A. Qualidade das operações de preparo reduzido do solo e transplântio mecanizado de mudas de café. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 1, p.51-60, 2014. Disponível em: <[http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/542/pdf\\_72](http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/542/pdf_72)>. Acesso em: 15 maio 2015.

SILVEIRA, G. M. da; YANAI, K.; KURACHI, S. A. H. Determinação da eficiência de campo de conjuntos de máquinas convencionais de preparo do solo, semeadura e cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p.220-224, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662006000100032>>. Acesso em: 28 abr. 2015.

SIMÕES, D.; SILVA, M. R. da. Desempenho operacional e custos de um trator na irrigação pós-plantio de eucalipto em campo. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n. 2, p.164-170, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0034-737X2012000200003>>. Acesso em: 13 maio 2015.

SOUZA, C. B. de; MIZIARA, F. Políticas de financiamento à expansão do setor sucroalcooleiro em Goiás versus políticas ambientais. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE SOCIOLOGIA RURAL, 8., 2010, Porto de Galinhas. **Anais...** Porto de Galinhas: ALASRU, 2010. p. 1-19. Disponível em: <<http://www.alasru.org/wp-content/uploads/2011/08/GT12-Cleonice-Borges-de-Souza.pdf>>. Acesso em: 19 jun. 2014.

SUGUISAWA, J. M. **Diagnóstico da condição tecnológica, sob a ótica da qualidade das operações mecanizadas da cultura do trigo em sistema plantio direto**. 2004. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

OLIVEIRA, C. de. **Plantio mecanizado de cana-de-açúcar: aspectos operacionais e econômicos**. 2012. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências (máquinas Agrícolas), Universidade de São Paulo/escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2012. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11148/tde-03122012-111153/pt-br.php>>. Acesso em: 31 jul. 2015.

OLIVEIRA, T. C. A.; MOLIN, J. P. Uso de piloto automático na implantação de pomares de citros. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 2, p.334-342, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162011000200013>>. Acesso em: 01 jun. 2015.

TORQUATO, S. A. Mecanização da colheita da cana-de-açúcar: benefícios ambientais e impactos na mudança do emprego no campo em São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, Canoas, n. 29, p. 49-62, 2013. Disponível em: <[http://www.rbciamb.com.br/images/online/Materia\\_4\\_artigos361.pdf](http://www.rbciamb.com.br/images/online/Materia_4_artigos361.pdf)>. Acesso em: 29 ago. 2015.

VALE, W. G. do; GARCIA, R. F.; CORRÊA JUNIOR, D.; GRAVINA, G. A.; SOUZA, E. F. Desempenho operacional e energético de um trator agrícola durante a operação de roçagem. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 4, n. 2, p.68-75, 2011. Disponível em: <<http://rioverde.ifgoiano.edu.br/periodicos/index.php/gst/article/view/422/263>>. Acesso em: 01 maio 2015.

VASCONCELOS, M.; CARDOSO, M.; REIS, Â. V. Determinação de atributos físicos de quatro tipos de fertilizantes com vistas ao projeto de um dosador. In: ENPOS - ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO UFPEL, 13., 2011, Pelotas. **Anais....** Pelotas: ENPOS, 2011. 4 p. Disponível em: <[http://www2.ufpel.edu.br/enpos/2011/anais/pdf/EN/EN\\_00462.pdf](http://www2.ufpel.edu.br/enpos/2011/anais/pdf/EN/EN_00462.pdf)>. Acesso em: 16 maio 2015.

VITTI, G. C.; QUEIROZ, F. E. de C.; OTTO, R; QUINTINO, T. A. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar**. Bebedouro, 2005. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Nutricao+cana+GVitti\\_000fh3r3vzp02wyiv80rn0etnmc6zamd.pdf](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Nutricao+cana+GVitti_000fh3r3vzp02wyiv80rn0etnmc6zamd.pdf)>. Acesso em: 21 jun. 2014.

VOLTARELLI, M. A. **Qualidade da operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar nos turnos diurno e noturno**. 2013. 192 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia (Produção Vegetal). Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Unesp - Câmpus de Jaboticabal, 2013. Disponível em: <<http://base.repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/94197/000739219.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 03 abr. 2015.

VOLTOLINI, T. V.; SILVA, J. G. da; SILVA, W. E. de L.; NASCIMENTO, J. M. L. do; QUEIROZ, M. A. Á.; OLIVEIRA, A. R. de. Valor nutritivo de cultivares de cana-de-açúcar sob irrigação. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador,

v. 13, n. 4, p.894-901, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1519-99402012000400001>>. Acesso em: 19 jun. 2014.

ZERBATO, C. **Desempenho de máquinas para a semeadura e o arranquio mecanizado na cultura do amendoim em Latossolo Vermelho**. 2013. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia (Ciência do Solo), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Câmpus de Jaboticabal, Jaboticabal, 2013. Disponível em: <[http://base.repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/88241/zerbato\\_c\\_me\\_jabo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://base.repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/88241/zerbato_c_me_jabo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Acesso em: 13 maio 2015.

ZERBATO, C.; SILVA, V. F. A.; TORRES, L. S.; SILVA, R. P. da; FURLANI, C. E. A. Peanut mechanized digging regarding to plant population and soil water level. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campo Grande, v. 18, n. 4, p.459-465, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662014000400015>>. Acesso em: 13 maio 2015.