

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO APLICADO  
AO MONITORAMENTO DE PERDAS NA COLHEITA  
MECANIZADA DE CANA-DE-AÇÚCAR**

**Luma Stefania Torres**

Engenheira Agrônoma

2014

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO  
APLICADO AO MONITORAMENTO DE PERDAS NA  
COLHEITA MECANIZADA DE CANA-DE-AÇÚCAR**

**Luma Stefania Torres**

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

**Coorientador: Dr. Anderson de Toledo**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual Paulista, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal).

**2014**

T693c Torres, Luma Stefania  
Controle estatístico de processo aplicado ao monitoramento de  
perdas na colheita mecanizada de cana-de-açúcar / Luma Stefania  
Torres. -- Jaboticabal, 2014  
xiii, 59 p. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,  
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2014  
Orientador: Rouverson Pereira da Silva  
Banca examinadora: Carlos Eduardo Angeli Furlani, Welington  
Gonzaga do Vale  
Bibliografia

1. Colhedora de cana-de-açúcar. 2. Controle estatístico.  
3. Variabilidade temporal. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de  
Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.35:633.61

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –  
Serviço Técnico 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**

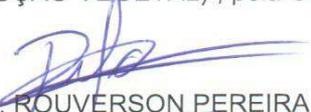
**TÍTULO:** CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO APLICADO AO MONITORAMENTO DE PERDAS NA COLHEITA MECANIZADA DE CANA-DE-AÇÚCAR

**AUTORA:** LUMA STEFANIA TORRES

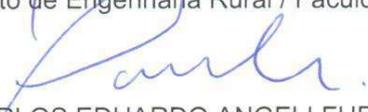
**ORIENTADOR:** Prof. Dr. ROVERSON PEREIRA DA SILVA

**CO-ORIENTADOR:** Prof. Dr. ANDERSON DE TOLEDO

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

  
Prof. Dr. ROVERSON PEREIRA DA SILVA

Departamento de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

  
Prof. Dr. CARLOS EDUARDO ANGELI FURLANI

Departamento de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

  
Prof. Dr. WELINGTON GONZAGA DO VALE

Universidade Federal de Mato Grosso / Sinop/MT

Data da realização: 10 de julho de 2014.

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

Luma Stefania Torres, filha de Nélon César Torres e Rita de Cássia Duarte, nasceu em Jaboticabal, São Paulo, no dia 14 de julho de 1987. cursou o Ensino Fundamental e Médio no Colégio Anglo, em Jaboticabal, tendo finalizado o Ensino Médio no ano de 2004. Em 2006 ingressou no curso superior de Agronomia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Câmpus de Jaboticabal, concluindo-o em dezembro de 2010. Ministrou voluntariamente aulas de geografia durante seis meses no cursinho preparatório para vestibular na Unesp de Jaboticabal. Durante quatro anos foi bolsista de Iniciação Científica CNPq na Universidade, onde atuou no grupo de pesquisa "Resíduos na Agricultura" no Departamento de Tecnologia durante dois anos, desenvolveu dois projetos de iniciação científica relacionados ao tema e, em seguida atuou dois anos no Departamento de Engenharia Rural, no grupo de pesquisa de Máquinas Agrícolas: Desempenho e Emissão (Magride) com linha de pesquisa "Desempenho de trator com biodiesel", desenvolvendo dois projetos de iniciação científica relacionados ao tema. Em 2010 ingressou como estagiária no setor colheita na Usina São Martinho S/A, sendo promovida a trainee em 2011 e, posteriormente, a Engenheira Agrônoma em 2013; foi transferida para o setor de qualidade agrícola, área em que trabalha atualmente. Nessa função, trabalha como gestora e facilitadora de todos os projetos de automação agrícola da unidade produtora, *key user* responsável pela priorização dos projetos de automação agrícola que envolvem TI em todas unidades do grupo, responsável pela Central de Operações Agrícolas (COA) da unidade, onde são criados, monitorados e controlados os KPIs de preparo de solo, plantio, tratamentos culturais, colheita e manutenção, entre outros. Em março de 2012 iniciou o curso de Mestrado em Produção Vegetal pela UNESP de Jaboticabal, no Departamento de Engenharia Rural, onde desenvolveu suas pesquisas e fez parte do LAMMA – Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola, com ênfase e experiência na área de Engenharia Agrícola, atuando nas áreas de máquinas e mecanização agrícola, controle de qualidade nas operações agrícolas mecanizadas e produção vegetal de diversas culturas. Em junho de 2014, submeteu-se à banca examinadora para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

*A todos que, de alguma forma, contribuíram para que eu concluísse esta  
dissertação,*

***Dedico.***

## AGRADECIMENTOS

Esta dissertação, escrita na correria do dia a dia, entre madrugadas, feriados e fins de semanas, foi concebida com a ajuda de muitas pessoas. Poderia citar todos os nomes e detalhar os motivos pelos quais agradeço, mas ainda assim não seria capaz de expressar toda a minha gratidão a todos que me apoiaram para que eu pudesse cumprir mais esta etapa em minha vida...

Então, vou agradecer em breves palavras, pedindo desculpas àqueles que, porventura, eu não venha a citar, mas tenham certeza que o sentimento é muito maior do que aquilo que as palavras possam expressar...

Primeiramente a Deus, por me direcionar, iluminar e dar proteção durante toda a minha vida, por tudo que nela já conquistei e ainda irei conquistar, e pela fé que move nossas vidas sempre em busca de novos horizontes, enfrentando novos desafios em busca da paz.

Aos meus queridos tios Ricardo Luiz Duarte e Gislene Martins Duarte por cuidarem de mim e da minha mãe quando mais precisamos, por todo amor, carinho, ensinamentos, educação de qualidade, pela contribuição na formação do meu caráter e valores que carrego comigo; amo incondicionalmente e sou eternamente grata a cada segundo de solidariedade e amor ao próximo dedicados a nós...

À minha amada mãe Rita de Cássia Duarte que sempre foi uma guerreira, companheira e essencial em minha vida...

Ao meu marido e companheiro há 10 anos Márcio Machado Cera por todos os incentivos, dedicação, compreensão, cumplicidade, amor, amizade e união.

À minha sogra Doralice Machado Cera e sogro Augusto Cera Junior por terem me acolhido como um membro da família com muito amor, amizade e união. Aos meus avós paternos, Jesuína Torres e Nelson Torres e avós maternos, Nelcides Ferreira e Décio Ferreira (in memoriam), e a todos os tios, tias, primos e primas, vocês são o alicerce da minha vida.

À todos os professores e funcionários que contribuíram direta ou indiretamente para minha formação durante a graduação, e em especial aos estimados amigos da minha turma de agronomia 2006 da FCAV - UNESP Jaboticabal pela convivência, bons momentos e amizades construídas.

Aos amigos Juliana Bombonato, Kaeline de Alencar, Camila Faccio e Taísa Fieno, dispensam comentários... Simplesmente fazem parte de minha história.

À Usina São Martinho S/A pelo apoio na realização dos trabalhos e pela concessão da área de estudo.

Aos companheiros e amigos de trabalho Ana Terra, Antonio Carlos Pelizari, Richardson Gouveia, Lidiane Garzon, Rafael Peluco, Bruno Máximo, Aparecido Vitorino, Marcos Marcari, Igor Pizzo e Eduardo Rodriguez.

À FCAV - UNESP JABOTICABAL, pela estrutura fornecida para minha graduação e pós-graduação.

Ao orientador, Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva, que sempre esteve disponível para me ajudar no desenvolvimento do trabalho, por acreditar no meu potencial e pela dedicação nas informações transmitidas e suporte necessário para elaboração deste trabalho.

Aos pesquisadores, Prof. Dr. Carlos Eduardo Angeli Furlani e Teresa Cristina Tarlé Pissarra, por participarem da banca de qualificação bem como pelas colocações e sugestões para o aprimoramento deste trabalho.

A todos aqueles que, de uma forma ou de outra, contribuíram para tornar este momento ser possível, por meio de conselhos, palavras amigas e momentos de sabedoria, fica aqui a minha gratidão.

## SUMÁRIO

<b>Assunto</b>	<b>Página</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> _____	<b>iv</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> _____	<b>vi</b>
<b>RESUMO</b> _____	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT</b> _____	<b>viii</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> _____	<b>1</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> _____	<b>3</b>
<b>2.1 Colheita mecanizada da cana-de-açúcar</b> _____	<b>3</b>
<b>2.2 Perdas na colheita mecanizada de cana-de-açúcar</b> _____	<b>4</b>
<b>2.3 Parâmetros da estatística descritiva</b> _____	<b>6</b>
<b>2.4 Controle estatístico de processo</b> _____	<b>8</b>
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> _____	<b>11</b>
<b>3.1 Local do experimento e equipamentos utilizados</b> _____	<b>11</b>
<b>3.2 Critérios de amostragens e determinação das perdas visíveis</b> _____	<b>16</b>
<b>3.4 Determinação da velocidade de deslocamento</b> _____	<b>18</b>
<b>3.5 Análises estatísticas</b> _____	<b>18</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> _____	<b>21</b>
<b>4.1 Análise descritiva</b> _____	<b>21</b>

4.1.1 Velocidade de colheita	21
4.1.2 Perdas visíveis na colheita	22
<b>4.1 Controle estatístico de processo</b>	<b>27</b>
4.1.1 Velocidade de colheita	27
4.1.1 Perdas na colheita	29
<b>5 CONCLUSÕES</b>	<b>42</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>43</b>
<b>7 APÊNDICES</b>	<b>48</b>
<b>A. Histogramas com curva normal para os dados de velocidade de colheita durante a safra 2012/2013.</b>	<b>48</b>
<b>B. Histogramas com curva normal para os dados de velocidade de colheita durante a safra 2012/2013.</b>	<b>49</b>
<b>C. Histogramas com curva normal para os tipos de perdas da Frente 1 durante a safra 2012/2013.</b>	<b>50</b>
<b>D. Histogramas com curva normal para os tipos de perdas da Frente 2 durante a safra 2012/2013.</b>	<b>51</b>
<b>E. Histogramas com curva normal para os tipos de perdas da Frente 3 durante a safra 2012/2013.</b>	<b>52</b>
<b>F. Histogramas com curva normal para os tipos de perdas da Frente 4 durante a safra 2012/2013.</b>	<b>53</b>
<b>G. Histogramas com curva normal para os tipos de perdas da Frente 5 durante a safra 2012/2013.</b>	<b>54</b>

<b>H. Histogramas com curva normal para os tipos de perdas da Frente 1 durante a safra 2013/2014.</b>	<b>55</b>
<b>I. Histogramas com curva normal para os tipos de perdas da Frente 2 durante a safra 2013/2014.</b>	<b>56</b>
<b>J. Histogramas com curva normal para os tipos de perdas da Frente 3 durante a safra 2013/2014.</b>	<b>57</b>
<b>K. Histogramas com curva normal para os tipos de perdas da Frente 4 durante a safra 2013/2014.</b>	<b>58</b>
<b>L. Histogramas com curva normal para os tipos de perdas da Frente 5 durante a safra 2013/2014.</b>	<b>59</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
1. Classes de declividade das áreas colhidas pelas Frentes na safra 2012/2013 ....	12
2. Classes de declividade das áreas colhidas pelas Frentes na safra 2013/2014 ....	12
3. Comparativo da idade média das colhedoras utilizadas nas Frentes de trabalho entre as safras.....	14
4. Cana bisada colhida pelas Frentes na safra 2013/2014. ....	14
5. Colhedora modelo A7700 com seus respectivos operadores. ....	15
6. Colhedora modelo A8800 com seus respectivos operadores. ....	15
7. Aspecto visual do caminhamento em diagonal na área após a determinação dos pontos amostrais ao acaso.....	16
8. Demonstrativo do esquema de amostragem das perdas visíveis. ....	17
9. Tipos de perdas visíveis avaliadas.....	17
10. Estrutura das cartas de controle.....	20
11. Carta de controle para velocidade de colheita das colhedoras por Frente durante a safra 2012/2013.....	28
12. Carta de controle para velocidade de colheita das colhedoras por Frente durante a safra 2013/2014.....	29
13. Carta de controle para perdas de toco para as Frentes na safra 2012/2013. ....	31
14. Carta de controle para perdas de toco para as Frentes na safra 2013/2014. ....	32
15. Carta de controle para perdas de rebolo estilhaçado para as Frentes na safra 2012/2013.....	33
16. Carta de controle para perdas de rebolo estilhaçado para as Frentes na safra 2013/2014.....	34
17. Carta de controle para perdas de pedaço solto e fixo para as Frentes na safra 2012/2013.....	35
18. Carta de controle para perdas de pedaço solto e fixo para as Frentes na safra 2013/2014.....	35

19. Carta de controle para perdas de cana inteira para as Frentes na safra 2012/2013.....	36
20. Carta de controle para perdas de cana inteira para as Frentes na safra 2013/2014.....	37
21. Carta de controle para perdas de estilhaço para as Frentes na safra 2012/2013. .....	38
22. Carta de controle para perdas de estilhaço para as Frentes na safra 2012/2013. .....	39
23. Carta de controle para perdas totais para as Frentes na safra 2012/2013. ....	41
24. Carta de controle para perdas totais para as Frentes na safra 2013/2014. ....	41

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela</b>	<b>Página</b>
1. Informações das colhedoras utilizadas nas Frentes de trabalho durante a safra 2012/2013.....	13
2. Informações das colhedoras utilizadas nas Frentes de trabalho durante a safra 2013/2014.....	13
3 Análise estatística para velocidade de colheita durante a safra 2012/2013. ....	22
4 Análise estatística para velocidade de colheita durante a safra 2013/2014. ....	22
5. Análise estatística para as perdas na colheita de cana-de-açúcar por Frente para a safra 2012/2013.....	25
6. Análise estatística para as perdas na colheita de cana-de-açúcar por Frente para a safra 2013/2014.....	26

## **CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO APLICADO AO MONITORAMENTO DE PERDAS NA COLHEITA MECANIZADA DE CANA-DE-AÇÚCAR**

**RESUMO** - Na cadeia produtiva do setor sucroenergético, o processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar é considerado um dos maiores gargalos econômicos, apresentando baixa eficiência operacional e elevadas perdas. Em busca de minimizar estes problemas e auxiliar a melhoria nos processos, este trabalho objetivou avaliar o potencial de uma ferramenta estatística para a gestão dos dados de velocidade e perdas na colheita mecanizada de cana-de-açúcar, levantados durante duas safras, para cinco Frentes de trabalho. Os dados foram coletados em uma Usina da região de Ribeirão Preto, durante 9 meses da safra 2012/2013 e 9 meses da safra 2013/2014. As perdas foram subdivididas em: toco, reboleto estilhaçado, pedaço solto e fixo, cana inteira, estilhaço e total, para cada Frente separadamente. Os dados foram agrupados em 40 períodos de colheita, sendo então realizadas análises estatísticas utilizando o software Minitab 16<sup>®</sup>. Os valores de perdas geraram curvas com características assimétricas positivas e leptocúrticas. Todos os coeficientes de variação foram elevados demonstrando a grande variabilidade dos índices de perdas. Os valores de perdas na colheita mantiveram-se instáveis em todas as frentes, porém, os resultados foram considerados dentro dos índices de perdas aceitáveis para as usinas brasileiras.

**Palavras-chave:** colhedora de cana-de-açúcar, controle estatístico de processo, variabilidade temporal.

## STATISTICAL PROCESS CONTROL APPLIED TO MONITORING OF LOSS IN MECHANICAL SUGARCANE HARVESTING

**ABSTRACT** - In the sugarcane production chain, the sugarcane process for mechanized harvesting is considered one of the greatest economic bottlenecks, showing low levels of operational efficiencies and high levels of losses. To assist the improvement in harvesting processes and procedures you can adopt quality controls improving harvesting operations and by reducing the levels of losses. The objective of this work was to evaluate the losses at harvest data collected during two harvest season analyzing five teams. The losses data were collected in 9 months of the 2012/2013 and 9 months of the 2013/2014 harvest season by the harvest quality team. The losses were subdivided into: stubbles, stalks, splinted stalks, untied and fixed piece, whole cane, cane top, splint and total each team separately. The loss data were subdivided weekly, totaling 40 weeks of harvest, and the statistical analyses were using Minitab 16<sup>®</sup> software. The values of losses generated curves with asymmetrical features positive leptokurtic. Almost all coefficients of variation were high showing a large variability among the data collected and harvest losses indexes. With regard to the values of harvest losses, all indexes remained out of control for all teams, however the results were considered within acceptable loss rates for Brazilian Sugarcane mills.

**Keywords:** sugarcane harvester, statistical process control, temporal variability.

## 1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar possui destaque na produção de etanol, açúcar e energia, gera emprego e renda, fortalece a pesquisa, desenvolvimento, inovação e complementa a crescente demanda energética dependente de derivados do petróleo (SUNDFELD e MACHADO, 2011).

Dentre as atividades agrícolas de condução da cana-de-açúcar, as etapas da colheita, carregamento e transporte são consideradas de maior importância econômica. Nas usinas de cana-de-açúcar brasileiras existem, de maneira geral, duas formas de realizar a colheita: semimecanizada e mecanizada. Na primeira o corte é feito manualmente e o carregamento e transporte realizados por meio de máquinas. Na segunda as três operações são realizadas por meio de máquinas. De acordo com medições feitas pelo CTC, quando o corte é mecanizado, 10% da matéria-prima colhida é perdida no campo (MAGALHÃES et al., 2006).

A Lei nº 11.241 de 19/09/2002 do estado de São Paulo, que impôs a eliminação gradativa da queima da palhada, proíbe a queimada em canaviais no Estado com prazo até 2014 para áreas mecanizáveis e 2017 para não mecanizáveis (SÃO PAULO, 2007). Desta forma, a mecanização continuará sendo adotada naturalmente, como um processo evolutivo da atividade, e a implantação de novas tecnologias, dentre elas a redução de perdas de matéria-prima, reforçará ainda mais a adoção.

Os principais fatores que ocasionam as perdas na colheita são: variedade, tratamentos culturais, preparo do solo e da área, manutenção da colhedora, habilidade do operador e porte da cultura, dentre outros. Os padrões adotados usinas brasileiras como admissíveis para as perdas na colheita mecanizada situam-se entre 3 a 4 t ha<sup>-1</sup> (BENEDINI e SILVA, 2010). Para manter estes padrões, as empresas do setor sucroenergético acompanham as perdas, realizando monitoramentos em campo e calculando as médias aritméticas das perdas, sem, no entanto, realizar uma investigação mais profunda e diagnósticos que visem propor medidas para que se

possa obter a redução dessas perdas. De acordo com Mingoti e Fidelis (2001), a combinação dos levantamentos quantitativos com a utilização de ferramentas do controle estatístico de qualidade adequadas, permite a detecção das alterações dos parâmetros de determinado processo e a resolução mais ágil dos problemas.

Desta forma, pressupondo-se que o uso de ferramentas de controle estatístico de processo possa contribuir para a melhoria da gestão das atividades mecanizadas das empresas do setor sucroenergético, este trabalho objetivou verificar o potencial do uso das cartas de controle para melhor interpretação dos valores de perdas na colheita mecanizada de cana-de-açúcar, de modo a contribuir para o gerenciamento das unidades produtoras da cultura.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Colheita mecanizada da cana-de-açúcar

A projeção da safra 2013/2014 de cana-de-açúcar no Brasil indica acréscimo na área de 3,7%, com incremento de moagem em 10,7% e aumento de produtividade de 69 t ha<sup>-1</sup> para 74 t ha<sup>-1</sup> em relação à safra anterior CONAB (2013).

A colheita de cana-de-açúcar é a atividade que se inicia com o corte da cana no campo, seu transporte até a usina e termina quando esta chega à indústria e é submetida à moagem (BOFILL et al. 1982). As operações de colheita de cana-de-açúcar foram classificadas por Ripoli (1996) em três subsistemas distintos: manual, semimecanizado e mecanizado. Tal classificação deve-se à existência de um sistema global que envolve o corte, o carregamento, o transporte e a recepção da matéria-prima. O subsistema mecanizado diferencia-se pelo fato de as operações de corte, carregamento e transporte ocorrerem exclusivamente por meio de máquinas.

Nesse sistema, as colhedoras recolhem o material cortado pelo despontador e pelo corte de base, para dentro da máquina, onde os colmos são picados em rebolos, sendo a matéria estranha vegetal controlada parcialmente por meio de ventilação ou exaustão, enquanto os colmos picados são conduzidos, por meio de taliscas e correntes ou rotores-lançadores, sobre veículos de transporte com carrocerias teladas e/ou fechadas conhecidos como transbordos (FURLANI NETO e RIPOLI,1996).

Dentro do ciclo operacional gerado pela cana-de-açúcar, a etapa da colheita pode ser considerada como uma das mais importantes. A qualidade do produto entregue para a indústria nas usinas depende desta etapa (MAGALHÃES et al., 2008). No processo de produção da cana, a colheita destaca-se pelos altos custos e problemas envolvendo as operações agrícolas, seja esse conduzido de forma manual, semimecanizada, ou mecanizada (NUNES JÚNIOR et al., 2005). Para Ripoli

e Paranhos (1987) do ponto de vista econômico, o corte, o carregamento e transporte de matéria-prima absorvem em torno de 50% das despesas totais da produção agrícola, refletindo um papel bastante destacado no balanço econômico das empresas. Dentro desse sistema, as perdas de cana deixadas no campo, representam fatia significativa de custos e valor econômico considerável.

Segundo Coelho (2009), com a preocupação ambiental e humana por parte de diferentes segmentos da sociedade, a tendência é que a colheita mecanizada seja mais utilizada nas próximas décadas, e que apesar do aumento de eficiência e de redução de custos de colheita, acarreta em aumento de perdas de cana deixadas no canavial. Torquato et al. (2010) salientam que a colheita mecânica de cana-de-açúcar crua tem apresentado economia de até 30% em relação ao custo da colheita manual de cana-de-açúcar queimada, porém, os índices de perdas têm aumentado significativamente.

Furlani et al. (1996) observando dados de colheita mecanizada de usinas, verificou que a partir do desenvolvimento tecnológico e da sistematização dos talhões, as colhedoras de cana-de-açúcar, conseguem capacidade efetiva em média, de 60 t h<sup>-1</sup>.

## **2.2 Perdas na colheita mecanizada de cana-de-açúcar**

As perdas na colheita mecanizada de cana-de-açúcar crua, em relação à cana-de-açúcar queimada, tendem a aumentar devido à maior massa vegetal processada pela colhedora, pois não há queima do canavial para efetuar uma pré-limpeza da palha e de matéria estranha (NEVES et al., 2004).

Neves (2003), na busca de alternativas para redução de perdas invisíveis, observou variação de 2 a 11% nas perdas relacionadas aos sistemas das colhedoras. O autor descreve perdas visíveis como aquelas passíveis de quantificação no campo, constituindo, especialmente, canas inteiras, rebolos e tocos. A descrição para perdas invisíveis resume-se naquelas impossíveis de serem levantadas diretamente no campo, caracterizadas na forma de caldo, serragem e

estilhaços de cana. Basicamente, as perdas invisíveis ocorrem devido à ação de mecanismos rotativos que cortam, picam e limpam a cana-de-açúcar durante o processamento interno nas colhedoras.

Para Mello e Harris (2003), os cortadores de base das colhedoras de cana-de-açúcar são os principais causadores de altos índices de perdas de cana-de-açúcar por quantidade de material perdido, deteriorações que facilitam o ataque de fungos e doenças, bem como por danos às soqueiras que favorecem a redução na produtividade do canavial.

Neves et al. (2006) relataram que a grande variação na velocidade do ar na câmara de limpeza possui a maior interferência nas perdas durante a colheita. Para NEVES et al., 2004 a variável lascas foi representada por 0,9 e 3,9% do total das perdas, apontando diferença significativa entre os tratamentos estudados.

No estudo de Benedini et al. (2009) as perdas visíveis na colheita de cana de açúcar estão diretamente relacionadas a fatores como variedade, preparação da área, treinamento do profissional, velocidade da colhedora e por fim a manutenção de todo equipamento.

Magalhães et al. (2008) avaliaram um sistema para sincronizar a velocidade de colheita entre a colhedora de cana-de-açúcar e o transbordo, melhorar o sincronismo entre os veículos, ampliar a capacidade operacional e a eficiência de campo do conjunto mecanizado. Os autores concluíram que com o sistema de sincronismo ativado, as perdas de cana-de-açúcar diminuíram em torno de  $0,6 \text{ t ha}^{-1}$ , o equivalente a 8,16%, na redução de perdas de rebolos, quando comparado ao sistema de sincronismo desativado.

Belardo (2010) realizou um ensaio padronizado de colheita mecanizada em um canavial de porte ereto comparando as três principais colhedoras de cana disponíveis no mercado brasileiro encontrou índices de perdas entre 2 a  $3,5 \text{ t ha}^{-1}$  (2 a 5%) trabalhando em duas velocidades de colheita (5 e  $7 \text{ km h}^{-1}$ ). O autor ainda lembra que das perdas totais, aproximadamente 45% são representadas por tocos, ou seja, perdas relacionadas à altura do corte de base, 40% por estilhaços, representando as perdas no extrator primário, 10% por rebolos, sendo essas por problemas no elevador da colhedora e/ou por falta de sincronismo entre a colhedora

e transbordo e 5% por perdas de colmos inteiros que deixaram de ser cortados e alimentados para dentro da colhedora, mais relacionadas a canaviais acamados e deitados.

Noronha et al. (2011) estudaram a influência das perdas na colheita mecanizada realizada no período diurno comparado ao noturno, concluindo que as perdas podem aumentar em 20% durante a colheita noturna. Além de maiores percentuais de perdas, o autor observou que houve que ocorreu maior variabilidade para a maioria dos tipos de perdas durante a colheita noturna. Giachini (2012) também avaliou o comportamento das perdas na colheita mecanizada entre diferentes turnos de trabalho, encontrando menores valores de perdas durante o turno A, seguido do turno B e maiores no turno C, quantificadas em 0,92, 1,60 e 2,27 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Belardo (2010), salienta que para outras culturas como grãos, por exemplo, os índices de perdas atingem níveis menores que 1% de produto colhido e que o setor sucroalcooleiro deve buscar baixar os índices de perdas entre 2 a 5% para índices aceitáveis abaixo de 2%, apesar das grandes diferenças entre as culturas, seus manejos e a funcionalidade das colhedoras.

### **2.3 Parâmetros da estatística descritiva**

Técnicas estatísticas podem ser utilizadas para descrever e interpretar a variabilidade de um processo, e o emprego de ferramentas estatísticas contribui para a redução da variabilidade (ALVES, 2003). Para Bonilla (1995), a análise descritiva pode ser fundamentada em medidas de tendência central (média aritmética, mediana e moda), medidas de dispersão (amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação) medidas de assimetria e de curtose e técnicas ou gráficos como histogramas e diagramas de caixa (*box-plots*), dentre outros.

Pimentel-Gomes e Garcia (2002) descrevem a média aritmética como sendo a medida capaz de fornecer uma ideia do conjunto de dados de determinada amostra e a mediana, como o valor que divide uma série ordenada de dados, de tal

forma que metade dos dados são iguais ou superiores e metade são iguais ou inferiores a este valor.

Para Samohyl (2005), as medidas de dispersão são igualmente importantes às medidas de tendência central, pois representam a distribuição dos dados ao redor da média. Já para Pimentel-Gomes e Garcia (2002) as medidas de tendência central não possibilitam a avaliação das dispersões, existindo vários modos de medir esta dispersão, como por exemplo, a amplitude, que representa a diferença entre os valores extremos dentro de uma amostra. Outra variável que deve ser analisada é o coeficiente de variação de uma distribuição de dados. Pimentel-Gomes e Garcia (2002) os classificam como muito alto (>30%); alto (entre 21 e 30%); médio (11 a 20%) e baixo (<10%). De acordo com Guimarães (2001) o índice de assimetria ( $C_s$ ) indica o afastamento da variável em relação a um valor central. Este índice serve para caracterizar e quantificar o afastamento da simetria que estão distribuídas as frequências, sendo que:  $C_s > 0$  tem-se uma distribuição assimétrica à direita; se  $C_s < 0$  a distribuição é assimétrica à esquerda; e se  $C_s = 0$  a distribuição é simétrica. Além do mais, se o coeficiente de assimetria for menor que  $|0,15|$ , a distribuição tem grau de assimetria pequeno; se for maior que  $|1,0|$ , grau de assimetria elevado e entre  $|0,15|$  e  $|1,0|$ , moderado. Outra análise importante é o índice de curtose ( $C_k$ ), este indicador mostra a dispersão (achatamento) da distribuição em relação a um padrão, geralmente a curva normal. O valor de distribuição simétrica no programa Minitab<sup>®</sup> é  $C_k = 0$ . A curtose recebe a seguinte classificação:  $C_k = 0$  (distribuição mesocúrtica; normal); se  $C_k < 0$  a distribuição é platicúrtica e se  $C_k > 0$  a distribuição é leptocúrtica.

Para Paes (2009), em qualquer análise de dados, a primeira etapa é realizar uma análise descritiva e verificar a normalidade dos dados, seja por meio de histogramas, diagramas de caixa (*box-plots*), análise da proximidade entre média e mediana e/ou dos coeficientes de assimetria e curtose, que medem, respectivamente, o grau de desvio ou afastamento da simetria e do achatamento da distribuição. Além dos métodos descritivos, existem os testes de hipóteses que avaliam a normalidade, como por exemplo, os testes de *Ryan-Joiner*, Kolmogorov-Smirnov, de Shapiro-Wilks e Anderson-Darling.

Pasquali (2003) relata que a curva normal original possui apenas um pico e é definida pela simetria – as áreas que estão sob a curva são idênticas em ambos os lados da média.

## **2.4 Controle estatístico de processo**

O controle estatístico de processo (CEP) é amplamente utilizado na área industrial para monitorar, avaliar e, auxiliar na melhoria dos processos, considerando os elementos conformes e não conformes.

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

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

- Processo estável: é aquele no qual há somente a variabilidade natural, ou seja, a variabilidade se mantém em uma faixa estável, denominada de faixa característica de processo;
- Processo instável: é o processo que está sob influência de causas especiais de variação, ou seja, quando seu comportamento se torna diferente ao padrão esperado. Nos processos fora de controle ou instáveis é importante descobrir as causas de origem da variação em busca de torna-lo estável.

Sendo assim, de acordo com Souza (2003), a variabilidade encontra-se presente em todos os processos produtivos e, diante do exposto, Hessler et al.

(2009) ressaltam que um dos principais objetivos do Controle Estatístico de Processo é a eliminação da variabilidade não natural existente em um processo. Por isso, o CEP caracteriza-se como uma coleção de ferramentas com base estatística, de auxílio ao controle da qualidade, útil na obtenção da estabilidade do processo e na melhoria da capacidade por meio da redução da variabilidade (MONTGOMERY, 2000).

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

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

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

De acordo com NHS Scotland (2010), existem duas ferramentas mais populares no CEP, que são o gráfico sequencial e a carta ou gráfico de controle. Esta popularidade decorre da facilidade na construção e interpretação destes gráficos, pois são poucas as regras básicas a aplicar para identificar o tipo de variação. A carta de controle é composta por uma linha média e duas outras linhas (superior e inferior) que representam os limites de controle e os valores característicos do processo. Os limites de controle são aferidos pelo valor médio, somado ou subtraído a três vezes o desvio padrão. Quando todos os pontos do gráfico localizam-se entre os limites de controle, considera-se que o processo está

sob controle. Quando, no mínimo, um ponto localiza-se fora desses limites, considera-se que o processo está fora de controle.

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

### 3 MATERIAL E MÉTODOS<sup>1</sup>

#### 3.1 Local do experimento e equipamentos utilizados

O trabalho foi realizado na área produtiva de colheita mecanizada de cana-de-açúcar de uma usina de cana-de-açúcar localizada na região de Ribeirão Preto – SP, uma das principais regiões produtivas do estado de São Paulo. Nas áreas desta unidade industrial predominam solos de topografia plana e levemente ondulada, de texturas média a argilosa, e clima Cwa pela classificação de Köppen (subtropical úmido).

Neste trabalho foram utilizados os dados de perdas coletados pela equipe de auditoria de qualidade da usina, durante as safras 2012/13 e 2013/2014. A divisão logística das máquinas de colheita é denominada de Frentes de Trabalho (Frentes). Cada Frente engloba em média oito colhedoras e diversos conjuntos transbordos, da marca Case IH.

Na safra 2013/2014 em relação à safra anterior houve aumento da área produtiva da unidade produtora e, conseqüentemente aumento na infraestrutura de colheita e das Frentes. Durante a safra 2012/2013 a usina trabalhou com cinco Frentes de colheita mecanizada (F1, F2, F3, F4 e F5), enquanto que na safra 2013/2014 a unidade produtora trabalhou com sete Frentes (F1, F2, F3, F4, F5, F6 e F7). Porém, para permitir o estudo comparativo entre as duas safras, foram consideradas somente as cinco Frentes utilizadas nas duas safras (F1, F2, F3, F4 e F5).

Nas Figuras 1 e 2 encontram-se detalhadas as classes de declividade das áreas colhidas pelas Frentes durante as safras 2012/2013 e 2013/2014. Nas Tabelas 1 e 2 e na Figura 3 encontram-se as informações das características das colhedoras nas cinco Frentes para as safras 2012/2013 e 2013/2014, respectivamente.

---

<sup>1</sup> A citação de marcas e modelos comerciais não implica em recomendação de uso por parte do autor.

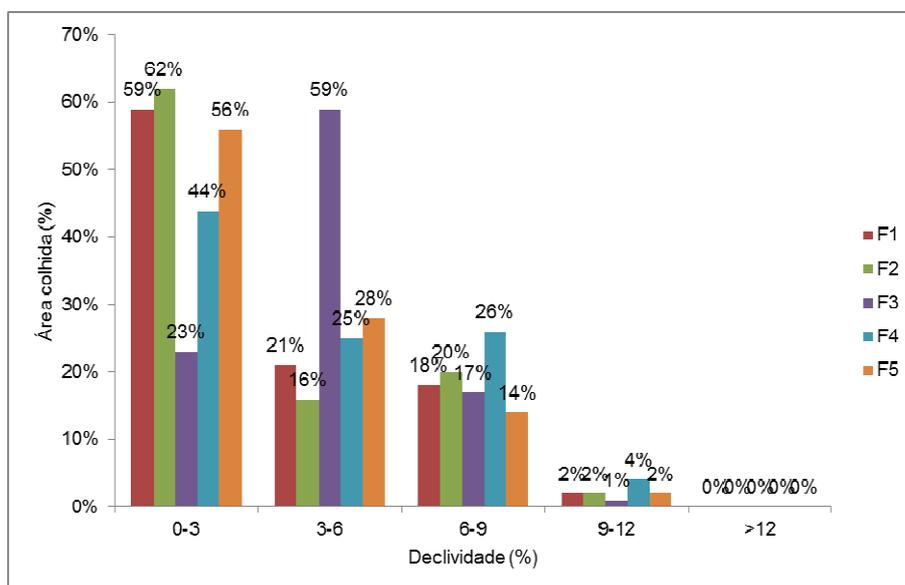


Figura 1. Classes de declividade das áreas colhidas pelas Frentes na safra 2012/2013

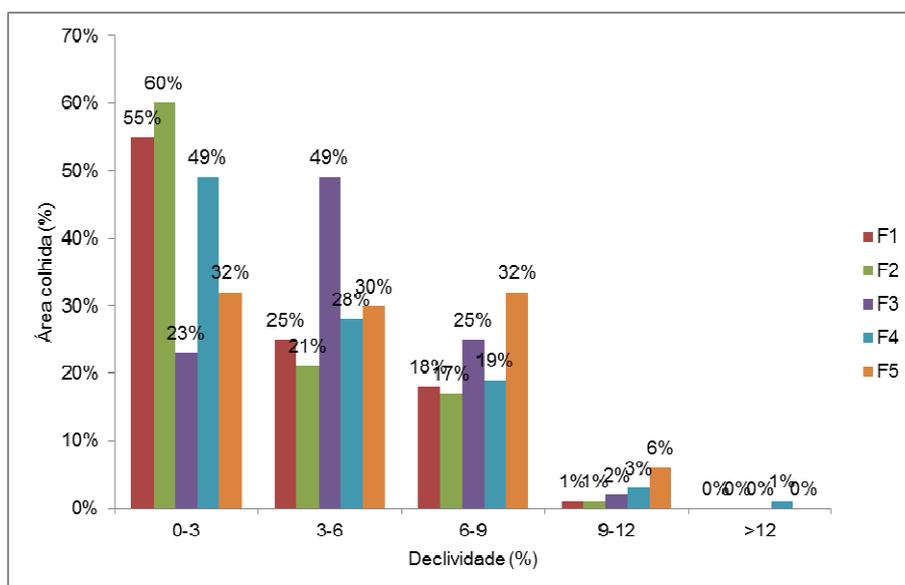


Figura 2. Classes de declividade das áreas colhidas pelas Frentes na safra 2013/2014

Tabela 1. Informações das colhedoras utilizadas nas Frentes de trabalho durante a safra 2012/2013.

<b>Frente</b>	<b>Modelo</b>	<b>Ano fabricação<sup>1</sup></b>	<b>Auto Tracker<sup>2</sup></b>	<b>Produção/máquina<sup>3</sup></b>
F1	A-8800	2009/2012	Presente	44,54
F2	A-7700	2007	Presente	43,94
F3	A-8800	2009/2012	Presente	44,98
F4	A-7700	2007	Presente	45,43
F5	A-7700	2005	Ausente	42,52

<sup>1</sup> F1 e F3 possuem máquinas de anos de fabricação distintos; <sup>2</sup> Dispositivo que controla automaticamente a altura do corte de base; <sup>3</sup> Produção média das colhedoras (t h<sup>-1</sup>).

Tabela 2. Informações das colhedoras utilizadas nas Frentes de trabalho durante a safra 2013/2014.

<b>Frente</b>	<b>Modelo</b>	<b>Ano fabricação<sup>1</sup></b>	<b>Auto Tracker<sup>2</sup></b>	<b>Produção/máquina<sup>3</sup></b>
F1	A-8800	2012/2013	Presente	50,97
F2	A-8800	2009/2013	Presente	48,01
F3	A-8800	2009/2012	Presente	47,14
F4	A-8800	2009/2013	Presente	50,54
F5	A-7700	2005/2007	Ausente/Presente	33,64

<sup>1</sup> F1 e F3 possuem máquinas de anos de fabricação distintos; <sup>2</sup> Dispositivo que controla automaticamente a altura do corte de base; <sup>3</sup> Produção média das colhedoras (t h<sup>-1</sup>).

Durante a safra 2012/2013 não houve colheita de cana bisada<sup>2</sup>, porém, durante safra 2013/2014 aproximadamente 14% do canavial colhido foi composto por cana bisada. Na Figura 4 observa-se a porcentagem de cana bisada colhida em cada Frente na safra 2013/2014.

<sup>2</sup> Cana bisada: cana que não pôde ser colhida em uma safra e ficou no campo por mais de uma safra.

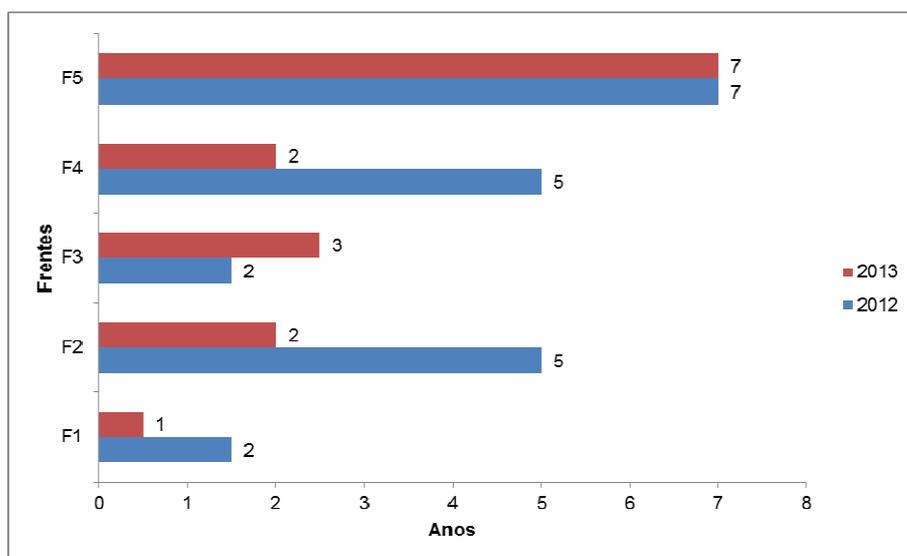


Figura 3. Comparativo da idade média das colhedoras utilizadas nas Frentes de trabalho entre as safras.

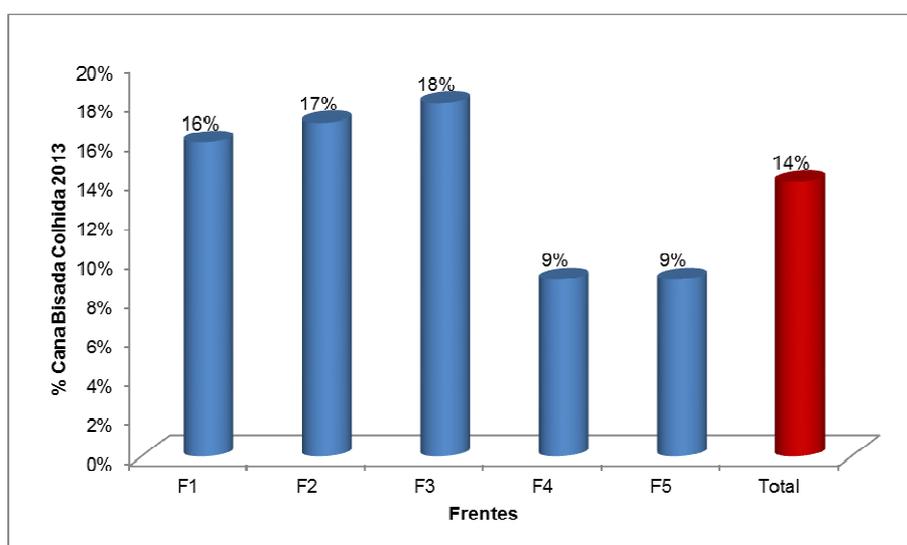


Figura 4. Cana bisada colhida pelas Frentes na safra 2013/2014.

A colheita ocorreu sem queima prévia do canavial e o espaçamento entre fileiras utilizado foi de 1,5 m, sendo a produtividade média estimada pela usina de 93,0 t ha<sup>-1</sup> na safra 2012/2013 e 103,0 t ha<sup>-1</sup> durante a safra 2013/2014. Todas as colhedoras utilizadas no trabalho eram da marca CASE IH, modelos A77000 (Figura

5) e A8800 (Figura 6). Durante as safras 2012/2013 e 2013/2014, as colhedoras apresentaram média geral entre 3.581 e 3.839 horas de uso, respectivamente.



Figura 5. Colhedora modelo A7700 com seus respectivos operadores.



Figura 6. Colhedora modelo A8800 com seus respectivos operadores.

### 3.2 Critérios de amostragens e determinação das perdas visíveis

Os pontos amostrais foram escolhidos ao acaso, sendo parte dos pontos em áreas colhidas à noite e o restante em áreas colhidas durante o dia. O valor de cada amostra diária por Frente representa a média aritmética de 10 pontos amostrados, o que corresponde a aproximadamente 50 ha.

Dentro das áreas colhidas foi realizado o caminhamento em diagonal (Figura 7), arremessando-se aleatoriamente um bastão para delimitação da área. Para determinação das perdas visíveis foi utilizada uma armação de 3,00 x 3,33 m (10 m<sup>2</sup> de área) na qual, dentro de seus limites, as perdas foram separadas, pesadas e quantificadas conforme descrito por Silva et al. (2008) e adaptado pela usina.



Figura 7. Aspecto visual do caminhamento em diagonal na área após a determinação dos pontos amostrais ao acaso.

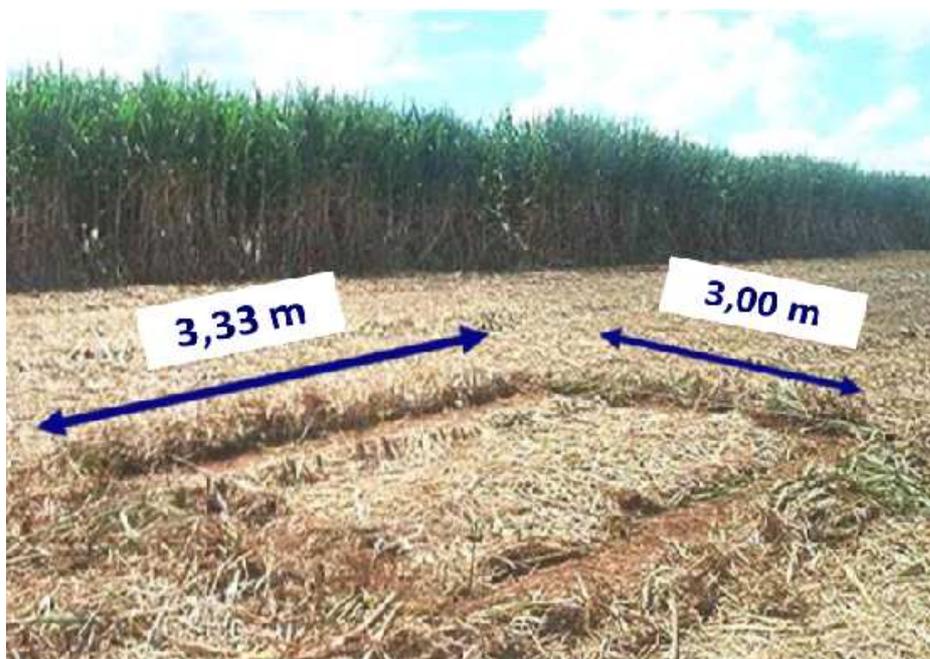


Figura 8. Demonstrativo do esquema de amostragem das perdas visíveis.



Figura 9. Tipos de perdas visíveis avaliadas.

As perdas visíveis de cana-de-açúcar foram classificadas em:

- Toco: cana fixa ao solo, com intervalo de comprimento de 3 a 20 cm.
- Pedaco Fixo: pedaco de cana preso ao solo, de comprimento maior que 20 cm e menor que a metade do tamanho da cana.
- Pedaco Solto: parte de cana solta no solo, que não exceda mais que 50% do tamanho da cana.
- Rebolo Estilhaçado: rebolo de tamanho maior que 1/3 do diâmetro normal, que sofreu danos pelo exaustor.
- Estilhaço: parte da cana menor ou igual a 1/3 do diâmetro do rebolo, resultante do impacto com as hélices do exaustor.
- Cana Inteira: cana não recolhida pela colhedora, fixa ou não no solo, de comprimento maior que a metade do tamanho da cana que estava sendo colhida.

Após a separação do material encontrado, foi feita a pesagem de cada material recolhido utilizando uma balança portátil com capacidade de leitura até 25 kg e precisão de 10 gramas, extrapolando-se os valores para  $t\ ha^{-1}$ .

### **3.4 Determinação da velocidade de deslocamento**

A velocidade das colhedoras foi registrada em seus respectivos computadores de bordo, coletadas diariamente e armazenadas no banco de dados da usina. A velocidade média de colheita foi aferida em campo.

### **3.5 Análises estatísticas**

Os dados, coletados durante todos os dias trabalhados, entre o intervalo de abril a dezembro de 2012 e abril a dezembro de 2013, foram posteriormente analisados por meio da estatística descritiva para identificação do comportamento e da variabilidade. Foram calculadas medidas de tendência central (média aritmética e mediana) e de dispersão (coeficientes de variação, assimetria e curtose), utilizando-

se o programa Minitab 16<sup>®</sup>. Também foi realizada a averiguação da normalidade na distribuição dos dados pelo teste de *Ryan-Joiner*.

As análises do controle estatístico de processo foram aplicadas para as variáveis velocidade e de perdas na colheita, consideradas como indicadores de qualidade, sendo realizadas por meio de cartas de controle. O modelo de carta de controle selecionado para análise do estudo foi “Subgrupo Xbar”, que gera uma carta de controle para as médias dos subgrupos, de modo que seja possível examinar o nível e a variação da média a partir dos limites inferior (LIC) e superior (LSC) de controle. Quando é observado mais de um ponto extremo a esses dois limites (Figura 10), classificam-se os processos como instáveis, ou sem controle NORONHA et al. (2011).

Como foram realizadas amostragens nos dias trabalhados, devido à ação da chuva não houve trabalho em alguns dias durante a safra. Portanto, cada subgrupo nas cartas de controle representa o agrupamento de 5 amostras (5 dias de trabalho). Os limites de controle foram estabelecidos considerando-se a variação dos dados devido a causas não controladas no processo (causas especiais), tendo sido calculados com base no desvio-padrão das variáveis, como demonstrado nas equações (1) e (2).

$$LSC = \bar{x} + 3\sigma \quad (1)$$

$$LIC = \bar{x} - 3\sigma \quad (2)$$

Em que,

LSC: limite superior de controle;

$\bar{x}$ : média geral da variável;

$\sigma$ : desvio-padrão;

LIC: limite inferior de controle.

Quando o cálculo do limite inferior de controle resultou em valores negativos, o mesmo foi considerado com valor nulo ( $LIC=0$ ), uma vez que para as variáveis em estudo os valores negativos não possuem nenhum significado físico.

Para testar as causas especiais, utilizou-se do teste do “*Automotive Industry Action Group (AIAG)*”, citado por Minitab (2003), que gera os erros correspondentes nas cartas de controle. Apesar de o programa e o teste utilizados permitirem a geração de vários tipos de erros, neste trabalho considerou-se somente o erro do “Tipo 1”, que considera como fora dos limites de controle, todo e qualquer ponto maior ou menor que a média, mais três vezes o desvio-padrão.

Neste programa, quando uma observação apresenta falha no teste para causas especiais, o ponto é destacado na carta de controle, indicando variação não-aleatória nos dados, considerada como variação devido a causas especiais, indicando que a mesma seja investigada.

Quando nenhum ponto é destacado na carta de controle, não há observação falha no processo, ou seja, não existem causas especiais de variação e, conseqüentemente, o processo está sob controle estatístico, caso contrário, o mesmo é considerado fora de controle.

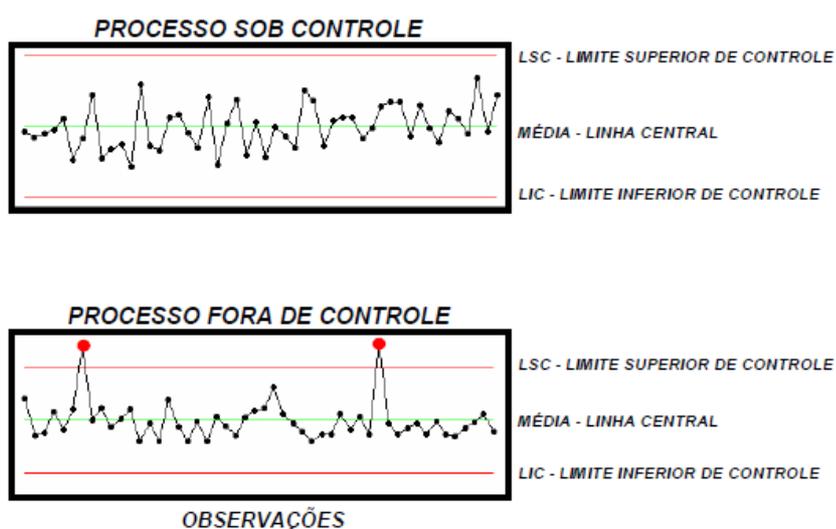


Figura 10. Estrutura das cartas de controle.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Análise descritiva

#### 4.1.1 Velocidade de colheita

A velocidade média de colheita (Tabela 3) durante a safra 2012/2013 foi cerca 13% maior do que a velocidade média safra 2013/2014. A redução da velocidade média de colheita de uma safra para a outra pode estar diretamente relacionada ao aumento de, aproximadamente, 11% na produtividade da safra 2013/2014 em relação à safra 2012/2013. Segundo os fabricantes das colhedoras, a capacidade máxima de trabalho pode atingir até  $9,0 \text{ km h}^{-1}$ , porém, conforme Ripoli e Ripoli (2009), a elevada produtividade agrícola associada ao acamamento do canavial, pode reduzir o potencial de colheita das colhedoras, pois existe a necessidade de redução da velocidade de deslocamento, a fim de evitar o embuchamento (excesso de material vegetal nos órgãos ativos de funcionamento da colhedora, provocando a paralisação destes mecanismos) e o aumento das perdas.

Ao se analisar os resultados da estatística descritiva para as duas safras (Tabelas 3 e 4), observa-se que as médias mantiveram-se próximas às medianas e que os coeficientes de assimetria (Cs) variaram de forma negativa e apresentaram curvas leptocúrticas ( $C_k > 0$ ), indicando que os valores são extremos com relação à média, como pode ser visualizado nos histogramas (Apêndices A e B). Os coeficientes de variação foram superiores a 21% e menores que 30%, sendo classificados como altos, de acordo com a classificação de Pimentel-Gomes e Garcia (2002). As velocidades, quando analisadas pelo teste de *Ryan-Joiner*, apresentaram distribuição anormal.

Tabela 3 Análise estatística para velocidade de colheita durante a safra 2012/2013.

Frente	Médias (km h <sup>-1</sup> )	Medianas	Coeficientes <sup>1</sup>		CV <sup>2</sup>	Teste RJ <sup>3</sup>	Prob. <sup>4</sup>	P <sup>5</sup>
			Cs	Ck				
F1	4,0	4,1	-2,51	7,56	26,4	0,834	A	<0,010
F2	4,2	4,4	-2,35	5,84	28,4	0,846	A	<0,010
F3	4,1	4,2	-2,50	8,04	25,2	0,851	A	<0,010
F4	4,4	4,7	-2,27	6,56	26,0	0,874	A	<0,010
F5	4,0	4,1	-1,86	5,49	27,0	0,905	A	<0,010
Total	4,1	4,3	-2,19	6,11	26,9	0,876	A	<0,010

<sup>1</sup> Cs: coeficiente de assimetria, Ck: curtose; <sup>2</sup> CV: coeficiente de variação; <sup>3</sup> RJ: teste de normalidade de Ryan-Joyner; <sup>4</sup> Distribuição de probabilidade (N: distribuição normal; A: distribuição Assimétrica); <sup>5</sup> Valor-P.

Tabela 4 Análise estatística para velocidade de colheita durante a safra 2013/2014.

Frente	Médias (km h <sup>-1</sup> )	Medianas	Coeficientes <sup>1</sup>		CV <sup>2</sup>	Teste RJ <sup>3</sup>	Prob. <sup>4</sup>	P <sup>5</sup>
			Cs	Ck				
F1	3,7	3,8	-1,88	7,01	22,7	0,916	A	<0,010
F2	3,9	4,0	-2,64	9,38	21,7	0,865	A	<0,010
F3	4,3	4,4	-1,31	4,27	21,3	0,958	A	<0,010
F4	3,7	3,8	-1,95	5,79	25,7	0,902	A	<0,010
F5	3,5	3,5	-1,08	3,81	27,4	0,950	A	<0,010
Total	3,8	3,9	-1,53	4,98	24,6	0,938	A	<0,010

<sup>1</sup> Cs: coeficiente de assimetria, Ck: curtose; <sup>2</sup> CV: coeficiente de variação; <sup>3</sup> RJ: teste de normalidade de Ryan-Joyner; <sup>4</sup> Distribuição de probabilidade (N: distribuição normal; A: distribuição Assimétrica); <sup>5</sup> Valor-P.

#### 4.1.2 Perdas visíveis na colheita

Os resultados de perdas totais para a safra 2012/2013 (Tabela 5) foram semelhantes para as Frentes F1, F2 e F3, situando-se entre 2,7 e 3,0 t ha<sup>-1</sup>, enquanto que a Frente F4 apresentou menor média de perda total (2,3 t ha<sup>-1</sup>) e a Frente F5, a maior média de perda total (3,9 t ha<sup>-1</sup>). Ao se realizar uma análise preliminar, pode-se atribuir este resultado à habilidade dos operadores desta Frente e à defasagem tecnológica das colhedoras, uma vez que nenhuma das máquinas da Frente 5 possuía o dispositivo de controle automático de altura do corte de base. Para as classes de declividade avaliadas, foi observada pouca influência nas perdas, pois a Frente F5, que apresentou maior perda total, se manteve em 84% do

tempo em áreas com declividade entre 0 e 6%, enquanto que a Frente F4 (menor valor de perda total), apresentou 69% de sua área colhida com essas características.

Para a safra 2013/2014 (Tabela 6) as Frentes F1, F3 e F5 apresentaram índices de perdas totais semelhantes, entre 2,9 e 3,1 t ha<sup>-1</sup>. Nesta safra a Frente F4 novamente apresentou a menor média de perda total (2,6 t ha<sup>-1</sup>) e a Frente F2, a maior média (3,3 t ha<sup>-1</sup>). Não se pode afirmar que o resultado das perdas totais para Frente 2, nesta última safra, possa estar atribuído às classes de declividades das áreas colhidas, uma vez que 81% das áreas que esta Frente colheu estavam entre as declividades de 0 a 6% (Figura 2), contra 80%, 72%, 77%, 62% para as Frentes F1, F3, F4 e F5, respectivamente, e apresentaram resultados melhores. A Frente F5, reduziu as perdas na colheita na última safra estudada em relação à safra anterior, apesar de a idade média das colhedoras ter sido a mesma (Figura 3), houve uma mescla entre máquinas com ano de fabricação de 2005, que não possuíam o dispositivo de controle de altura do corte de base, e de 2007, que apresentam o dispositivo.

No geral, houve reduções nas perdas de aproximadamente 20% tipo toco e 40% do tipo rebolo estilhaçado, resultado este relacionado às campanhas e treinamentos técnico-operacionais feitos com a equipe de colheita com o objetivo de redução das perdas. Por outro lado, ocorreu aumento de aproximadamente 13% de perdas tipo pedaço solto + fixo, 11% de cana inteira e 18% de estilhaço. No balanço geral, foram cerca de 3% de aumento das perdas totais na safra 2013/2014, comparadas à safra anterior, que estão diretamente atribuídas à colheita de 14% de cana bisada (alta produtividade) (Figura 4). Uma variável que pode ter amenizado o aumento das perdas totais é a redução da idade média das máquinas de 4 para 2,8 anos na safra 2013/2014 (Figura 3). O desempenho positivo da Frente F4, em ambas as safras, pode estar fortemente relacionado ao fator humano, uma vez que esta Frente passou por mudanças relevantes na frota de máquinas e áreas de colheita (Figuras 1, 2 e 4), exceto mudança de pessoas.

Durante a safra 2012/2013 (Tabela 5) as perdas tipo toco, rebolo estilhaçado, pedaço solto e fixo, cana inteira e estilhaço representaram, respectivamente, 13%, 17%, 51%, 5% e 8% das perdas totais. Para safra 2013/2014 (Tabela 6) estas

perdas representaram 11%, 12%, 57%, 5% e 10%, respectivamente. Ao analisar os tipos de perdas observou-se predominância nas perdas tipo pedaço fixo e solto, uma vez que nesta modalidade se encaixam os maiores segmentos de colmos, representando assim maior montante na massa total perdida. De acordo com SILVA et al. (2008), essas perdas normalmente ocorrem em terrenos acidentados ou mudanças na altura de corte durante o processo, principalmente quando se trabalha sem o uso do dispositivo automático de controle da altura de corte de base. As máquinas apresentam esse dispositivo, entretanto, é comum que, durante a safra ocorram momentos nos quais há o desligamento do controle de altura de corte por parte do operador, ou ainda, avaria destes mecanismos.

Os resultados da estatística descritiva para as duas safras (Tabelas 5 e 6) indicam que, de modo geral, as perdas obtiveram resultados médios próximos às medianas, coeficientes de assimetria ( $C_s$ ) variando de forma positiva e curvas leptocúrticas ( $C_k > 0$ ), exceto para a perda tipo toco na Frente F2 (Tabela 6), demonstrando que os valores são extremos com relação à média, como pode ser visto nos histogramas (Apêndices C a L). Todos os coeficientes de variação foram superiores a 30%, indicando que são muito altos, de acordo com a classificação de Pimentel-Gomes e Garcia (2002), para todos os tipos de perdas nas cinco Frentes, com exceção para os resultados de perda total da Frente F2 ( $CV = 29,05\%$ ) (Tabela 5) e perda de rebolo estilhaçado na Frente F2 ( $CV = 28,92\%$ ) (Tabela 6), que reflete grande variabilidade dos resultados, em função dos levantamentos realizados durante as safras. Isso também pode ser identificado por meio das amplitudes, que mostram valores mínimos e máximos muito distantes entre si. Esses valores e variações refletem resultados obtidos por outros autores como BELARDO (2010) e SILVA et al. (2008), que relatam a alta variabilidade existente em amostragens de perdas na colheita.

Estes resultados indicam a assimetria das curvas de distribuição de probabilidade, o que foi evidenciado pelo teste de *Ryan-Joiner*, que mostrou valores elevados e características de não-normalidade para as perdas. Segundo SAMOBYL (2009), a normalidade, embora desejável, não é fundamental para a aplicação das técnicas de controle estatístico de processo (CEP).

Tabela 5. Análise estatística para as perdas na colheita de cana-de-açúcar por Frente para a safra 2012/2013.

Frente	Perdas	Médias (t ha <sup>-1</sup> )	Medianas	Coeficientes <sup>1</sup>		CV <sup>2</sup>	Test RJ <sup>3</sup>	Prob. <sup>4</sup>	P <sup>5</sup>
				Cs	Ck				
F1	Toco	0,39	0,32	2,79	14,99	86,04	0,888	A	<0,01
	Reb Est	0,51	0,47	1,02	1,94	42,63	0,971	A	<0,01
	PedSol+Fix	1,43	1,27	2,35	8,28	51,73	0,892	A	<0,01
	Cana Int	0,10	0,02	3,45	16,83	169,14	0,874	A	<0,01
	Estilhaço	0,18	0,16	1,86	6,08	64,43	0,931	A	<0,01
	Total	2,72	2,44	2,38	9,59	42,99	0,901	A	<0,01
F2	Toco	0,46	0,42	1,76	4,32	54,95	0,927	A	<0,01
	Reb Est	0,44	0,42	0,81	0,92	44,46	0,980	A	<0,01
	PedSol+Fix	1,23	1,05	1,44	2,09	43,68	0,933	A	<0,01
	Cana Int	0,12	0,10	1,13	1,59	99,03	0,985	A	<0,01
	Estilhaço	0,37	0,34	2,68	11,98	55,73	0,886	A	<0,01
	Total	2,73	2,44	1,29	1,29	29,05	0,938	A	<0,01
F3	Toco	0,20	0,15	2,50	8,09	100,80	0,877	A	<0,01
	Reb Est	0,67	0,60	0,79	1,20	45,71	0,980	A	<0,01
	PedSol+Fix	1,50	1,24	1,92	4,64	59,52	0,907	A	<0,01
	Cana Int	0,18	0,11	2,54	9,50	129,16	0,908	A	<0,01
	Estilhaço	0,24	0,23	0,59	0,97	54,07	0,986	A	<0,01
	Total	2,99	2,69	1,60	3,36	45,44	0,935	A	<0,01
F4	Toco	0,17	0,13	3,20	20,01	87,06	0,873	A	<0,01
	Reb Est	0,46	0,42	1,64	4,48	56,41	0,938	A	<0,01
	PedSol+Fix	1,12	0,95	2,04	6,27	60,64	0,906	A	<0,01
	Cana Int	0,14	0,11	2,65	13,49	111,36	0,919	A	<0,01
	Estilhaço	0,21	0,18	1,20	1,74	62,84	0,956	A	<0,01
	Total	2,29	2,09	2,01	6,97	41,52	0,921	A	<0,01
F5	Toco	0,69	0,64	1,29	2,54	56,08	0,958	A	<0,01
	Reb Est	0,46	0,42	1,60	3,85	54,28	0,941	A	<0,01
	PedSol+Fix	2,14	1,87	1,98	4,86	55,97	0,901	A	<0,01
	Cana Int	0,14	0,00	5,65	42,68	260,53	0,751	A	<0,01
	Estilhaço	0,24	0,17	2,74	10,74	79,85	0,858	A	<0,01
	Total	3,87	3,44	2,30	8,30	43,37	0,893	A	<0,01

<sup>1</sup> Cs: coeficiente de assimetria, Ck: curtose; <sup>2</sup> CV: coeficiente de variação; <sup>3</sup> RJ: teste de normalidade de Ryan-Joyner; <sup>4</sup> Distribuição de probabilidade (N: distribuição normal; A: distribuição Assimétrica); <sup>5</sup> Valor-P.

Tabela 6. Análise estatística para as perdas na colheita de cana-de-açúcar por Frente para a safra 2013/2014.

Frent	Perdas	Média (t ha <sup>-1</sup> )	Medianas	Coeficientes <sup>1</sup>		CV <sup>2</sup>	Teste RJ <sup>3</sup>	Prob. <sup>4</sup>	P <sup>5</sup>
				Cs	Ck				
F1	Toco	0,34	0,25	1,69	3,72	88,23	0,924	A	<0,010
	Reb Est	0,35	0,32	4,45	41,04	51,35	0,851	A	<0,010
	PedSol+Fi	1,70	1,56	1,55	4,09	63,77	0,946	A	<0,010
	Cana Int	0,15	0,09	4,16	27,67	155,31	0,842	A	<0,010
	Estilhaço	0,22	0,19	3,65	25,96	73,91	0,857	A	<0,010
	Total	2,86	2,65	1,98	5,71	46,20	0,915	A	<0,010
F2	Toco	0,36	0,34	0,33	-0,05	51,66	0,994	A	<0,010
	Reb Est	0,43	0,45	0,40	1,65	28,92	0,982	A	<0,010
	PedSol+Fi	1,74	1,38	2,17	6,85	68,25	0,895	A	<0,010
	Cana Int	0,16	0,11	3,08	14,07	124,66	0,874	A	<0,010
	Estilhaço	0,48	0,50	0,30	2,16	31,16	0,976	A	<0,010
	Total	3,30	2,93	2,21	7,36	43,07	0,900	A	<0,010
F3	Toco	0,37	0,31	2,03	5,94	73,76	0,910	A	<0,010
	Reb Est	0,39	0,40	0,09	0,33	40,64	0,995	A	<0,010
	PedSol+Fi	1,84	1,68	0,59	0,26	55,33	0,987	A	<0,010
	Cana Int	0,16	0,10	1,80	2,88	129,05	0,927	A	<0,010
	Estilhaço	0,25	0,22	1,47	4,44	60,16	0,954	A	<0,010
	Total	3,17	2,91	0,77	0,31	39,15	0,977	A	<0,010
F4	Toco	0,22	0,15	1,67	3,36	97,42	0,920	A	<0,010
	Reb Est	0,29	0,26	0,75	0,21	46,65	0,974	A	<0,010
	PedSol+Fi	1,59	1,25	3,26	18,18	80,43	0,866	A	<0,010
	Cana Int	0,12	0,06	1,71	3,03	133,75	0,957	A	<0,010
	Estilhaço	0,24	0,21	1,47	3,47	55,87	0,948	A	<0,010
	Total	2,64	2,35	3,13	16,17	52,75	0,865	A	<0,010
F5	Toco	0,32	0,27	1,39	2,27	75,52	0,947	A	<0,010
	Reb Est	0,35	0,34	1,20	3,95	45,93	0,963	A	<0,010
	PedSol+Fi	1,67	1,45	1,73	5,81	66,34	0,944	A	<0,010
	Cana Int	0,18	0,10	2,58	10,30	141,01	0,914	A	<0,010
	Estilhaço	0,32	0,30	1,09	3,51	39,91	0,967	A	<0,010
	Total	2,98	2,79	1,70	6,25	45,41	0,943	A	<0,010

<sup>1</sup> Cs: coeficiente de assimetria, Ck: curtose; <sup>2</sup> CV: coeficiente de variação; <sup>3</sup> RJ: teste de normalidade de Ryan-Joyner; <sup>4</sup> Distribuição de probabilidade (N: distribuição normal; A: distribuição Assimétrica); <sup>5</sup> Valor-P.

Na sequência são apresentadas as análises da variabilidade por meio do controle estatístico do processo, utilizando-se os gráficos sequenciais e as cartas de controle.

## 4.1 Controle estatístico de processo

### 4.1.1 Velocidade de colheita

As cartas de controle para a variável velocidade de colheita, desenvolvida pelas Frentes durante as safras 2012/2013 e 2013/2014 (Figuras 11) e 12), apresentaram pontos fora dos limites de controle em todas as Frentes. Os pontos que ocorreram abaixo do limite inferior em ambas as safras em todas as Frentes, estão correlacionados, de forma geral, às semanas em que ocorreram chuvas e, conseqüentemente, parada total na colheita e redução das médias de velocidade nas semanas avaliadas. Partindo deste preceito, observa-se que a safra 2013/2014 (Figura 12) foi mais chuvosa que a safra 2012/2013 (Figura 11), pois esta apresentou maior quantidade de pontos abaixo dos limites de controle. Ao se analisar os pontos ocorridos acima dos limites de controle, observa-se a ocorrência de somente um ponto fora de controle para Frente F5 na safra 2012/2013 (Figura 11) enquanto que, para a safra 2013/2014 (Figura 12), todas as Frentes, com exceção a Frente F4, apresentaram pontos acima dos limites.

Belardo (2010) estudou a capacidade de colheita de três colhedoras de cana-de-açúcar utilizando como tratamentos as velocidades de deslocamento, 5,0 km h<sup>-1</sup> e 7,0 km h<sup>-1</sup>, entre diferentes produtividades. O autor concluiu que a capacidade de colheita efetiva das três colhedoras não apresentou diferenças na velocidade 5,0 km h<sup>-1</sup>, com valores entre 80 e 90 t h<sup>-1</sup>, enquanto na velocidade 7,0 km h<sup>-1</sup> houve diferença entre as colhedoras, com valores entre 107 e 130 t h<sup>-1</sup>. Em posse de resultados de estudos como esse, é possível correlacionar características do canavial com velocidade ideal de colheita e monitorá-las por meio de ferramentas estatísticas como as cartas de controle.

MAGALHÃES et al. (2008) estudaram um sistema que controla o posicionamento das colhedoras de cana-de-açúcar e transbordos em busca de auxiliar no sincronismo de colheita com o auxílio de sensores que emitem raios ultrassônicos que identificam a posição dos veículos comparado ao método

tradicional no qual os operadores de ambos veículos se comunicavam via rádio para controlar suas velocidades. Este sistema permitiu a redução das perdas de matéria-prima cerca de  $60 \text{ kg ha}^{-1}$ . Os usos das cartas de controle podem contribuir para a evolução desta tecnologia, uma vez que sincronismo entre a colhedora e o trator transbordo nada mais é que um controle efetivo da velocidade de colheita de ambos equipamentos, as cartas de controle permitem um monitoramento estatístico que demonstra todas as variações, tendências que exigem atenção e possibilitam a correção antes que efetivamente aconteça o ponto fora de controle.

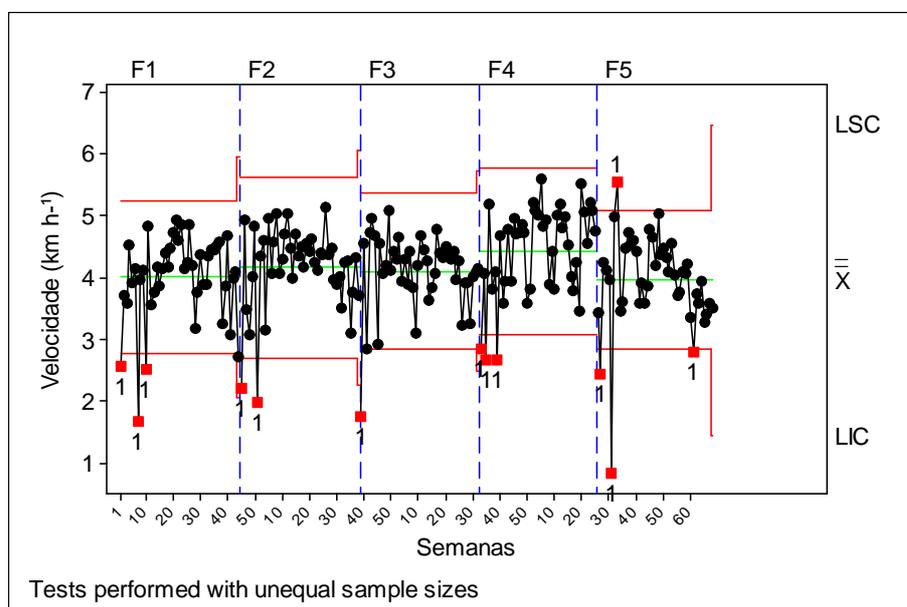


Figura 11. Carta de controle para velocidade de colheita das colhedoras por Frente durante a safra 2012/2013.

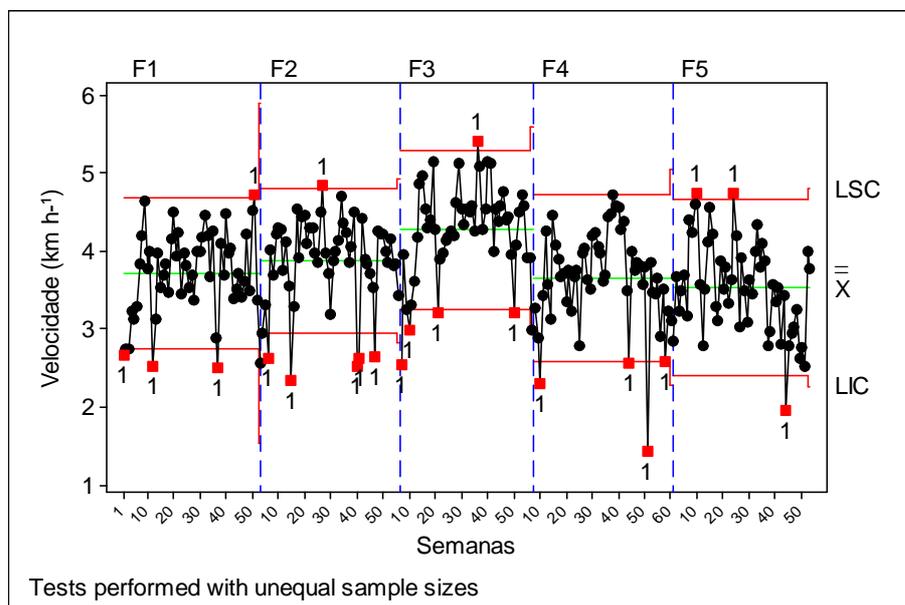


Figura 12 Carta de controle para velocidade de colheita das colhedoras por Frente durante a safra 2013/2014.

#### 4.1.1 Perdas na colheita

Para a maioria das cartas de controle (Figuras 13 a 24), pode ser observado ao menos um ponto extremo, além dos limites máximos e mínimos de controle das perdas. Isto ocorre devido à alta complexidade para levantamento das perdas, em que fatores externos tais como variabilidade climática, variabilidade de porte e variedade do canavial, diferença tecnológica das colhedoras amostradas, influência direta do operador no processo e possibilidade de erro humano no levantamento dos apontamentos podem afetar as determinações. De acordo com SAMOHYL e ALVES (2005), estes fatores se enquadram nos chamados “Fatores 6 M’s” (material, método, meio ambiente, máquina, mão-de-obra e medição).

Nas cartas de controle para as perdas de toco durante as safras 2012/2013 e 2013/2014 (Figura 13 e Figura 14, respectivamente), verifica-se que as médias semanais apresentaram pontos acima do limite superior em todas as Frentes nas

duas safras, com exceção para as Frentes F2 e F4 (Figura 14). Os pontos fora de controle que ocorrem durante as primeiras semanas de safra, Frentes F2 e F4 (Figura 13), provavelmente ocorreram devido ao processo de adaptação dos operadores às colhedoras. Ao analisar essas Frentes na safra posterior, observa-se que as mesmas não apresentaram nenhum ponto fora de controle ao longo do período analisado, resultado que fortalece a influência da habilidade do operador no processo. No caso dos pontos ocorridos durante o meio e fim de safra nas Frentes F1, F2, F3 e F5 (Figura 13) e Frentes F1, F3 e F5 (Figura 14) podem ser atribuídos aos pontos acima do limite, o nivelamento do solo, controle de altura do corte de base, acamamento do canavial e incidência de pedras nas áreas colhidas. Nas Frentes F1 e F5 (Figura 13), nota-se grande variação no índice de perdas, observa-se uma tendência a queda brusca na perda para Frente F1 e suave na Frente F5 ao longo do período. Além das possíveis correlações apresentadas anteriormente, o fato de todas as máquinas da Frente F5 (Figura 13) não possuírem o sistema de controle automático de altura do corte base e, a frota possuir os operadores mais novos da equipe, indicam uma contribuição com o incremento no índice de perdas desta Frente. Na safra 2013/2014 (Figura 14) os pontos fora de controle, amplitude e o resultado das perdas tipo toco foram relativamente inferiores para a F5, este resultado pode estar associado a troca de metade da frota por máquinas mais novas que possuem o sistema de controle de altura do corte de base e, também a experiência adquirida pelos operadores durante a safra anterior. Salvi et al. (2007) relatam que a maior dificuldade no controle de altura de corte base quando operado manualmente pode estar associado à falta de visibilidade do operador devido à presença de plantas daninhas no canavial. Este fator induz o operador a realizar o corte em altura superior para evitar o contato das lâminas dos discos de corte de base com o solo que pode ocasionar em aumento no índice de impureza mineral e maior desgaste dos discos do corte de base.

A perda de toco (canas deixadas no solo presas a raiz) é uma das principais perdas de açúcar e/ou etanol, pois na base da cana encontra-se a maior concentração de glicose da planta. Observa-se nas cartas de controle para as perdas tipo toco, safra 2012/2013 (Figura 13), que nas Frentes de colheita houve

instabilidade do processo, demonstrada pela ocorrência de médias acima do limite superior de controle. As Frentes F3 e F4 (Figura 13) apresentaram menor variabilidade das médias dos subgrupos, uma vez que apresentaram menor intervalo entre os limites superior e inferior de controle. A Frente F5, seguida das Frentes F1 e F2 apresentaram maior variabilidade, provavelmente em decorrência dos fatores mencionados anteriormente. Para a safra 2013/2014 (Figura 14), analisa-se que houve instabilidade no processo somente nas F1, F3 e F5, porém de maneira geral houve redução significativa de pontos fora de controle e na maioria das Frentes, com exceção F3 e F4, a amplitude foi menor do que a safra anterior.

Segundo Ripoli e Ripoli (2009) a habilidade do operador em controlar a altura do corte de base, nivelamento do solo, manutenção inadequada das lâminas do corte de base, associada a características de porte do canavial, podem aumentar significativamente a porcentagem de tocos, já que apesar das máquinas possuírem o dispositivo que controla automaticamente a altura do corte de base, esta funcionalidade depende do conhecimento do operador para calibrá-lo e mantê-lo em funcionamento durante a operação.

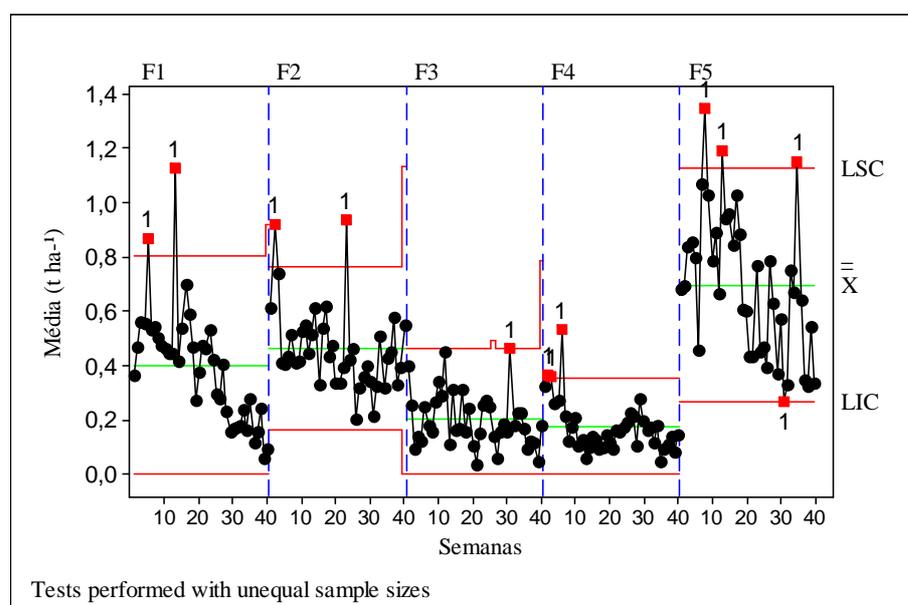


Figura 13. Carta de controle para perdas de toco para as Frentes na safra 2012/2013.

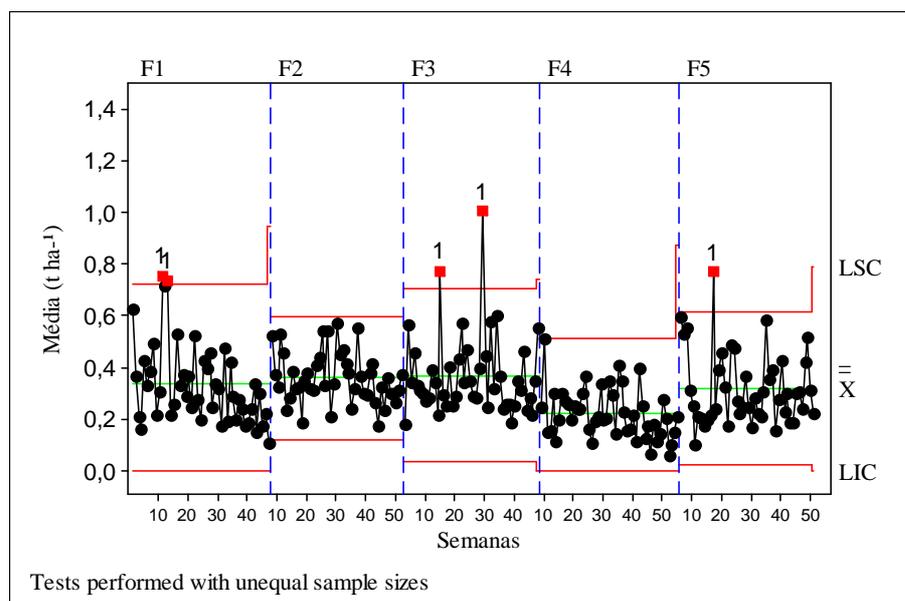


Figura 14. Carta de controle para perdas de toco para as Frentes na safra 2013/2014.

Não foi possível manter as perdas de rebolo estilhaçado sob controle nas duas safras (Figura 15 e Figura 16), pois ao longo dos períodos analisados foi solicitado aos operadores que aumentassem a rotação do extrator primário sempre que o teor de açúcar presente na matéria prima estivesse abaixo do desejado pela indústria, em busca de se manter a eficiência de produção de etanol e açúcar. Este procedimento de trabalho provavelmente colaborou para a ausência de controle do processo.

As perdas de rebolo estilhaçado são atribuídas aos rebolos que foram “repicados” ou cortados múltiplas vezes pelo corte de base e picador e também podem ser atribuídas, segundo RIPOLI e RIPOLI (2004), a rebolos que passam pelo extrator primário da colhedora (sistema de limpeza de impurezas vegetais) e que são parcialmente estilhaçados pelas pás deste mecanismo.

Para as perdas de rebolo estilhaçado constata-se que a variabilidade manteve-se praticamente igual para todas as Frentes, com a distância entre os limites de controle entre 0,4 e 0,7 t ha<sup>-1</sup> para a safra 2012/2013 e 0,3 a 0,4 t ha<sup>-1</sup> para a safra 2013/2104.

Na Figura 15 observa-se que para a Frente F5 as maiores perdas ocorreram nas 4 primeiras semanas avaliadas, sendo que em dias dessas semanas os valores extrapolaram os limites superiores de controle. A Frente F3 atingiu a maior amplitude e valor de perda tipo rebolo estilhaçado no período, a instabilidade foi verificada por meio da ocorrência de quatro pontos acima do limite superior e um abaixo do limite inferior. Por outro lado, a Frente F4 foi a que mais se aproximou da estabilidade, com apenas um ponto extrapolando o limite superior de controle.

Ao comparar o comportamento deste tipo de perdas com os dados da safra posterior (Figura 16), constata-se que, apesar de ocorrer pontos fora de controle, verificou-se significativa redução da perda e da variabilidade do processo ao longo do período para todas as Frentes. Comprovando a eficácia do acompanhamento e monitoramento intenso deste indicador pela equipe de qualidade durante a última safra.

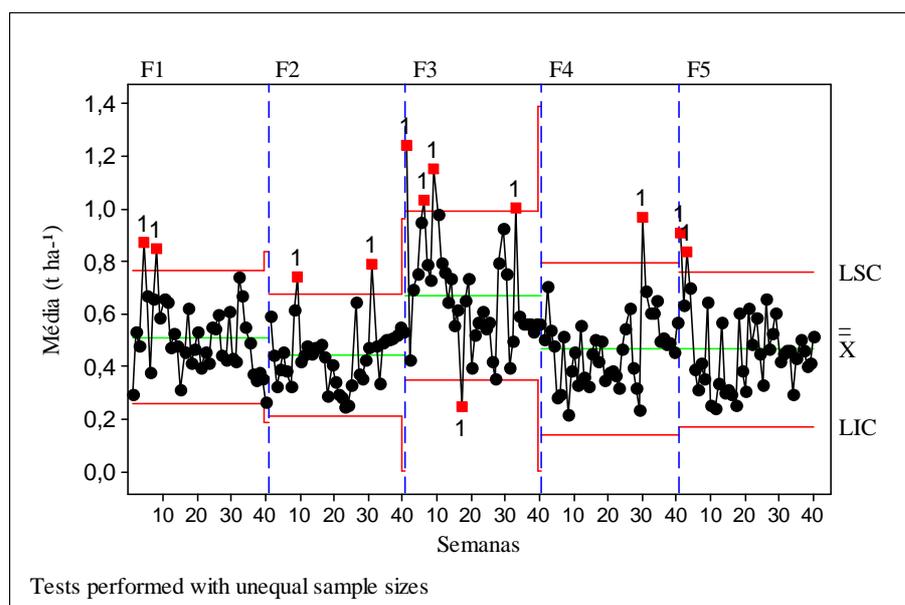


Figura 15. Carta de controle para perdas de rebolo estilhaçado para as Frentes na safra 2012/2013.

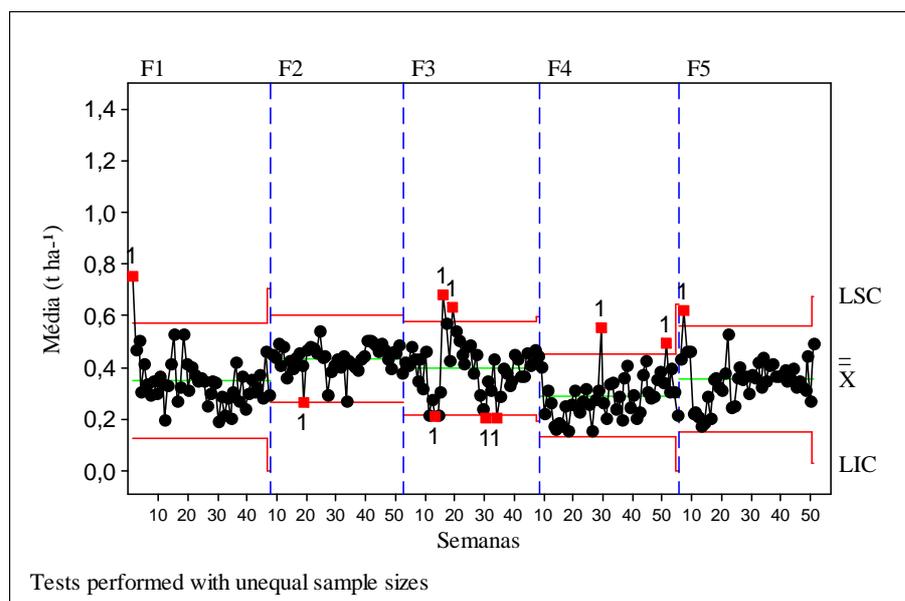


Figura 16. Carta de controle para perdas de rebolo estilhaçado para as Frentes na safra 2013/2014.

As perdas em pedaço solto e fixo (Figuras 17 e 18) constituem o tipo de perdas da colheita que merecem maior atenção devido à maior quantidade matéria-prima perdida, neste estudo esta perda também se encontra fora de controle para as Frentes analisadas ao longo das duas safras. Ocorrem, na sua maioria, quando as canas foram cortadas pelo corte de base e que não conseguem ser “alimentadas” para dentro das máquinas. Normalmente estão associadas à habilidade do operador, altas velocidades de deslocamento das colhedoras, terrenos acidentados, canaviais de portes acamado e deitado, portes esses comumente encontrados em canaviais de alta produtividade ou que acamaram devido a ação do vento.

Para as safras 2012/2013 (Figura 17) e 2013/2014 (Figura 18) nota-se que a maioria dos pontos fora de controle ocorreram durante as primeiras semanas de safra e que, apesar de as máquinas desenvolverem velocidade média ( $4,1 \text{ km h}^{-1}$ ) superior à desenvolvida na safra 2013/2014 ( $3,8 \text{ km h}^{-1}$ ) houve aumento da variabilidade do processo e do valor médio deste tipo perda. Por outro lado, houve redução de pontos fora de controle para a maioria das Frentes. A redução da velocidade de uma safra para outra se deve principalmente a colheita de cana

bisada, alta produtividade, que reduz a capacidade de colheita exigindo que a máquina desenvolva uma velocidade menor.

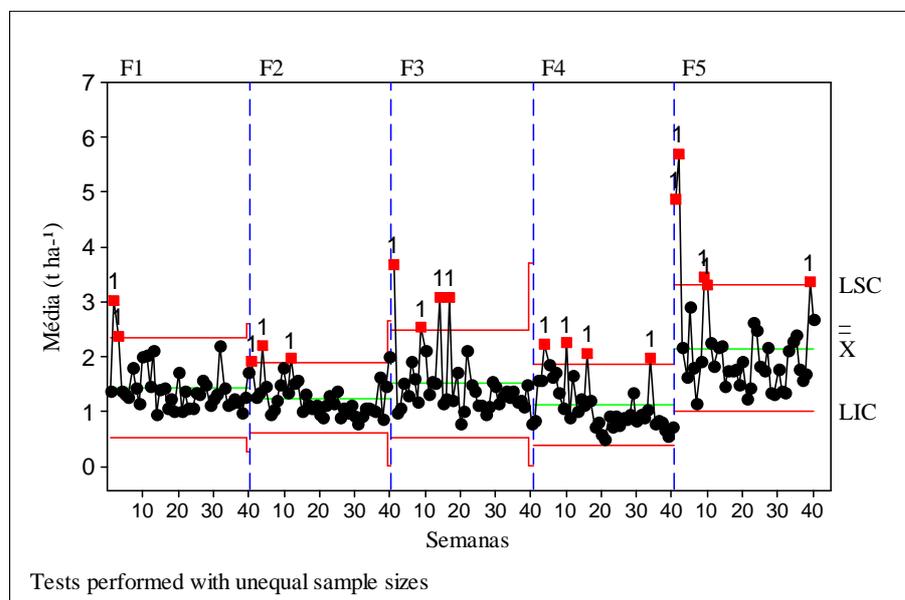


Figura 17. Carta de controle para perdas de pedaço solto e fixo para as Frentes na safra 2012/2013.

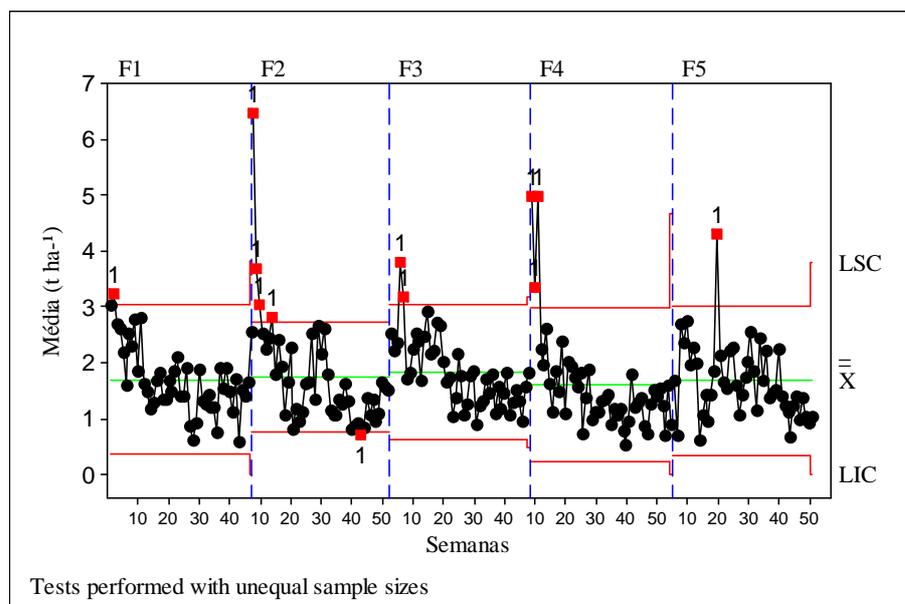


Figura 18. Carta de controle para perdas de pedaço solto e fixo para as Frentes na safra 2013/2014.

As perdas de cana inteira podem estar relacionadas ao acamamento do canavial que ocorrem geralmente devido a ação do vento, característica da variedade ou a alta produtividade do canavial; quando ocorrem em condições extremas, tornam ineficiente o trabalho do rolo levantador de cana da colhedora. As cartas de controle, das duas safras, para essas perdas por Frente estão representadas nas Figuras 19 e 20. Na safra 2012/2013, observa-se a falta de controle do processo para as Frentes F1, F4 e F5, já para as Frentes F2 e F3 ocorreu controle do processo ao longo de toda a safra. Já durante a safra 2013/2013 ocorreram pontos fora de controle em todas as Frentes, exceto para a Frente F4. Constata-se também que apesar da instabilidade desses processos, durante as duas safras, ocorreram somente 1 ou 2 pontos situavam-se acima do LSC em cada Frente, apontando que, para este indicador o processo é possível se tornar estável. Isto ocorre devido ao fato de que este tipo de perda decorre principalmente dos fatores material e meio ambiente, coincidentemente os pontos onde ocorreram os valores acima do LSC haviam observações dos técnicos de campo indicando que o canavial estava com porte visualmente acamado naquelas amostras de acordo com o conhecimento da equipe de campo.

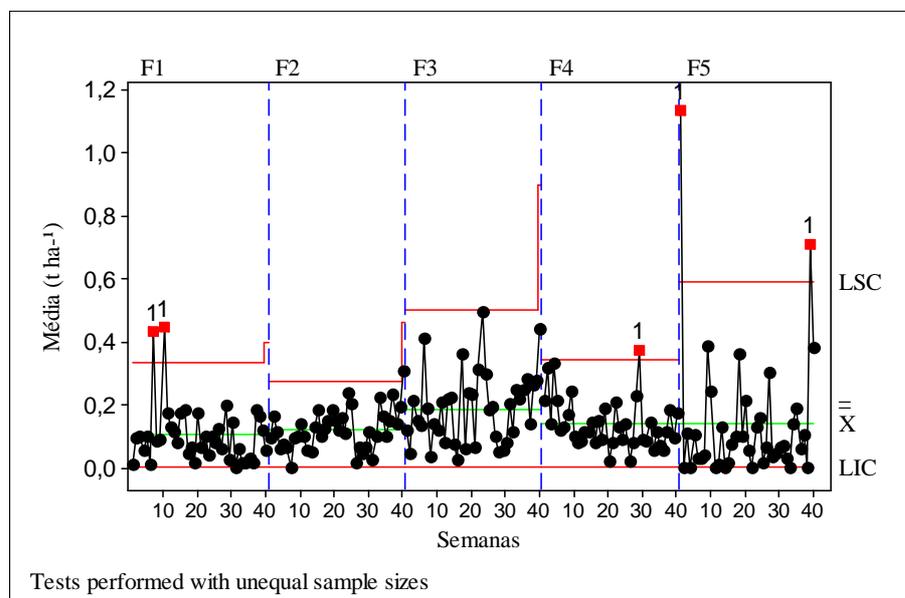


Figura 19. Carta de controle para perdas de cana inteira para as Frentes na safra 2012/2013.

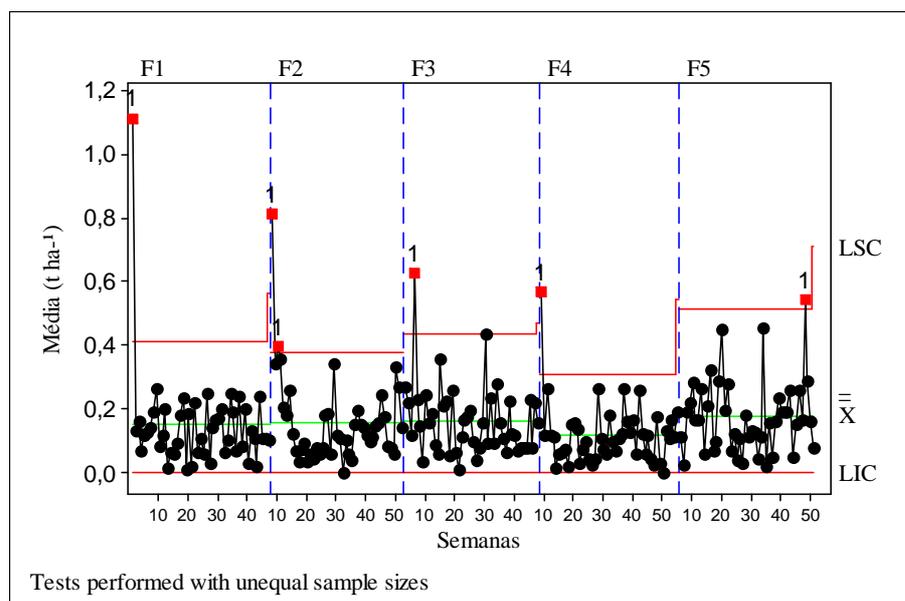


Figura 20. Carta de controle para perdas de cana inteira para as Frentes na safra 2013/2014.

Ao analisar o comportamento das duas safras, pode-se dizer que, as perdas tipo cana inteira coincidentemente tiveram uma variação muito semelhante para todas as Frentes, ocorrendo pouca variabilidade.

As perdas de estilhaços são atribuídas as partes da cana com formato e tamanhos diferentes (menor ou igual a  $1/3$  do diâmetro do rebolo), com baixa densidade, resultantes do impacto dos rebolos com as hélices dos exaustores da colhedora. Ao se analisar as cartas de controle das duas safras 2012/2013 e 2013/2014 (Figura 21 e Figura 22) observa-se que o processo foi considerado instável, visto que há pontos que saem dos limites nas cinco Frentes. Resultados semelhantes foram encontrados em SILVA et al. (2008) para esta categoria de perdas. É importante destacar que, com exceção a Frente F4 nas duas safras e a F5 na safra 2013/2014, as demais Frentes apresentaram dados fora do limite superior nas primeiras três semanas de trabalho. Após a terceira semana, o processo tende a ter comportamento estável; uma possível causa para essa discrepância pode ser o tipo de canavial colhido nas primeiras semanas, que pode ser representado por canas mais leves e, conseqüentemente, rebolos mais leves, que são “puxados” e estilhaçados pelo extrator primário. Outra possível causa seria a regulação da

rotação do extrator primário que poderia estar acima do recomendado, sendo posteriormente regulado, diminuindo os índices de perdas por estilhaço. É importante destacar que assim como nas cartas de controle para perda de cana inteira, as Frentes apresentaram variabilidade semelhante entre as safras, a Frente F2 se destacou negativamente com os maiores índices e as demais Frentes apresentaram valores similares. Este fato ilustra a importância do monitoramento das perdas por meio das cartas de controle, uma vez que ao se constatar uma possível variação abrupta ou ainda, um agrupamento ou tendência dos valores de perdas, pode-se tomar decisões mais eficazes visando à estabilidade do processo para se atingir menores níveis de perdas.

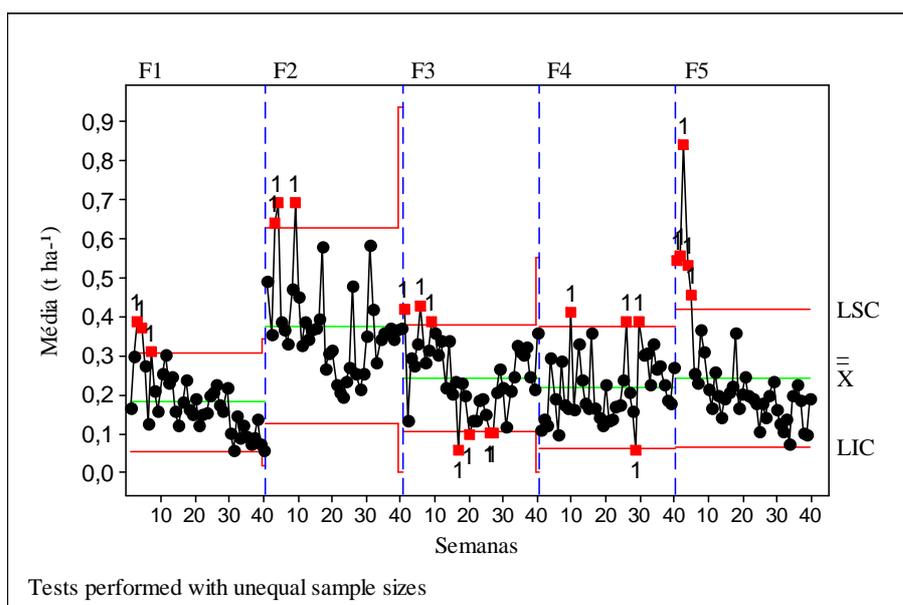


Figura 21. Carta de controle para perdas de estilhaço para as Frentes na safra 2012/2013.

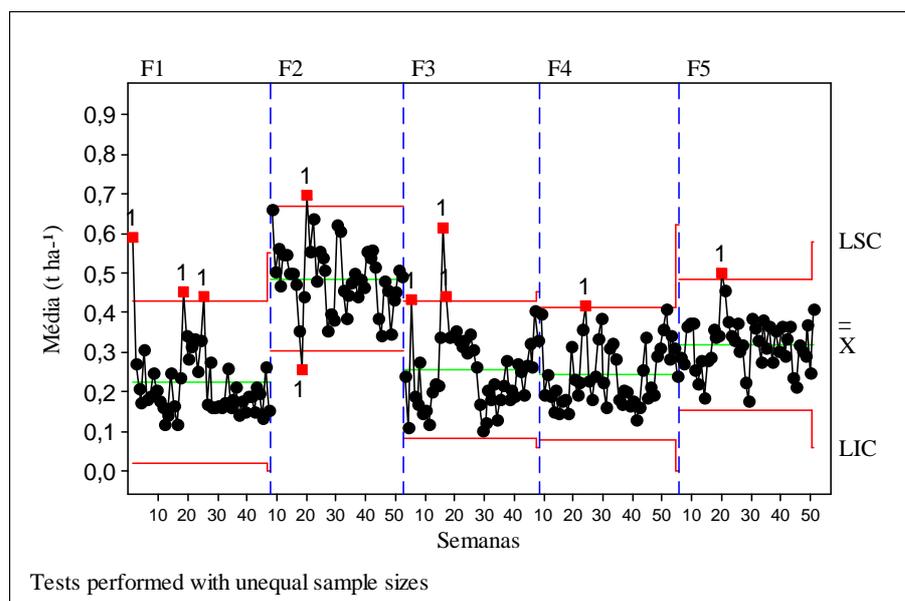


Figura 22. Carta de controle para perdas de estilhaço para as Frentes na safra 2013/2014.

Para o indicador perdas totais que representam o somatório das demais perdas, o processo também foi considerado fora de controle em ambas as safras (Figuras 23 e 24). Na maioria das cartas, os pontos fora do LSC ocorreram durante os primeiros meses de safra. Apesar de conceitualmente estar fora de controle o processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar pode ser considerado uma operação passível de controle, pois nesses períodos parte das máquinas ainda não estão totalmente reguladas e os operadores ainda estão adaptando-se às colhedoras. Em busca de comprovar a influência que o processo de adaptação que ocorre no início de safra exerce, foram retirados os dados das 5 primeiras semanas de trabalho das Frentes das cartas de controle e, com exceção Frente 4 na primeira safra, composta por operadores mais experientes, as demais Frentes apresentaram redução de um ponto fora de controle e maioria dos pontos acima do LSC que restaram se concentraram ainda mais nas semanas iniciais.

Ressalta-se a variabilidade dos dados de perdas totais da Frente F5 ao longo da safra 2012/2013 (Figura 23). A média final desta Frente foi 69% maior que a média geral da Frente 4, Frente que registou menor índice de perdas. Isto sugere a grande influência do operador no processo de perdas, porém não podemos

desconsiderar que as Frentes possuíam máquinas com anos de fabricação distintos e conseqüentemente influência da defasagem tecnológica nos resultados gerais já que as máquinas dessa Frente não possuíam o dispositivo de controle automático de altura do corte de base. Durante a entressafra foi feito treinamento com os operadores de todas as Frentes em busca de tornar o do dispositivo que auxilia a redução das perdas mais eficiente. Ao analisar a safra 2013/2014 (Figura 24), observa-se que o desempenho da Frente F5 melhorou significativamente e deixou de apresentar a maior perda total, ocorreram mudanças na frota de máquinas, onde metade das máquinas possuíam o dispositivo que controla a altura do corte de base e metade não. Por outro lado a Frente F2 apresentou a maior perda total, ou seja, foi 25% superior a Frente F4 que, novamente, apresentou a menor perda na colheita. Todas as Frentes, exceto a Frente F3, realizaram mudanças na frota de máquinas, porém as pessoas continuaram as mesmas. A defasagem tecnológica pode ter influenciado bastante na primeira safra somente para a Frente F5, porém na safra posterior, a variação no ano de fabricação das colhedoras não foi uma variável relevante nos resultados de perdas totais. Por outro lado, a influência da habilidade do operador ao operar as colhedoras, pode ser comprovada ao analisar o bom desempenho de produção ( $t\ h^{-1}$ ) da frente F4 e menores índices de perdas na colheita (Figuras 23 e 24). Os valores absolutos obtidos, mostram-se dentro dos números aceitáveis pelas usinas sucroalcoleiras.

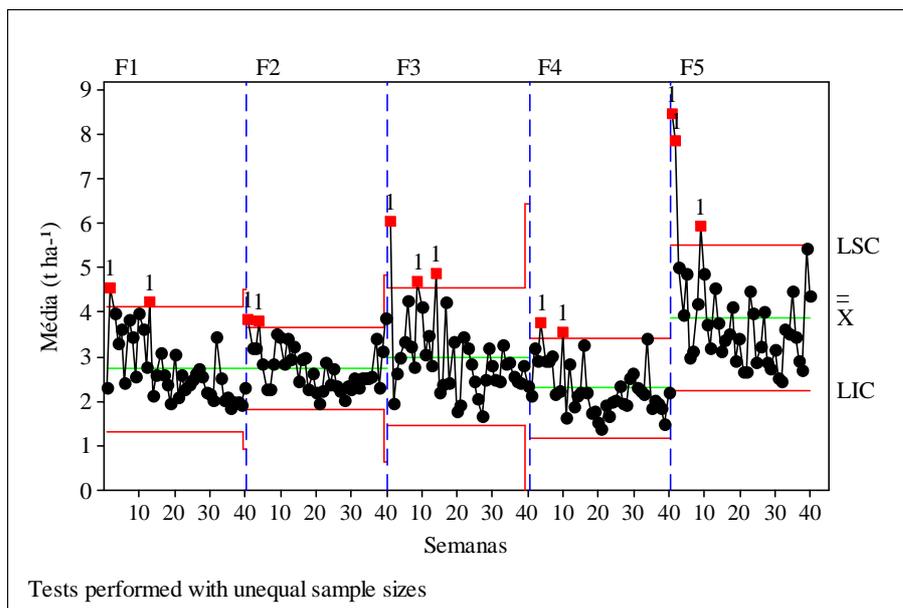


Figura 23. Carta de controle para perdas totais para as Frentes na safra 2012/2013.

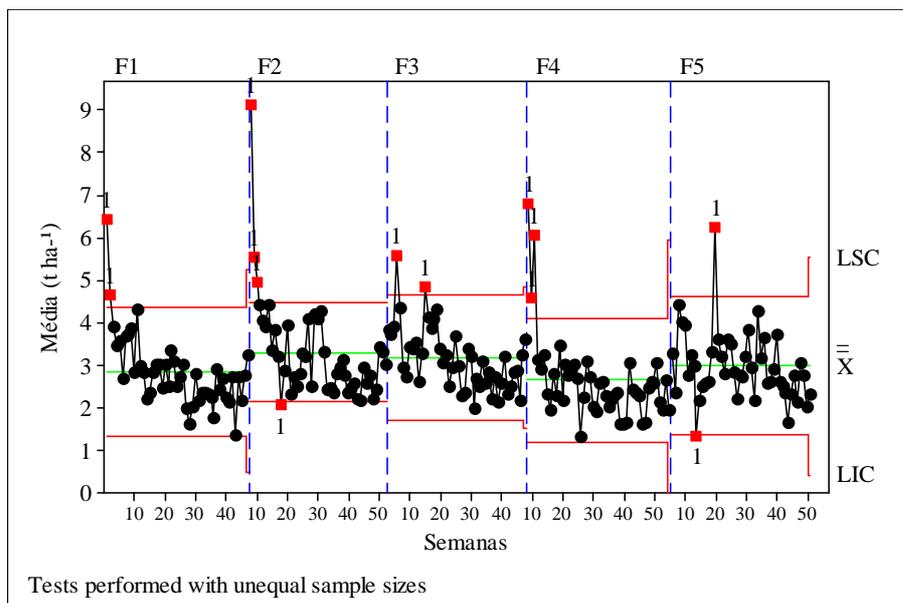


Figura 24. Carta de controle para perdas totais para as Frentes na safra 2013/2014.

## 5 CONCLUSÕES

As cartas de controle permitiram melhor interpretação dos resultados dos valores de perdas na colheita mecanizada de cana-de-açúcar.

O processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar foi considerado instável para os indicadores de qualidade velocidade e perdas, durante as safras 2012/2013 e 2013/2014, em todas as frentes de colheita analisadas.

A frente F4 apresentou os melhores desempenho de produção ( $t\ h^{-1}$ ) e menor índice de perdas nas duas safras, comprovando que é possível obter alta produção com qualidade.

A falta do dispositivo de controle automático de altura do corte de base proporcionou maior instabilidade na safra 2012/2013, enquanto que na safra posterior com metade das máquinas com o dispositivo a instabilidade da Frente melhorou substancialmente.

Os coeficientes de variação para velocidade e todos os tipos de perdas foram altos e muito altos, respectivamente, nas duas safras.

Os valores de perdas absolutos, mantiveram-se abaixo dos níveis aceitáveis pelas Usinas de Cana-de-açúcar.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, C.C. **Gráficos de Controle CUSUM**: um enfoque dinâmico para a análise estatística de processos. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. 119 p.

BELARDO, G. B. Avaliação de desempenho efetivo de três colhedoras em cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) sem queima. 2010. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

BENEDINI, M. S.; BROD, F. P. R.; PERTICARRARI, J. G.; **Perdas e impurezas vegetais e minerais na colheita mecanizada**. *Boletim técnico*. Guariba, 2009. 7p. Disponível em: [www.canaoeste.com.br](http://www.canaoeste.com.br)

BENEDINI, M.S.; SILVA, A.L. Perdas de cana na colheita mecanizada. *Canavieiros: a força que movimenta o setor*. Sertãozinho, v.5, n.48, p.28-31, 2010.

BOFILL, A.; DÍAZ, J.A.; GUYÓN, L.; MARTINEZ, R. Application of mathematical methods to the management of sugarcane enterprises. In: **Computes Applications in Food Production and Agricultural Engeineering**. IFIP, 1982. p. 175-190.

BONILLA, J.A. **Métodos quantitativos para qualidade total na agricultura**. 2. ed. Contagem: Littera Maciel, 1995. 250 p.

CARVALHO, M. M.; PALADINI, E.P. (Org.) **Gestão da qualidade**: teoria e casos. Rio de Janeiro: Editora Campus, 2005, 338 p.

COELHO, M.F. Planejamento da qualidade no processo de colheita mecanizada da cana-de-açúcar. 2009. 77 p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento (2013). Disponível em: [www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13\\_04\\_09\\_10\\_30\\_34\\_boletim\\_cana\\_portugues\\_abril\\_2013\\_4o\\_lev.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_04_09_10_30_34_boletim_cana_portugues_abril_2013_4o_lev.pdf) Acesso em: 10 abr 2014.

FURLANI NETO, V.L.; RIPOLI, T.C.C.; VILLA NOVA, N.A. Avaliação de desempenho operacional de colhedora em canaviais com e sem queima prévia. STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos, Piracicaba, v. 15, n. 2, p. 18-23, Nov./dez. 1996.

GIACHINI, C. F. **Desempenho operacional de uma colhedora de cana-de-açúcar (*saccharum spp.*) em função dos turnos de trabalho**. 2012. 57 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2012.

HESSLER, C.V.; CAMARGO, M.E.; DORION, E. Application control charts for analysis of quality in industrial painting. In: INTERNACIONAL CONFERENCE ON COMPUTERS e INDUSTRIAL ENGINEERING 39., 2009, Troyes: **Proceedings...**, Troyes: IEEE Xplore, 2009. p. 1330-1334.

MAGALHÃES, P.S.G.; BALDO, R.F.G.; CERRI D. G. P. Sistema de sincronismo entre a colhedora de cana-de-açúcar e o veículo de transbordo. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 28, n. 2, p. 274-282, abr./jun. 2008

MELLO, R. C.; HARRIS, H. Desempenho de cortadores de base para colhedoras de cana-de-açúcar com lâminas serrilhadas e inclinadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 355-358, 2003.

MINGOTI, S.A.; FIDELIS, M.T. Aplicando a geoestatística no controle estatístico de processos. Produto e Produção, Porto Alegre, v.5, n.2, p.55-70, 2001.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. p. 100 – 200.

MONTGOMERY, D. C. **Introduction to statistical quality control**. 4. ed. New york: John Wiley e Sons, 2000. p. 300-377

NEVES, J. L. M. **Avaliação de perdas invisíveis em colhedoras de cana-de-açúcar picada e alternativas para sua redução**. 2003. 210 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

NEVES, J. L. M.; MAGALHÃES, P. S. G.; OTA, W. M. Sistema de monitoramento de perdas visíveis de cana-de-açúcar em colhedora de cana picada. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.3, p.764-70, 2004.

NEVES, J. L. M. et al. Avaliação de perdas invisíveis na colheita mecanizada em dois fluxos de massa de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.3, p.787-94, 2006.

NHS Scotland. **Statistical process control**: tutorial guide monitoring quality in healthcare. Disponível em: [www.indicators.scot.nhs.uk/SPC/Statistical Process Control Tutorial Guide 010207.pdf](http://www.indicators.scot.nhs.uk/SPC/Statistical%20Process%20Control%20Tutorial%20Guide%20010207.pdf). Acesso em: 28 jan. 2014.

NORONHA, R.H.F.; SILVA, R.P.; CHIODEROLI, C.A.; SANTOS, E.P.; CASSIA, M.T. Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada diurna e noturna de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 70, n. 4, p. 931-938, 2011.

NUNES JÚNIOR, D.; PINTO, R.S.A.; KIL, R.A. Indicadores de desempenho da agroindústria canavieira: safra 2003-2004. Ribeirão Preto: IDEA, 2005. 195 p.

PAES, A.T. O que fazer quando a distribuição não é normal?. **einstein – Educação Continuada em Saúde**, São Paulo, v.7, n.1, p.3-4, 2009.

PASQUALI, Luiz . **Psicometria**: Teoria dos testes na psicologia e na educação. 1. ed. Petrópolis: Editora Vozes, 2003. v.1. 397 p.

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

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. Biomassa de cana-de-açúcar: Colheita, energia e ambiente. Piracicaba: Ripoli, T. C. C., 2004. 302p.

RIPOLI, T.C.C. Ensaio e certificação de máquinas para colheita de cana-de-açúcar. In: MIALHE, L.G. **Máquinas Agrícolas**: ensaios e certificação. Piracicaba: FEALQ, 1996. Cap. 13, p. 635-673.

ROSA, L.C. Introdução ao controle estatístico de processos. Santa Maria: UFSM, 2009. 152 p.

SALVI, J.V.; MATOS, M.A.; MILAN, M. Avaliação do desempenho de dispositivo de cortes de base de colhedora de cana-de-açúcar. Engenharia Agrícola, v.27, n.1, p.201-209, 2007.

SAMOHYL, R.W.; ALVES, C.C. O monitoramento de processos industriais via gráficos de controle CUSUM. Revista UNIVILLE. Joinville, v.10, n.2, p.72-80, 2005.

SAMOHYL, R.W. Controle estatístico de qualidade. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009. 352 p.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. O protocolo agroambiental. São Paulo, 2007. Disponível em: [www.ambiente.sp.gov.br/etanolverde/files/2011/10/protocoloAgroindustriais.pdf](http://www.ambiente.sp.gov.br/etanolverde/files/2011/10/protocoloAgroindustriais.pdf)  
Acesso em: 17 abr 2014.

SILVA, R.P.; CORREA, C.F.; CORTEZ, J.W.; FURLANI, C.E.A.; Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar. Engenharia Agrícola, v.28, p.292-304, 2008.

SOUZA, R. A. **Análise da qualidade de processo de envase de azeitonas verdes através de algumas ferramentas do controle estatístico de processo.** 2003. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

SUNDFELD, E.; MACHADO, C. Ações para o desenvolvimento de processos industriais para conversão de biomassa em biocombustíveis. Brasília, DF. Disponível em: <http://www.embrapa.br/imprensa/artigos/2011>. Acesso em: 10 jan 2014.

TORQUATO, S.A.; FRONZAGILA, T.; MARTINS, R. Colheita mecanizada e adequação da tecnologia nas regiões produtoras de cana-de-açúcar. Embrapa, 2010. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/855892> Acesso em: 19 fev 2014.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar**: colheita, energia e ambiente. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2009. 333 p.

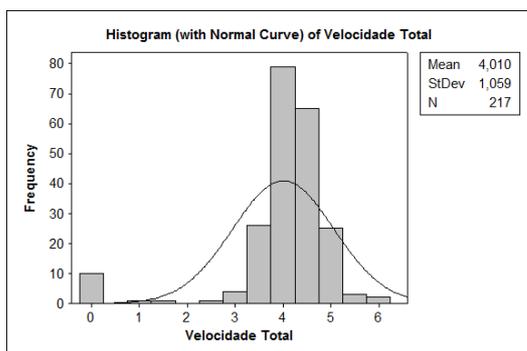
RÍPOLI, T.C.C; PARANHOS, S.B. Colheita. In: PARANHOS, S.B. (Coordenador) *Cana-de-açúcar: cultivo e utilização*. Campinas: Fundação Cargill, v. 2, cap. 5, p. 517-597, 1987.

WERKEMA, C. **Lean seis sigma**: Introdução às ferramentas do Lean Manufacturing. Belo Horizonte: Werkema, 2006. 120

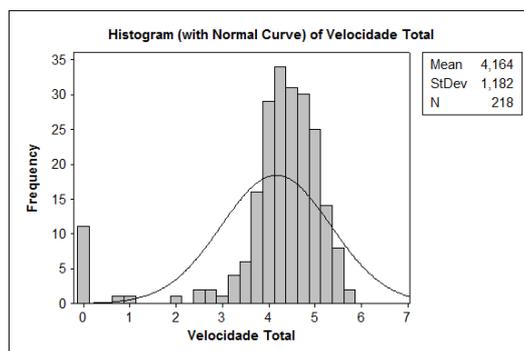
## 7 APÊNDICES

### Apêndice A. Histogramas com curva normal para os dados de velocidade de colheita durante a safra 2012/2013.

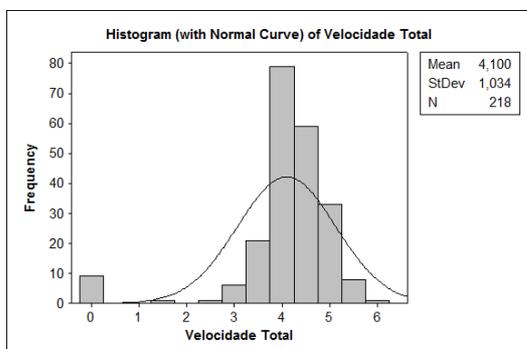
Frente 1



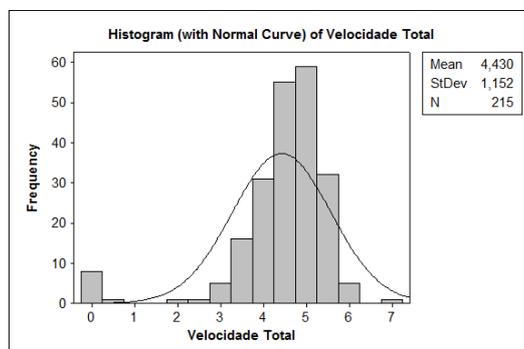
Frente 2



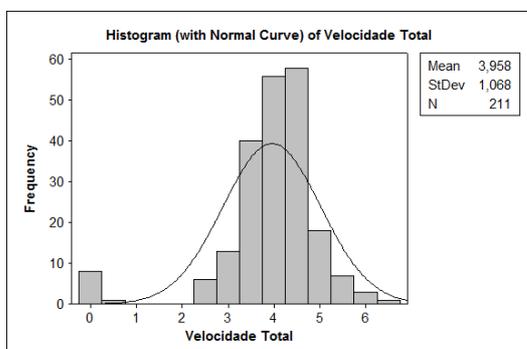
Frente 3



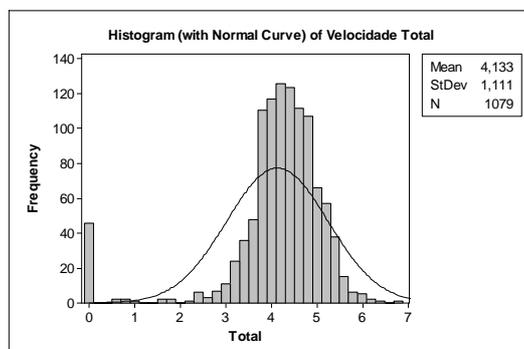
Frente 4



Frente 5

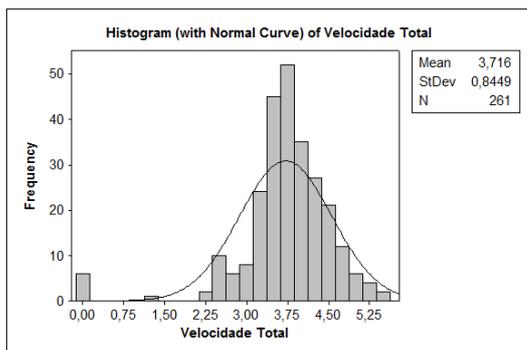


Total

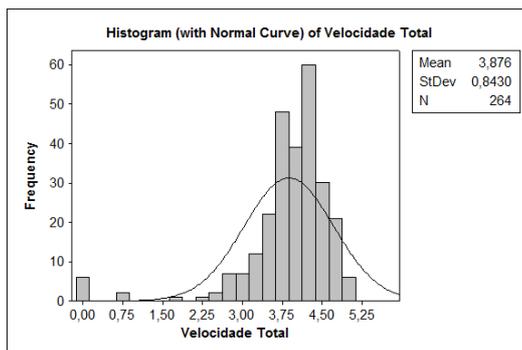


## Apêndice B. Histogramas com curva normal para os dados de velocidade de colheita durante a safra 2012/2013.

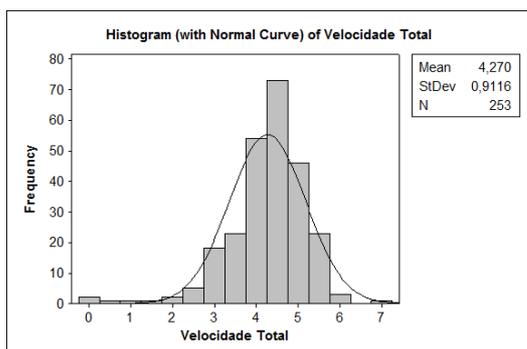
Frente 1



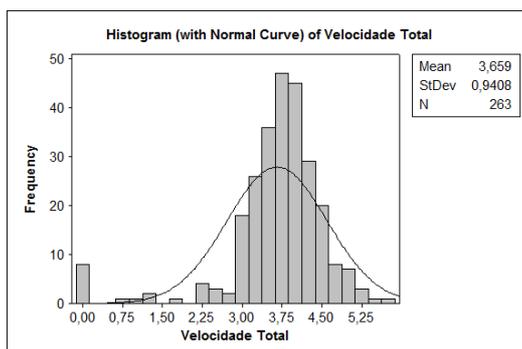
Frente 2



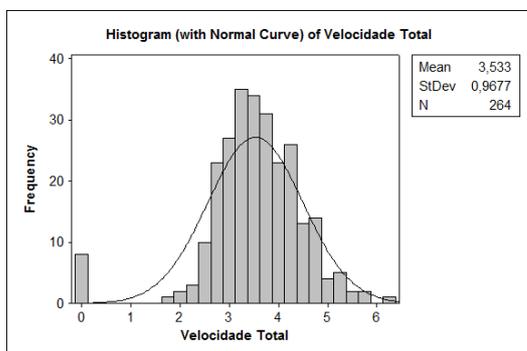
Frente 3



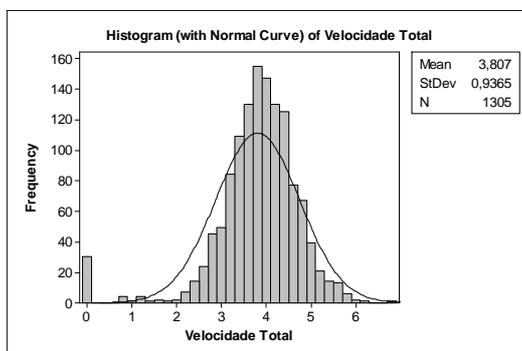
Frente 4



Frente 5

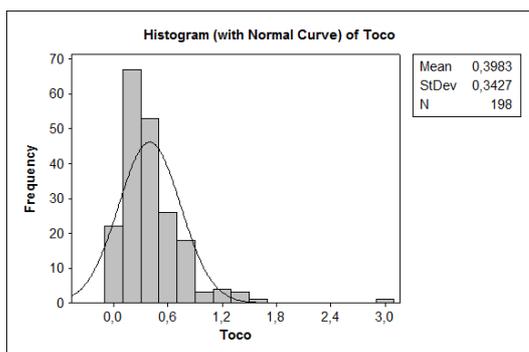


Total

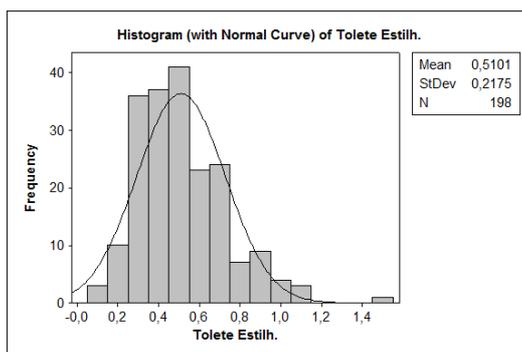


## Apêndice C. Histogramas com curva normal para os tipos de perdas da Frente 1 durante a safra 2012/2013.

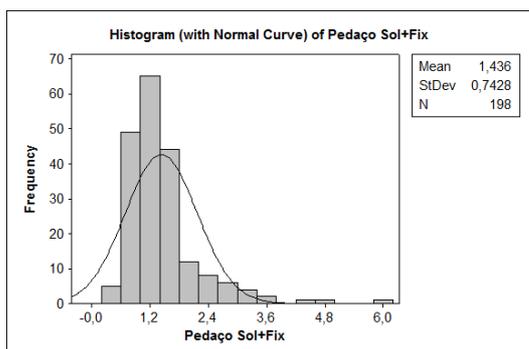
Toco



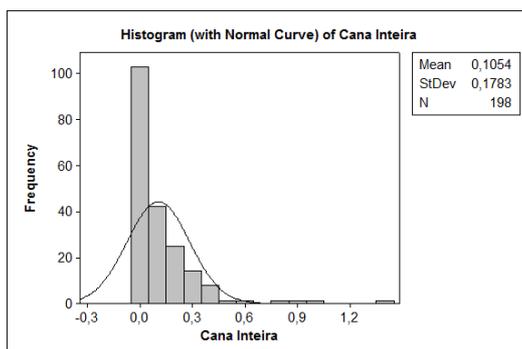
Rebolo estilhaçado



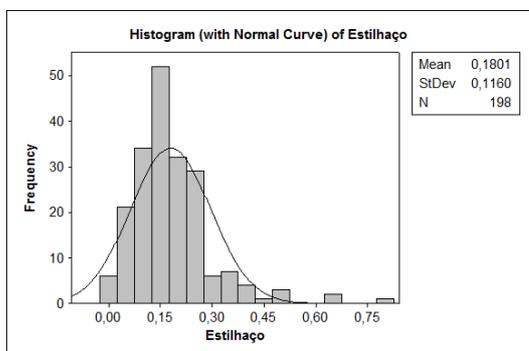
Pedaco solto + fixo



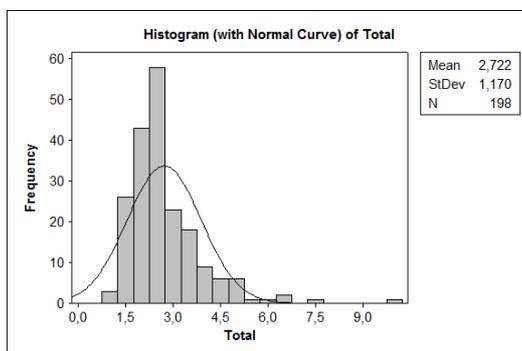
Cana inteira



Estilhaço

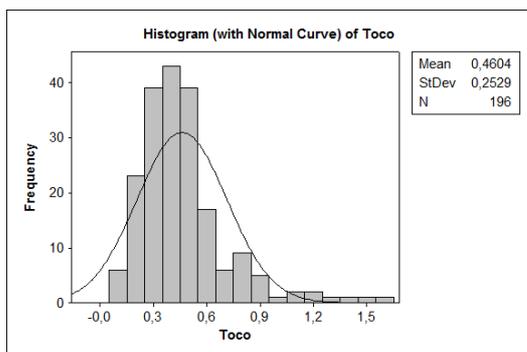


Total

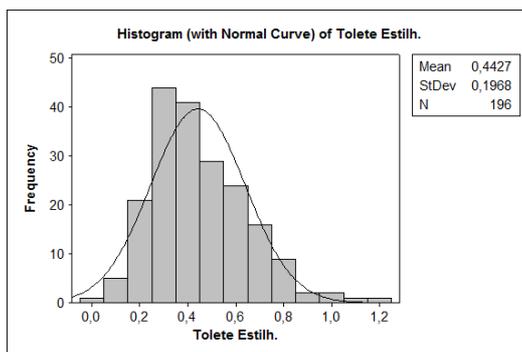


## Apêndice D. Histogramas com curva normal para os tipos de perdas da Frente 2 durante a safra 2012/2013.

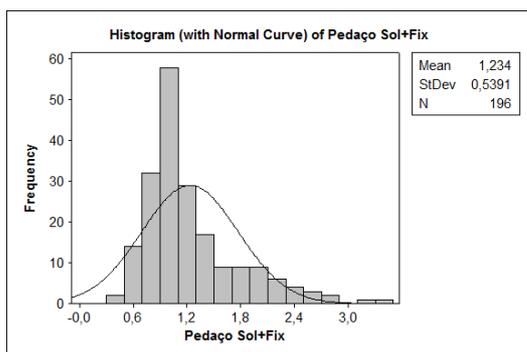
Toco



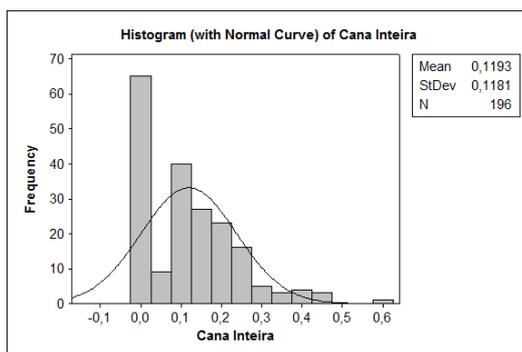
Rebolo estilhaço



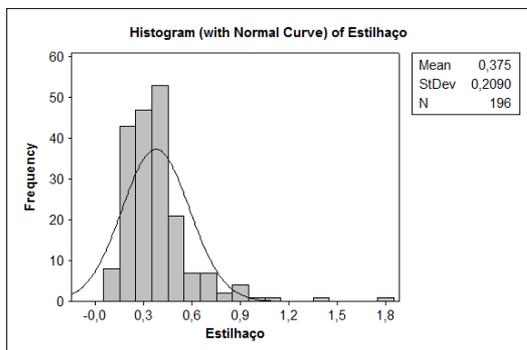
Pedação solto + fixo



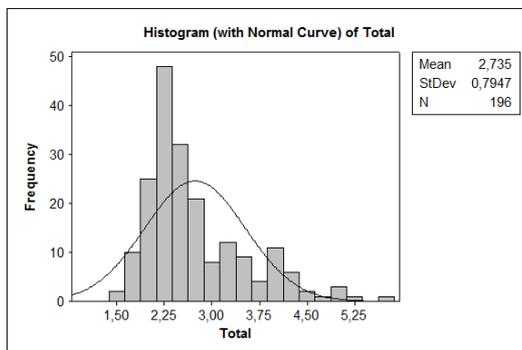
Cana inteira



Estilhaço

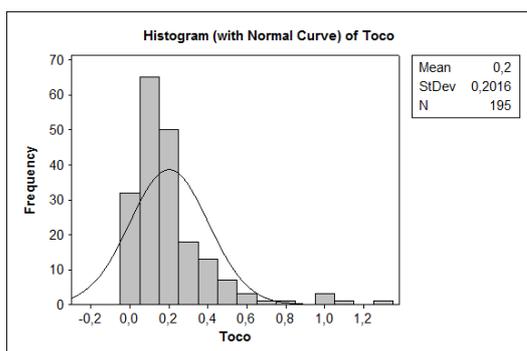


Total

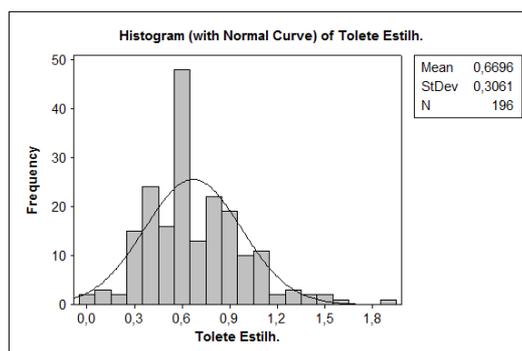


## Apêndice E. Histogramas com curva normal para os tipos de perdas da Frente 3 durante a safra 2012/2013.

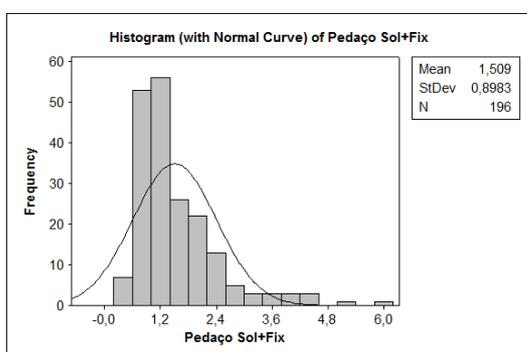
Toco



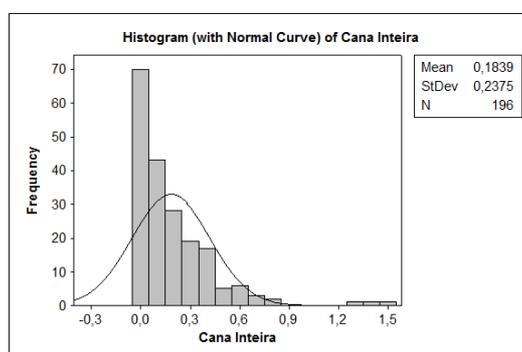
Rebolo estilhaçado



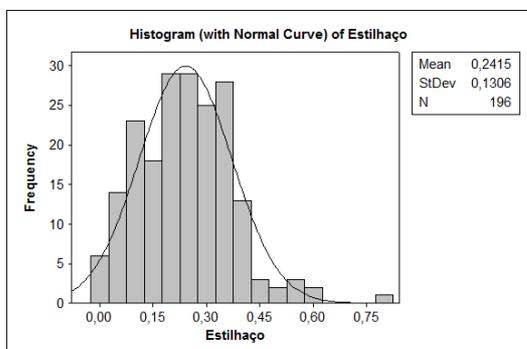
Pedaco solto + fixo



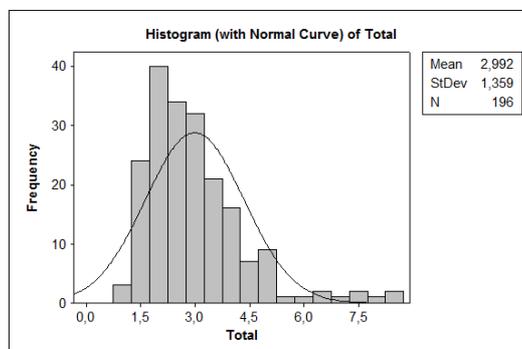
Cana inteira



Estilhaço

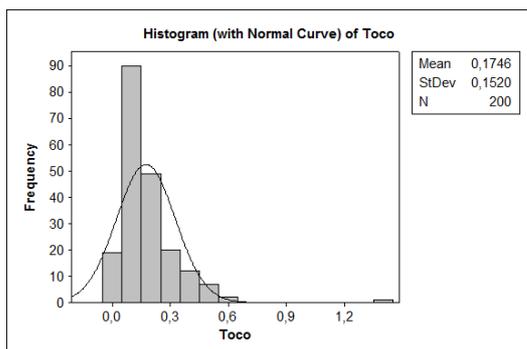


Total

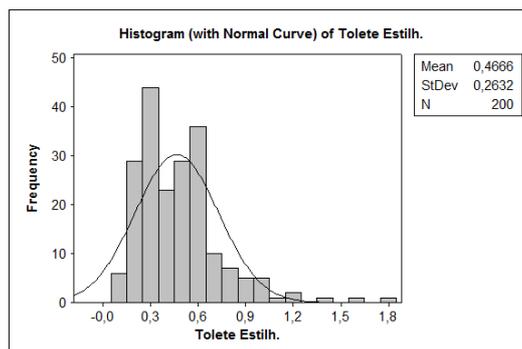


## Apêndice F. Histogramas com curva normal para os tipos de perdas da Frente 4 durante a safra 2012/2013.

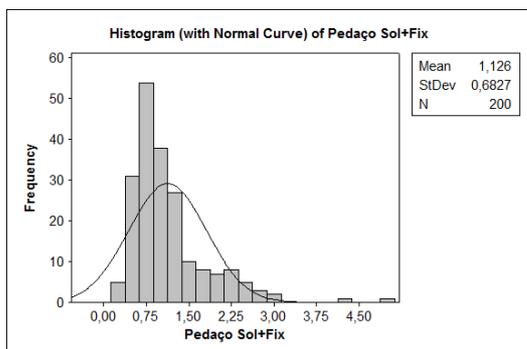
Toco



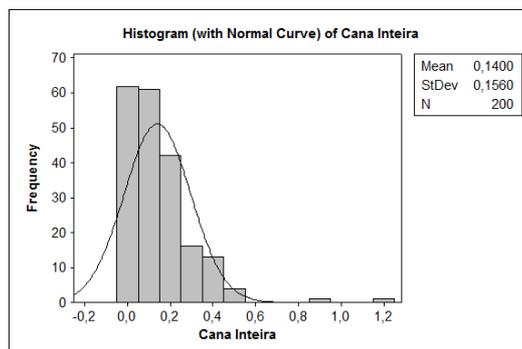
Rebolo estilhaçado



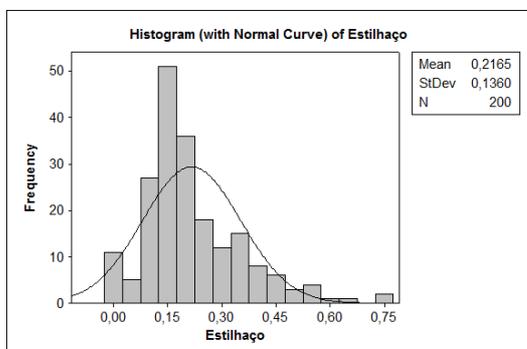
Pedaco solto + fixo



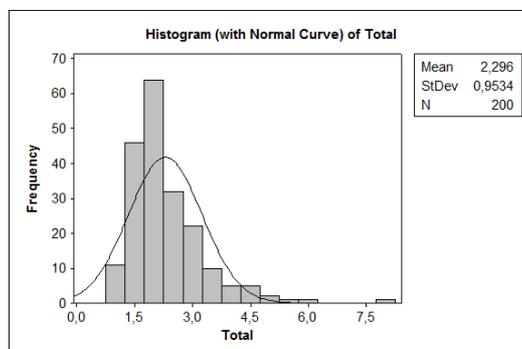
Cana inteira



Estilhaço

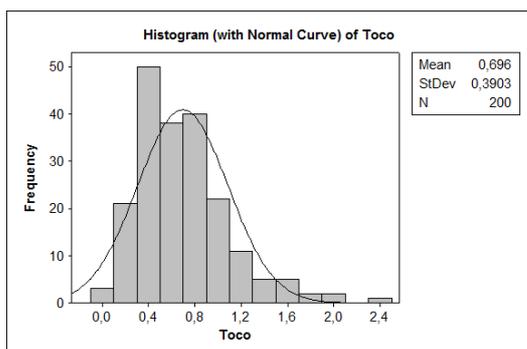


Total

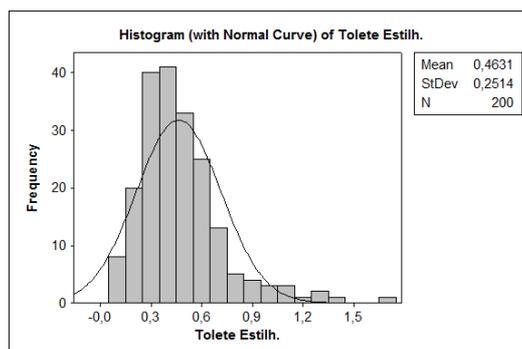


## Apêndice G. Histogramas com curva normal para os tipos de perdas da Frente 5 durante a safra 2012/2013.

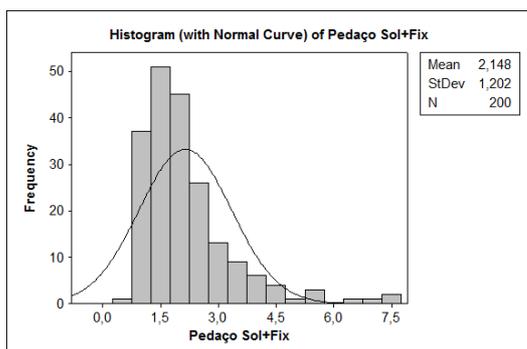
Toco



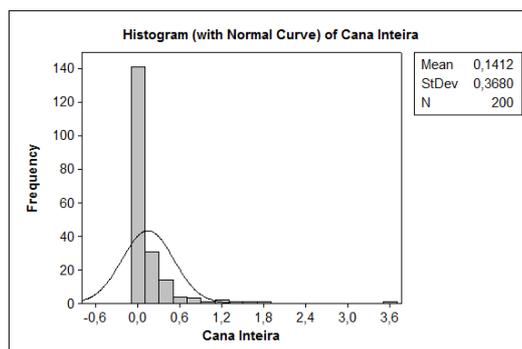
Rebolo estilhaçado



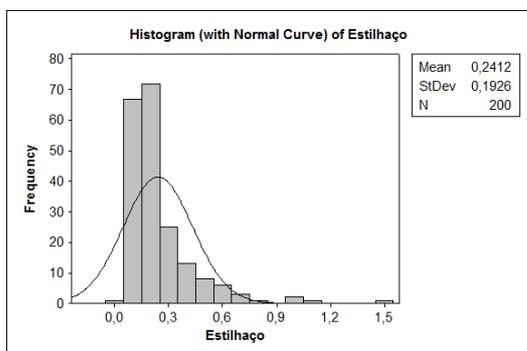
Pedaço solto + fixo



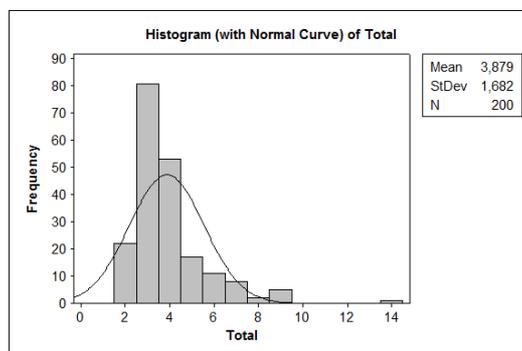
Cana inteira



Estilhaço

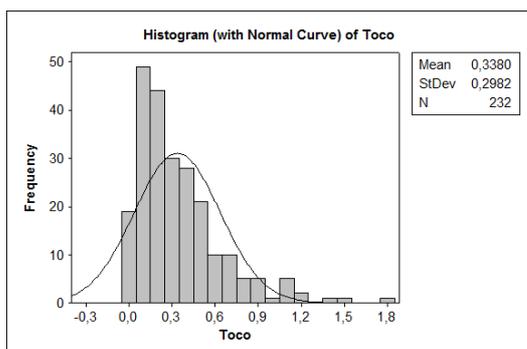


Total

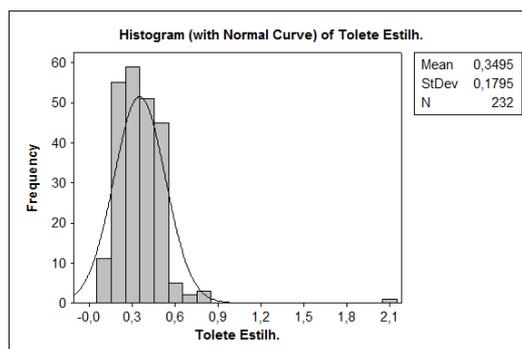


## Apêndice H. Histogramas com curva normal para os tipos de perdas da Frente 1 durante a safra 2013/2014.

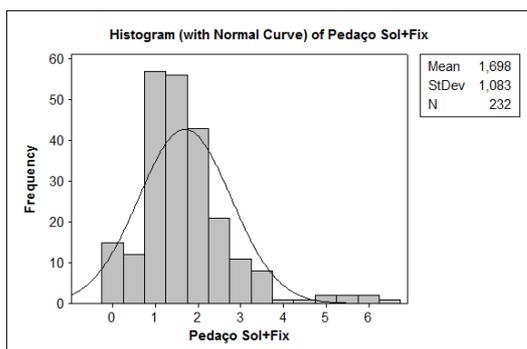
Toco



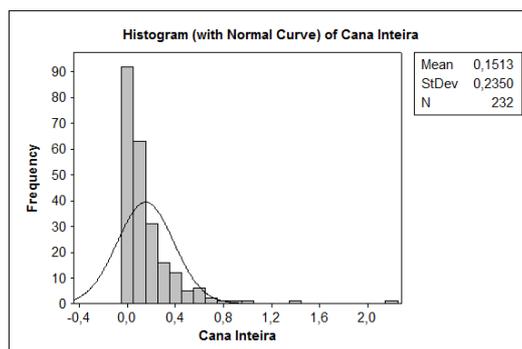
Rebolo estilhaçado



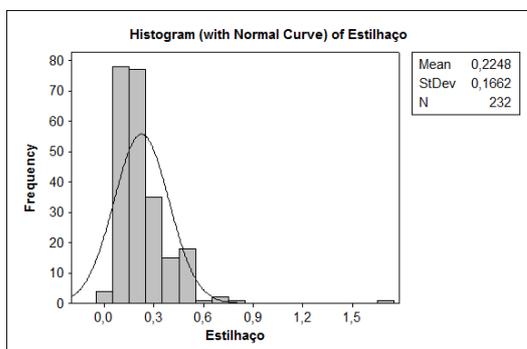
Pedaco solto + fixo



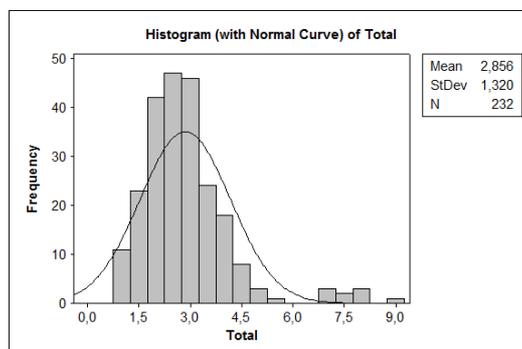
Cana inteira



Estilhaço

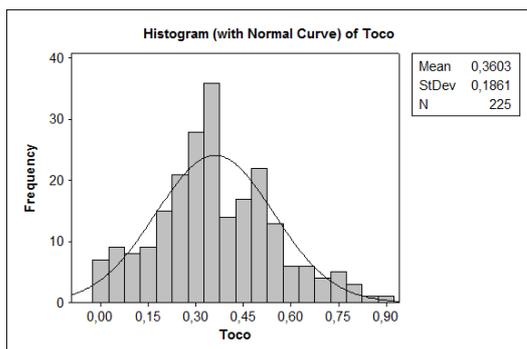


Total

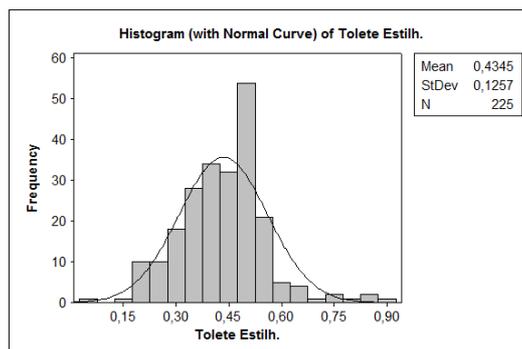


## Apêndice I. Histogramas com curva normal para os tipos de perdas da Frente 2 durante a safra 2013/2014.

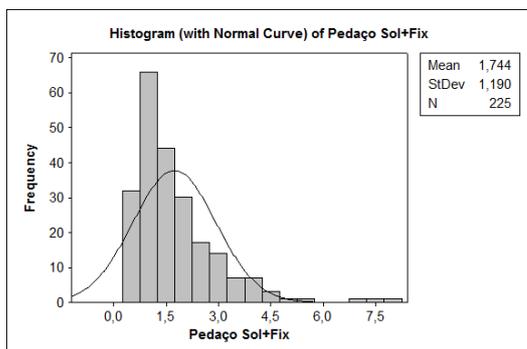
Toco



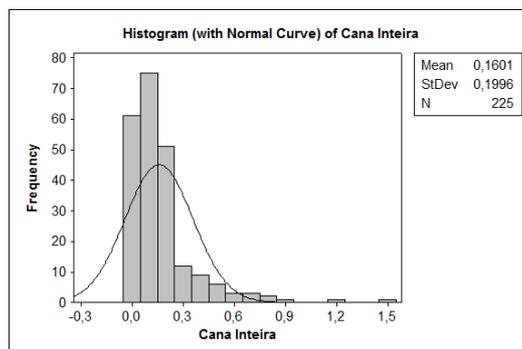
Rebolo estilhaçado



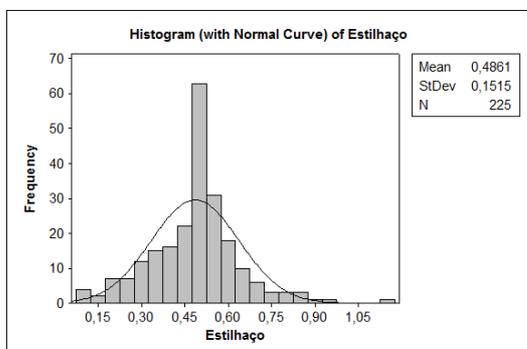
Pedaco solto + fixo



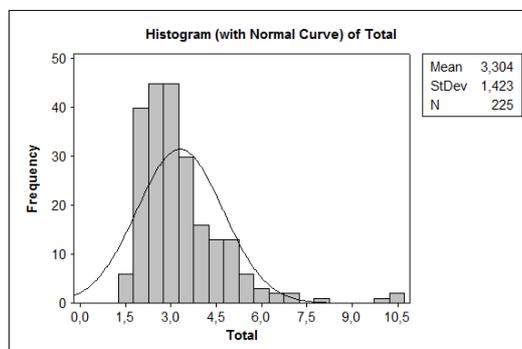
Cana inteira



Estilhaço

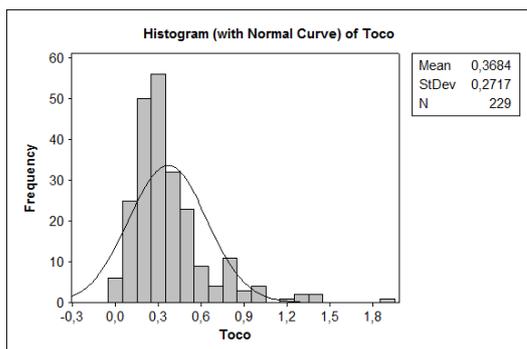


Total

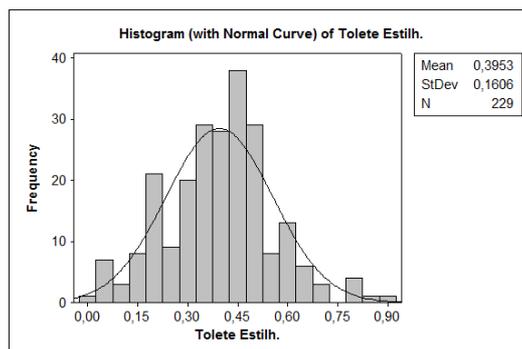


## Apêndice J. Histogramas com curva normal para os tipos de perdas da Frente 3 durante a safra 2013/2014.

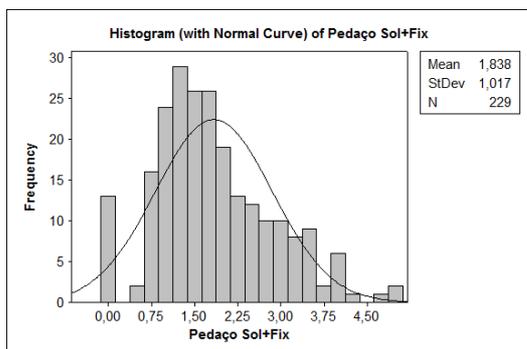
Toco



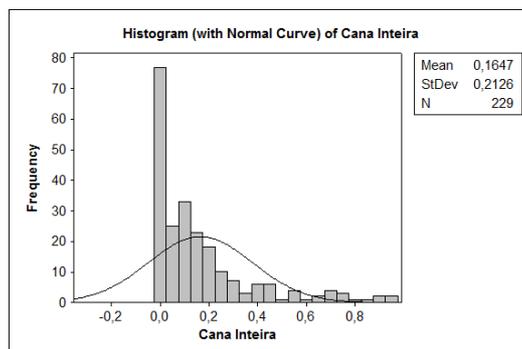
Rebolo estilhaço



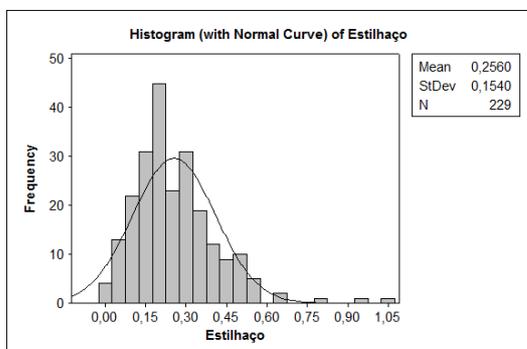
Pedaco solto + fixo



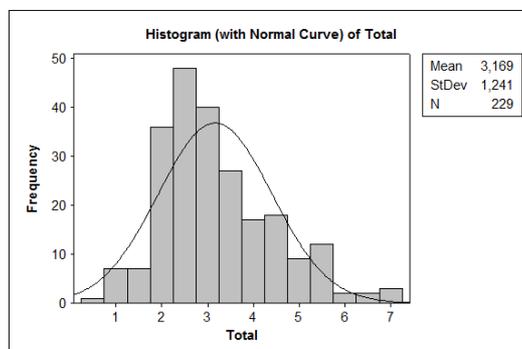
Cana inteira



Estilhaço

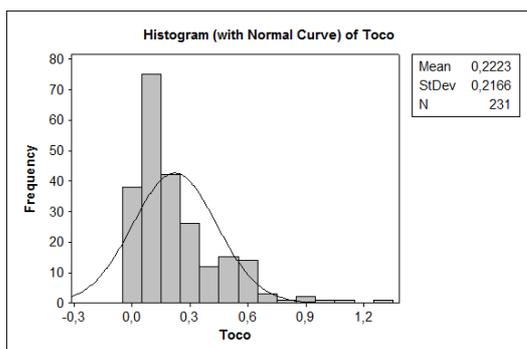


Total

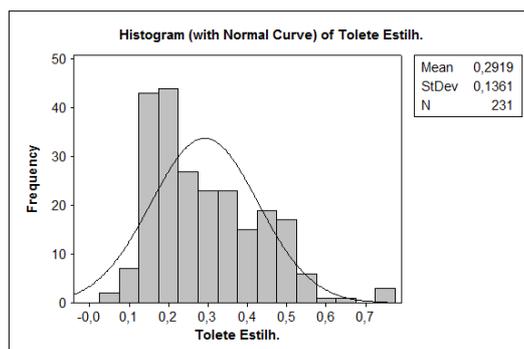


## Apêndice K. Histogramas com curva normal para os tipos de perdas da Frente 4 durante a safra 2013/2014.

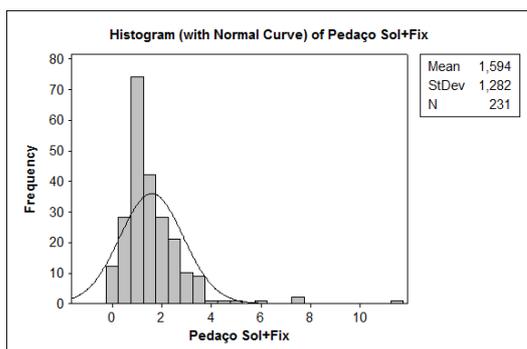
Toco



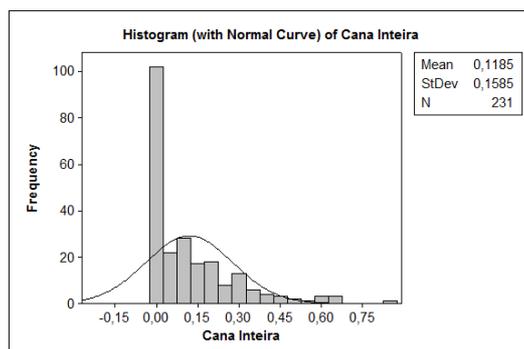
Rebolo estilhaçado



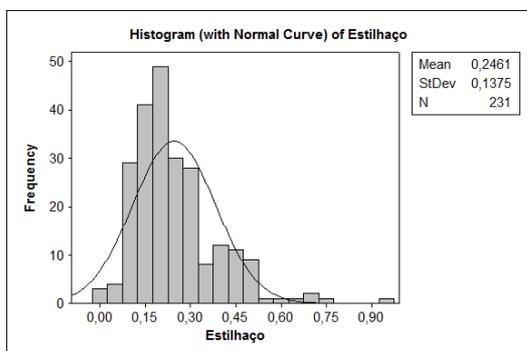
Pedaco solto + fixo



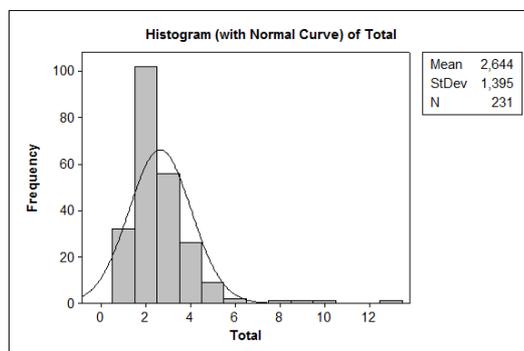
Cana inteira



Estilhaço

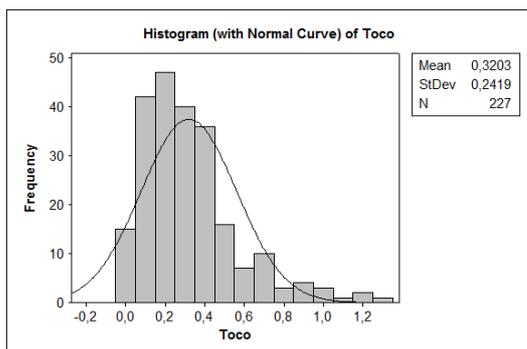


Total

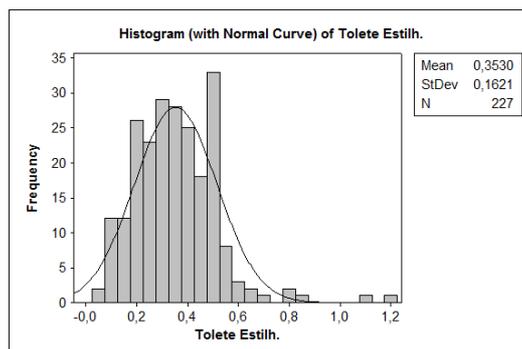


## Apêndice L. Histogramas com curva normal para os tipos de perdas da Frente 5 durante a safra 2013/2014.

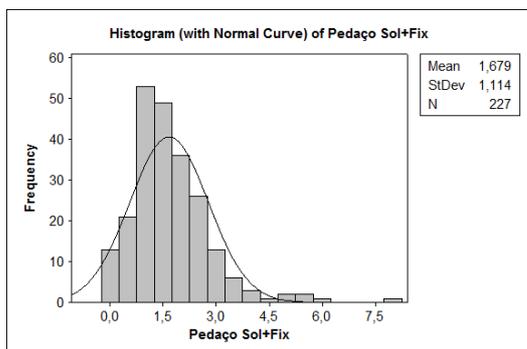
Toco



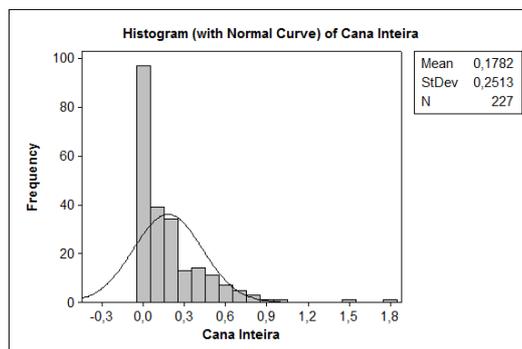
Rebolo estilhaçado



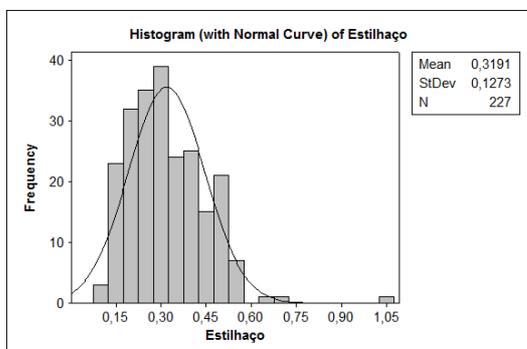
Pedaco solto + fixo



Cana inteira



Estilhaço



Total

