

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE MÁQUINA
MULTIFUNCIONAL CONSERVACIONISTA PARA A
AGRICULTURA FAMILIAR**

DANIEL ALBIERO

**CAMPINAS – SP
FEVEREIRO DE 2010**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE MÁQUINA
MULTIFUNCIONAL CONSERVACIONISTA PARA A
AGRICULTURA FAMILIAR**

Tese submetida à banca examinadora para a obtenção do
título de Doutor em Engenharia Agrícola na área de
concentração em Máquinas Agrícolas.

DANIEL ALBIERO

Orientador: Prof. Dr. Antonio José da Silva Maciel

**CAMPINAS – SP
FEVEREIRO DE 2010**

FICHA CATALOGRÁFICA

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE -
UNICAMP

AL14d Albiero, Daniel
Desenvolvimento e avaliação de máquina
multifuncional conservacionista para a agricultura
familiar / Daniel Albiero. --Campinas, SP: [s.n.], 2010.

Orientador: Antonio José da Silva Maciel.
Tese de Doutorado - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Semeadora. 2. Agricultura familiar. 3. Controle de
qualidade . I. Maciel, Antonio José da Silva. II.
Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
Engenharia Agrícola. III. Título.

Título em Inglês: Design and evaluation of conservationist multifunction
machine for small farms

Palavras-chave em Inglês: Seeders, Small farms, Quality in agriculture

Área de concentração: Máquinas Agrícolas

Titulação: Doutor em Engenharia Agrícola

Banca examinadora: Marcos Milan, Walter Boller, Sonia Maria Pessoa
Pereira Bergamasco, Nelson Luís Cappelli

Data da defesa: 22/02/2010

Programa de Pós Graduação: Engenharia Agrícola

BANCA EXAMINADORA

Este exemplar corresponde à redação final da **Tese de Doutorado** defendida por **Daniel Albiero**, aprovada pela Comissão Julgadora em 22 de fevereiro de 2010, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.



Prof. Dr. Antonio José da Silva Maciel – Presidente e Orientador
Feagri/Unicamp




Prof. Dr. Marcos Milan - Membro Titular
Esalq/USP



Prof. Dr. Walter Boller - Membro Titular
UPF



Prof.ª. Dr.ª. Sonia Maria Pessoa Pereira Bergamasco - Membro Titular
Feagri/Unicamp



Prof. Dr. Nelson Luís Cappelli - Membro Titular
Feagri/Unicamp

EPÍGRAFES

“O inventor, como a natureza, não dá saltos: progride de manso, evolui...”

(ALBERTO SANTOS-DUMONT)

“O Novo Dragão é a evolução de 20 anos de estudos sobre mecanização da agricultura familiar, e estamos somente começando...”

(ANTONIO JOSÉ DA SILVA MACIEL)

DEDICATÓRIA

*“Dedico à minha amada esposa,
Danila, que teve paciência nos
momentos mais difíceis.”-*

*“Ofereço aos meus pais Narciso e Leni,
que sempre me apoiaram e
perseveraram por mim.”-*

AGRADECIMENTOS

A DEUS e à VIRGEM MARIA, pela luz e fé.

Ao São Miguel, pela proteção.

À Danila de Fátima Orlandim (minha esposa) por seu amor.

Ao meu pai Narciso Albiero (agricultor familiar) e a minha mãe Leni Giraldi Albiero, por confiarem em mim.

Ao Murilo Albiero (irmão) e à Viviane Cardoso Albiero, pelo apoio.

Aos sobrinhos Henrique e a Sofia Cardoso Albiero.

Ao Prof. Dr. Antonio José da Silva Maciel, pela orientação e amizade.

À banca de qualificação desta tese: Prof. Dr. Walter Boller, Prof. Dr. Ruy Casão Jr. e à Prof. Dra. Sonia Maria Pessoa Pereira Bergamasco, pelo direcionamento deste trabalho.

A todos que me ajudaram na construção do Novo Dragão na Hibrema em especial: Sergio Bresciani, Sergio Bresciani Filho, José Geronymo, Eder Luiz Cancian, Cristiane Aparecida Vieira Veronese, João Luiz Andrello, Mauro Rogério Quirino, Marcio Henrique Quirino, Carlos Rolando, Paulo Rodrigo de Moreira, Fabrício Butignon, Silvio César Zuin, Dirlei Antonelli, Leandro Zatti, Samuel Lucas Da Silva, Murilo Mac Alpini, José Rodrigues, Izaltino Alves Rodrigues, Isaias Matias, Evandro Favarelli, Renan Giraldi.

Ao Ivan Armelim, pela essencial ajuda final na soldagem da estrutura do chassi.

A todos que me ajudaram nos testes operacionais da máquina multi-funcional : Samuel César Gonçalves, Guilherme Itamaranqui Peneluppe Magalhães, Paulo Krejci Nunes, Gustavo Nery

Dutra de Castro, Renan Damir Tunussi, Carlos Albrecht Jr., Luiz Carlos Santos Silva, Leonardo Fernando Honório, Angelo Augusto Tavares, Danila de Fátima Orlandim Albiero, Livia Borges Bueno, Cícero Pereira Carvalho Jr., Mateus Caffaro Picinini, Pedro Bonetti.

A todos que me ajudaram na execução do fmea: Guilherme Itamaranqui Penellupi Magalhães, Paulo Krejci Nunes, Renan Damir Tunussi, Gustavo Nery Dutra De Castro, Antonio José da Silva Maciel, Otto Wolf Maciel, Victor Batisti Wanderlei, especial agradecimento ao Paulo Krejci Nunes e ao Guilherme Itamaranqui Penellupi Magalhães, que juntos quase torramos nossos neurônios, mas conseguimos terminar o fmea.

À Senhora Su Fan Chang viúva do Prof. Chang, e seus filhos, pelo incentivo.

Ao CNPq pela bolsa de doutorado, o pão nosso de cada dia que possibilitou meu crescimento.

À FINEP pelos recursos para a execução do projeto.

À FAPESP pelos investimentos iniciais.

À UNICAMP pela possibilidade de fazer parte de seu mundo.

À FEAGRI pelo acolhimento.

À Biblioteca Central e à Biblioteca da Área de Engenharia pelo acesso aos materiais bibliográficos.

À Cooperativa dos Plantadores de Cana da Região de Capivari (CANACAP) pelas análises de solo.

À Cooperativa da Região de Orlândia (CAROL) pela doação das sementes de soja.

À Coordenação de Pós-Graduação da Feagri, pela oportunidade.

Aos professores e funcionários da Feagri, pela ajuda

Aos amigos, pelas risadas, pelas consolações, pelas ajudas.

In memoriam: ao aluno Julio Zerbinato pela efêmera convivência.

“In post mortem” homenagem ao Prof. Dr. Cheu Shang Chang: Que nunca olhou para traz, quando veio ao Brasil realizar um sonho que não envelhece, o sonho de ajudar os pobres do campo, os que contam somente consigo para não deixar apagar a chama, da engenharia para o social, nada dizia porque sabia, quem diz não é, pois quem é não diz, sempre ensinou seus discípulos a lenda do dragão, que ataca uma só vez e de frente. O tempo nunca transformará a rocha que Chang deixou, o pensamento fundamento singular de que a vida tem que estar em equilíbrio no balanço. Das selvas de Burma na segunda guerra mundial aos campos dos agricultores familiares no Brasil, eis que foi o maior dragão chinês brasileiro ou talvez o maior dragão brasileiro chinês. Obrigado Prof. Chang.

SUMÁRIO

FICHA CATALOGRÁFICA	II
BANCA EXAMINADORA	III
EPÍGRAFES	IV
DEDICATÓRIA	V
AGRADECIMENTOS	VI
SUMÁRIO	IX
LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE TABELAS	XVII
LISTA DE EQUAÇÕES	XIX
RESUMO	XXI
ABSTRACT	XXII
1- INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 PANORAMA DA MECANIZAÇÃO NA AGRICULTURA FAMILIAR	6
2.2 MODERNIZAÇÃO DA AGRICULTURA FAMILIAR	9
2.3 CONCEITOS BÁSICOS DE PREPARO DE SOLO CONSERVACIONISTA	12
2.4 “PARAPLOW” ROTATIVO	15
2.5 MECANISMO DISTRIBUIDOR DE FERTILIZANTES DE ESPIRAL CÔNICA	20
2.6 SEMEADORA DE ANEL VERTICAL INTERNO ROTATIVO	22
2.7 SISTEMA DE ACABAMENTO DE SULCO	23
2.8 SISTEMA DE SEMEADURA CONSERVACIONISTA NSMC	26
2.9 ANÁLISE DE FALHAS E QUALIDADE	27
2.10 CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO (CEP)	29
2.11 ANÁLISE DE EFEITOS E MODOS DE FALHA (FMEA)	34

3-	MATERIAL E MÉTODOS	40
3.1	MATERIAL	41
3.2	METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA MÁQUINA	50
3.3	METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DE QUALIDADE	63
3.4	METODOLOGIAS ESTATÍSTICAS	70
4-	RESULTADOS E DISCUSSÃO	74
4.1	AVALIAÇÕES DA SEMEADORA E ADUBADORA	74
4.2	CARACTERIZAÇÃO GERAL DA SEMEADORA	88
4.3	AVALIAÇÃO DA EMERGÊNCIA DE PLÂNTULAS	149
4.4	ANÁLISE DE EFEITOS E MODOS DE FALHA (FMEA)	162
5-	CONCLUSÃO	174
6-	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	176
7-	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	177
8-	ANEXOS	200
8.1	FLUXOGRAMA DO TRABALHO	200
8.2	DADOS GERAIS DA DISTRIBUIÇÃO DE FERTILIZANTES EM ENSAIO DE PISTA	201
8.3	DADOS GERAIS DA DISTRIBUIÇÃO LONGITUDINAL DE SEMENTES EM PISTA	202
8.4	CARACTERIZAÇÃO GERAL DA SEMEADORA	204
8.5	DESEMPENHO OPERACIONAL	206
8.6	ESPAÇAMENTO E PROFUNDIDADE DE SEMENTES EM CONDIÇÕES REAIS	208
8.7	PERFIL DO SULCO PREPARADO PELO “PARAPLOW” ROTATIVO	211
8.8	PARÂMETROS DE QUALIDADE DE SEMEDURA	212
8.9	DIÂMETRO MÉDIO PONDERADO	213
8.10	AVALIAÇÃO DA EMERGÊNCIA DE PLÂNTULAS	214
8.11	TABELA RESUMIDA DA ANÁLISE DE EFEITOS E MODOS DE FALHA DA NSMC “NOVO DRAGÃO”.	220

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Semeadora de cebolas adaptada a motocultor por agricultor familiar, FREITAS (2000).	9
Figura 2. Semeadora de plantio direto adaptado a motocultor por agricultor familiar FREITAS (2000).	9
Figura 3. Paraplow Rotativo.	17
Figura 4. “Paraplaws” Rotativos avaliados.	19
Figura 5. Características da faixa de plantio preparada pelo “Paraplow” Rotativo, (a) largura superior (~10 cm), (b) largura inferior (~25 cm) e (c) conformação trapezoidal do sulco de semeadura (ALBIERO, 2006).	20
Figura 6. Construção geral do distribuidor de fertilizantes de espiral cônica (CHANG, 1995).	21
Figura 7. Seqüência de montagem do mecanismo dosador (OLIVEIRA e MACIEL, 2005).	21
Figura 8. Representação virtual do mecanismo dosador proposto (OLIVEIRA e MACIEL, 2005).	22
Figura 9. Rodas compactadoras estudadas por SILVA (2002).	25
Figura 10. Sistema de acabamento de sulco proposto por CASÃO Jr. & CAMPOS (2004).	25
Figura 11. Nova Semeadora Multifuncional Conservacionista (NSMC) (MACIEL (2004), Convênio FEAGRI/FINEP 3158), Protótipo 1.	27
Figura 12. Participação da agricultura familiar em diversas culturas e produtos, dados em % (IBGE, 2006, adaptado por MDA, 2010).	27
Figura 13. Seqüência de operações para avaliação de processos (HELMAN & ANDERY, 1995).	32
Figura 14. Fluxograma do procedimento para realização do FMEA (TENG & HO, 1996), tradução do autor.	39
Figura 15. Área onde foram realizados os testes experimentais	41
Figura 16. (a) Desenho técnico da ferramenta, (b) “paraplow” rotativo utilizado no experimento.	42
Figura 17. NSMC, PROTÓTIPO 2, desenho técnico.	44
Figura 18. NSMC, PROTÓTIPO 2, desenho conceitual.	45
Figura 20. Componentes da NSMC, Protótipo 2.	45

Figura 21. Diagrama da transmissão de potência entre roda motora e engrenagens da adubadora e semeadora. _____	48
Figura 22. Detalhe do sistema de transmissão da roda motora (O) para a semeadora (S) e adubadora (A). _____	49
Figura 23. Área experimental. _____	51
Figura 23. Disposição parcelas das linhas de caracterização da semeadora. _____	52
Figura 25. Delineamento experimental totalmente aleatório. _____	53
Figura 25. Histograma da Taxa de distribuição de Fertilizantes. _____	76
Figura 26. Gráfico de Probabilidade Normal da Taxa de distribuição de Fertilizantes, intervalo de confiança de 95%. _____	76
Figura 27. Gráfico de controle da taxa de aplicação de fertilizantes. _____	77
Figura 28. Análise da capacidade do processo de distribuição de fertilizantes. _____	78
Figura 29. Histograma dos espaçamentos entre sementes do teste em pista 1. _____	80
Figura 30. Gráfico de probabilidade normal dos espaçamentos entre sementes teste 1, intervalo de confiança de 95%. _____	81
Figura 31. Histograma dos espaçamentos entre sementes do teste em pista 2. _____	81
Figura 32. Gráfico de probabilidade normal dos espaçamentos entre sementes teste 2, intervalo de confiança de 95%. _____	82
Figura 33. Gráfico de controle do espaçamento entre sementes do teste 1. _____	83
Figura 34. Gráfico de controle do espaçamento entre sementes do teste 2. _____	83
Figura 35. Análise da capacidade do processo de distribuição de sementes do teste 1. _____	85
Figura 36. Análise da capacidade do processo de distribuição de sementes do teste 2. _____	86
Figura 37. Gráfico da média móvel exponencialmente ponderada do espaçamento entre sementes do teste 1. _____	86
Figura 38. Gráfico da média móvel exponencialmente ponderada do espaçamento entre sementes do teste 2. _____	87
Figura 39. Histograma do índice de cone antes da operação. _____	90
Figura 40. Gráfico de probabilidade normal do índice de cone antes da operação, intervalo de confiança de 95%. _____	91
Figura 41. Gráfico de controle do índice de cone antes da operação. _____	92
Figura 42. Análise da capacidade do processo do índice de cone antes da operação. _____	93

Figura 43. Gráfico da Média móvel exponencialmente ponderada do índice de cone antes da operação.	94
Figura 44. Histograma do índice de cone depois da operação sem a roda compactadora.	95
Figura 45. Gráfico de probabilidade normal do índice de cone depois da operação sem a roda compactadora, intervalo de confiança de 95%.	95
Figura 46. Gráfico de controle do índice de cone depois da operação sem a roda compactadora.	96
Figura 47. Análise da capacidade do processo do índice de cone depois da operação sem a roda compactadora.	97
Figura 48. Gráfico da média móvel exponencialmente ponderada do índice de cone depois da operação sem a roda compactadora.	98
Figura 49. Histograma do índice de cone depois da operação com a roda compactadora.	99
Figura 50. Gráfico de probabilidade normal do índice de cone depois da operação com a roda compactadora, intervalo de confiança de 95%.	99
Figura 51. Gráfico de controle do índice de cone depois da operação com a roda compactadora.	100
Figura 52. Análise do processo do índice de cone depois da operação com a roda compactadora.	101
Figura 53. Avaliação operacional da NSMC, Protótipo 2, área de caracterização da semeadura.	105
Figura 54. Histograma da avaliação da capacidade de campo efetiva.	105
Figura 55. Gráfico de probabilidade normal da capacidade de campo efetiva, intervalo de confiança de 95%.	106
Figura 56. Gráfico de controle da capacidade de campo efetiva.	107
Figura 57. Análise da capacidade do processo da capacidade de campo efetiva.	107
Figura 58. Gráfico da média móvel exponencialmente variável da capacidade de campo.	108
Figura 59. Espaçamentos entre sementes dosadas pelo Protótipo 2, notar as elipses amarelas.	111
Figura 60. Histograma dos espaçamentos entre sementes em operação real.	112
Figura 61. Gráfico de probabilidade normal dos espaçamentos entre sementes operacionais, intervalo de confiança de 95%.	112

Figura 62. Gráfico de controle do espaçamento entre sementes em operação real. _____	113
Figura 63. Análise da capacidade do processo de espaçamentos entre sementes real. _____	114
Figura 64. Gráfico da média móvel exponencialmente ponderada do espaçamento entre sementes em operação real. _____	115
Figura 65. Histograma da Profundidade de sementes em operação real. _____	116
Figura 66. Gráfico de probabilidade normal da profundidade de sementes, intervalo de confiança de 95%. _____	116
Figura 67. Gráfico de controle da profundidade de sementes. _____	117
Figura 68. Análise da capacidade do processo de profundidades de sementes. _____	118
Figura 69. Gráfico da média móvel exponencialmente ponderável da profundidade de sementes. _____	119
Figura 70. Histograma da Largura superior do sulco. _____	121
Figura 71. Gráfico de probabilidade normal da largura superior do sulco, intervalo de confiança de 95%. _____	122
Figura 72. Gráfico de controle da largura superior do sulco. _____	123
Figura 73. Análise da capacidade do processo da largura superior do sulco. _____	124
Figura 74. Gráfico da média móvel exponencialmente ponderada da largura superior. _____	125
Figura 75. Histograma da largura inferior do sulco. _____	126
Figura 76. Gráfico de probabilidade normal da largura inferior do sulco, intervalo de confiança de 95%. _____	126
Figura 77. Gráfico de controle da largura inferior do sulco. _____	127
Figura 78. Análise do processo da largura inferior do sulco. _____	128
Figura 79. Gráfico da Média móvel exponencialmente ponderada da largura inferior. _____	129
Figura 80. Histograma da Profundidade do sulco. _____	130
Figura 81. Gráfico de probabilidade normal da profundidade do sulco, intervalo de confiança de 95%. _____	130
Figura 82. Gráfico de controle da profundidade do sulco. _____	131
Figura 83. Análise da capacidade do processo da profundidade do sulco. _____	132
Figura 84. Gráfico da média móvel exponencialmente ponderada da profundidade. _____	133
Figura 85. Histograma da largura de fissuras do sulco. _____	134

Figura 86. Gráfico de probabilidade normal da largura de fissuras do sulco, intervalo de confiança de 95%.	134
Figura 87. Gráfico de controle da largura de fissuras.	135
Figura 88. Análise da capacidade do processo da largura de fissuras.	136
Figura 89. Sistema de acabamento de sulco, (a) roda compactadora, (b) discos aterradores, (c) sulcador de sementes.	139
Figura 90. Vista da cobertura de palha sobre a superfície semeada pela NSMC.	140
Figura 91. Sulco de plantio recoberto com palha (marcas amarelas mostram plântulas emergidas, sexto dia).	140
Figura 92. Histograma do índice de palha na superfície.	141
Figura 93. Gráfico de probabilidade normal do índice de palha na superfície, intervalo de confiança de 95%.	141
Figura 94. Gráfico de controle do índice de palha na superfície.	142
Figura 95. Análise da capacidade do processo do índice de palha na superfície.	143
Figura 96. “Paraplow” Rotativo em ação, notar o solo preparado e não pulverizado.	145
Figura 97. Histograma do diâmetro médio ponderado do solo preparado.	146
Figura 98. Gráfico de probabilidade normal do diâmetro médio ponderado do solo, intervalo de confiança de 95%.	146
Figura 99. Gráfico de controle do diâmetro médio ponderado do solo preparado.	147
Figura 100. Análise da capacidade do processo do diâmetro médio ponderado do solo.	148
Figura 101. Marcha de emergência de plântulas de soja (valores totais).	150
Figura 102. Emergência das plântulas, sexto dia após o plantio, notar marcas amarelas.	152
Figura 103. Histograma da emergência de plântulas por linha de semeadura.	153
Figura 104. Gráfico de probabilidade normal da emergência de plântulas, intervalo de confiança de 95%.	153
Figura 105. Gráfico de controle da emergência de plântulas por linha de semeadura.	154
Figura 106. Análise da capacidade do processo da emergência de plântulas.	155
Figura 107. Histograma do índice de velocidade de emergência por linha de semeadura.	156
Figura 108. Gráfico de probabilidade normal do índice de velocidade de emergência, intervalo de confiança de 95%.	156
Figura 109. Gráfico de controle do índice de velocidade de emergência.	157

Figura 110. Análise da capacidade do processo do índice de velocidade de emergência. ____	158
Figura 111. Histograma do número médio de dias para emergência. _____	159
Figura 112. Gráfico de probabilidade normal do número médio de dias para emergência, intervalo de confiança de 95%._____	159
Figura 113. Gráfico de controle do número médio de dias para emergência. _____	160
Figura 114. Análise da capacidade do processo do número médio de dias para emergência.	161

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Geometria dos anéis internos para as diferentes sementes. _____	23
Tabela 2. Apresenta as características dimensionais da NSMC, PROTÓTIPO 2. _____	46
Tabela 3. Engrenagens utilizadas na transmissão da adubadora/semeadora. _____	49
Tabela 4. Dados Climáticos no período do experimento, CEPAGRI/UNICAMP, posto metereológico da FEAGRI. _____	54
Tabela 5. Resultados da análise do solo, sistema IAC, CANACAP. _____	55
Tabela 6. Classificação de processo pelo índice Cp (CAMPOS, 2007). _____	65
Tabela 7. Classificação de processos pelo índice Cpk (CAMPOS, 2007). _____	66
Tabela 8. Convenções de fases no processo de projetar (BACK, 1983). _____	66
Tabela 9. Cabeçalho do formulário FMEA. _____	67
Tabela 10. Continuação do formulário FMEA. _____	67
Tabela 11. Grau de severidade da falha (TOLEDO & AMARAL, 2008). _____	68
Tabela 12. Capacidade de detecção da falha (TOLEDO & AMARAL, 2008). _____	68
Tabela 13. Classificação de ocorrência (ELSMAR, 2009). _____	69
Tabela 14. Equipe multidisciplinar para elaboração do FMEA da NSMC. _____	70
Tabela 15. Sumário Estatístico da distribuição de fertilizantes. _____	75
Tabela 16. Sumário Estatístico da distribuição longitudinal de sementes, unidades são em centímetros. _____	79
Tabela 17. Avaliação de duplos, falhas e sementes quebradas. _____	80
Tabela 18. Sumário Estatístico densidade e umidade do solo no início do experimento. ____	88
Tabela 19. Sumário Estatístico Índice de Cone Antes (ICA), Índice de Cone Depois com Roda Compactadora (ICDCR), regulada com força de compressão de 235 N e Índice de Cone Depois Sem Compactação (ICDSR). _____	89
Tabela 20. Sumário Estatístico da Capacidade de Campo Efetiva. _____	103
Tabela 21. Sumário Estatístico Espaçamento e Profundidade das sementes plantadas. ____	109
Tabela 22. Avaliação de duplos, falhas e sementes quebradas. _____	110
Tabela 23. Sumário Estatístico das características geométricas do sulco. _____	120
Tabela 24. Sumário Estatístico do Índice de palha na superfície. _____	137
Tabela 25. Variáveis de qualidade de semeadura. _____	138

Tabela 26. Sumário Estatístico do Diâmetro Médio Ponderado dos agregados via úmida.	144
Tabela 27. Emergência total de sementes.	149
Tabela 28. Índice de velocidade e número médio de dias para emergência de plântulas.	150
Tabela 29. Falhas críticas em função da prioridade de risco.	170
Tabela 30. Dados relativos a deslizamento da roda motora/interface adubadora.	201
Tabela 31. Dados da aplicação de adubo e velocidade de aplicação (tiros de 20 m).	201
Tabela 32. Espaçamentos entre sementes, teste 1, tiro de 15 metros.	202
Tabela 33. Espaçamentos entre sementes, teste 2, tiro de 17,6 metros.	203
Tabela 34. Teor de água e densidade aparente do solo antes dos testes.	204
Tabela 35. Avaliação do índice de cone antes, depois com e sem roda compactadora.	205
Tabela 36. Desempenho operacional da semeadora.	206
Tabela 37. Capacidade de campo da semeadora.	207
Tabela 38. Espaçamentos entre sementes distribuídas pela NSMC.	208
Tabela 39. Características geométricas do sulco de plantio preparado pelo Paraplow.	211
Tabela 40. Cobertura de palha sobre a área (inicial=5120 kg/ha), 20 linhas aleatórias na área de emergência.	212
Tabela 41. Diâmetro médio ponderado dos sulcos de plantio.	213
Tabela 42. Emergência de sementes, data da semeadura: 18 de maio de 2008.	214
Tabela 43. Análise de efeitos e modos de falha da NSMC.	220

LISTA DE EQUAÇÕES

$\gamma = \frac{Ms}{V}$	Equação 1	56
$U = \frac{(mu - ms)}{ms}$	Equação 2	56
$DMP = \sum (C_n * P)$	Equação 3	57
$C = \frac{v.w}{10}$	Equação 4	58
$\eta_f = \frac{\tau_t}{\tau_m + \tau_r + \tau_{mn} + \tau_{mm}}$	Equação 5	59
$Ce = \frac{v.w\eta_f}{10}$	Equação 6	59
$IPS = \frac{CP}{CA} . 100$	Equação 7	61
$IVE = \sum_1^n \frac{E_i}{N_i}$	Equação 8	62
$M = \frac{\sum_1^n N_i . G_i}{\sum_1^n G_i}$	Equação 9	63
$LSC = \mu + L . \sigma$	Equação 10	63
$LIC = \mu - L . \sigma$	Equação 11	63
$Cp = \frac{LSE - LIE}{6 . \sigma}$	Equação 12	64
$Cpk = \min(Cps, Cpi)$	Equação 13	64
$Cpc = \frac{LSE - LIE}{6 . (\sqrt{\frac{\pi}{2}}) . E X - T }$	Equação 14	64
$z_i = \lambda . \sum_0^{i-1} (1 - \lambda) . x_{i-j} + (1 - \lambda)^i . z_0$	Equação 15	65

$$LSC = \mu + L.\sigma.\sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)}.[1-(1-\lambda)^{2i}]} \quad \text{Equação 16} \quad \underline{\hspace{10em}} \quad 65$$

$$LIC = \mu - L.\sigma.\sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)}.[1-(1-\lambda)^{2i}]} \quad \text{Equação 17} \quad \underline{\hspace{10em}} \quad 65$$

$$NPR = S_v \times O_c \times D_t \quad \text{Equação 18} \quad \underline{\hspace{10em}} \quad 67$$

$$m_3 = \frac{\sum (X - \mu)^3}{n} \quad \text{Equação 19} \quad \underline{\hspace{10em}} \quad 71$$

$$g = \frac{m_3}{m_2 * \sqrt{m_2}} \quad \text{Equação 20} \quad \underline{\hspace{10em}} \quad 72$$

$$m_4 = \frac{\sum (X - \mu)^4}{n} \quad \text{Equação 21} \quad \underline{\hspace{10em}} \quad 72$$

$$k = \left(\frac{m_4}{m_2^2} \right) - 3 \quad \text{Equação 22} \quad \underline{\hspace{10em}} \quad 73$$

$$AD^2 = -n - n^{-1} \cdot \sum_{i=1}^n (2.i - 1) \cdot [\ln(P_i) + \ln(1 - P_{n+1-i})] \quad \text{Equação 23} \quad \underline{\hspace{10em}} \quad 73$$

$$p = 1 - (1 - a)^n \quad \text{Equação 24} \quad \underline{\hspace{10em}} \quad 73$$

RESUMO

A agricultura familiar tem papel de destaque no Agronegócio brasileiro, pois a maior parte dos alimentos consumidos pelo povo brasileiro é proveniente desta categoria de produtores rurais. Apesar disto em termos de mecanização agrícola tal importância não é reconhecida nem atendida, já que pouca pesquisa tem sido feita para atender às demandas, além de haver poucas indústrias que se interessem em explorar o mercado de equipamentos agrícolas deste setor. Este panorama subentende um sério problema de utilização de trabalho mecânico nas pequenas propriedades rurais que se traduz em uma defasagem muito grande entre as pequenas e grandes propriedades, principalmente em relação à eficiência do trabalho na produção o que perfaz um ciclo onde a agricultura familiar mal consegue produzir para sua própria subsistência. Assim ela perde a oportunidade de se inserir eficientemente nas grandes cadeias produtivas do Agronegócio Brasileiro. Supõe-se que dotando a agricultura familiar, com um sistema mecanizado que realize as operações de semeadura de forma eficiente e conservacionista é possível amenizar a questão da utilização de potência. O objetivo deste trabalho foi desenvolver, construir e avaliar uma máquina multifuncional de semeadura conservacionista em faixas para pequenas propriedades rurais, com alta tecnologia, simplicidade de operação e pouca manutenção. Foram construídos dois protótipos que realizaram testes em campo para a caracterização da nova máquina com dados relativos ao desempenho do equipamento, principalmente em relação à emergência de plântulas. Foi utilizada a cultura da soja para os testes, pois possui dados exaustivos sobre sistemas de plantio conservacionista (plantio direto), facilidade para montagem do experimento e principalmente pela extrema eficiência do mecanismo dosador selecionado em distribuir as sementes de soja. Foi realizado também um estudo da qualidade das operações pertinentes à nova máquina, assim como uma Análise do Modo de Falha e seus Efeitos (FMEA) para propor modificações que visam melhorar o projeto. Pelos resultados obtidos, a nova máquina de semeadura confirmou a hipótese do trabalho de que o desempenho em relação à emergência de plântulas é compatível ao plantio direto. As características operacionais foram adequadas às necessidades das pequenas propriedades rurais, já que a capacidade de campo da nova semeadora possibilita o trabalho por toda a área das pequenas propriedades (10 ha) em tempo hábil dentro do período de semeadura (45 dias).

ABSTRACT

The small farms in Brazil have an important position in agro-business, because it is the greater food's producing. However agricultural mechanization is not considered nor assisted, therefore it there is little research for to assist the demands of small farmers, beyond of industries have not interest for this market. This scenery is a big problem in relation at the utilization of power, mainly because of low efficiency of job in production, that it generate a cycle where the small farms do not get to produce for yourself consumption, and so it lost the opportunity of itself insert in agro-business. It is believed that with a conservationist mechanized system for efficient seeding it is possible that the problem will be decreased. Therefore the subject this work was to design, to develop, to construct and to evaluate a conservationist multifunctional machine of seeding in strip till system for the small farms, with high technology, simplified operation and with little maintenance. They were constructed two prototypes that they accomplished the field tests for the characterization performance of equipment, mainly in relation with plant emerging. It was seeding the soybean therefore this crop has many data about no till system (conservationist system) and the seeder have good performance with this seed. It was done a study of operation quality and a Fail Mode and Effect Analysis (FMEA) for to propose optimal modifications in project. For the results the new machine confirmed the hypothesis that the plant emerging is equal with no till system. The characteristics of operation were appropriate at needs of small farms, therefore the field capacity of machine allow to sow every area of small farms (10 ha) in time period appropriate (45 days).

1- INTRODUÇÃO

A Agricultura familiar no Brasil ocupa em área 24% de toda a terra utilizada do Brasil, mas efetivamente somente utilizam 49% desta área. As propriedades com áreas menores do que 50 ha estas ocupam em torno de 13% de toda a terra utilizada do país, (IBGE, 2006). O sério problema de utilização de potência implica na ocupação da área pelas pequenas propriedades que são controladas por uma categoria com poucos recursos financeiros, os agricultores familiares. A maioria destas propriedades é definida por ter mecanização ainda no estágio do trabalho de tração animal ou humana.

O baixo poder aquisitivo dos agricultores familiares é a principal causa deste fato, visto que a mecanização agrícola exige um nível econômico mínimo para se poder adquirir, operar e fazer a manutenção dos equipamentos utilizados para o cultivo, semeadura, e colheita de produtos agropecuários. Esta situação gera uma defasagem muito grande entre as pequenas e grandes propriedades, principalmente em relação a eficiência do trabalho na produção o que perfaz um ciclo onde a agricultura familiar mal consegue produzir para sua própria subsistência, assim ela perde a oportunidade de se inserir nas grandes cadeias produtivas do Agronegócio Brasileiro.

O pouco ou quase inexistente interesse das indústrias de equipamentos em produzir máquinas e implementos adaptados à agricultura familiar tem causado a exclusão desta do mercado consumidor de equipamentos agrícolas, o que piora ainda mais a eficiência no sistema produtivo deste setor muito importante para a agricultura brasileira, além do que a pequena propriedade tem dificuldades na obtenção de financiamento para maquinaria (embora existam recursos) o que os torna clientes pouco atraentes para a indústria.

Verifica-se a necessidade de resolver de forma acessível o problema da utilização de potência nas propriedades rurais usuárias de tração animal e humana. A melhor abordagem é através do aumento da eficiência dos sistemas de preparo, semeadura e cultivo do solo. Operações essencialmente básicas, tais como preparo de solo, semeadura ou cultivo, nas pequenas propriedades onde a agricultura familiar se desenvolve nem sempre são adequadamente conduzidas.

Outro ponto importante e paralelo a este problema é a questão ambiental. A melhor solução é aquela que se baseia na adoção de sistemas de preparo, semeadura e cultivo do solo

que sejam conservacionistas e principalmente, adaptados à agricultura familiar. O melhor sistema de plantio conservacionista atual é o plantio direto, mas o mesmo para ser instalado em uma área degradada demora de 3 a 4 anos para se estabilizar (SALTON et al. 1998).

Supõe-se que dotando a agricultura familiar, usuária de tração animal e humana de um sistema mecanizado que realize as operações de semeadura de forma eficiente e conservacionista é possível resolver a questão da utilização de potência, consequentemente aumentando a utilização da terra. A hipótese deste trabalho é que uma máquina multifuncional (preparo/cultivo e semeadura) economizará tempo, trabalho e consumo de energia, disponibilizando para a pequena propriedade uma maior área de semeadura, assim aumentando a produtividade pelo aumento da utilização da terra e melhoria na qualidade da semeadura, conservação do solo, e aumento da infiltração de água.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver, construir e avaliar uma máquina de semeadura conservacionista em faixas para pequenas propriedades rurais. Pretendeu-se que seja multifuncional e integrada em um motocultor com sistemas já desenvolvidos ("paraplow" rotativo, distribuidor de adubos tipo espiral cônica e dosador de sementes tipo anel vertical interno rotativo). Esta nova semeadora deve ter simplicidade de operação e exigir pouca manutenção.

Foram realizadas adaptações e construções de sistemas já desenvolvidos de preparo de solo, distribuição de fertilizantes, semeadura e acabamento de plantio em um chassi projetado e construído para dar suporte à interface entre os diversos elementos. Foram construídos dois protótipos que realizaram testes em campo e em laboratório para a caracterização da nova máquina com dados relativos ao desempenho do equipamento, além de serem realizados experimentos sob condições reais de semeadura.

A Nova Semeadora Multifuncional Conservacionista Novo Dragão foi concebida para ter simplicidade de operação e pouca manutenção, acoplada a um motocultor para a semeadura de soja, milho, feijão. O desenvolvimento dos protótipos foi realizado em função da cultura da soja que possui dados exaustivos sobre sistemas de plantio conservacionista (plantio direto), facilidade para montagem do experimento e principalmente pela extrema eficiência do mecanismo dosador em distribuir as sementes de soja. Foi realizado um estudo da qualidade das operações pertinentes à nova máquina, assim como uma Análise do Modo de falha e seus efeitos (FMEA) para propor modificações otimizadoras do projeto.

O impacto sócio – econômico - ambiental deste projeto é de grande monta, pois possibilitará que famílias de pequenos agricultores que hoje vivem à margem das oportunidades do agro–negócio brasileiro aumentem sua capacidade produtiva o que gerará renda para uma das camadas mais pobres da sociedade, além de implementar práticas conservacionistas em áreas expostas à degradação.

1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1- Realizar os trabalhos de engenharia (projeto, construção, modificação e testes em laboratório e em campo) com a Nova Semeadura Multifuncional Conservacionista (NSMC) (Novo Dragão).

2- Realizar experimentos de caracterização em campo em condições reais para quantificar e qualificar o desempenho da máquina.

3- Realizar no campo experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP a semeadura de soja com a nova máquina em condições operacionais.

4- Realizar estudos de qualidade das operações pertinentes à nova máquina.

5- Analisar os modos de falha e seus efeitos, propondo melhorias no projeto.

2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No Brasil existe uma polêmica em torno do conceito de agricultura familiar, no entanto é fundamental entender que independente do terreno de disputa em relação à precisão e validade do conceito, a agricultura familiar exerce papel importante na agricultura brasileira (EMBRAPA, 2006). Em termos conceituais poder-se-ia dividir o conceito de agricultura familiar em dois grupos: um teórico e outro operacional.

Teoricamente pode-se adotar a definição estabelecida pela Lei nº 11.322, de 24 de julho de 2006, *Lei da agricultura familiar*: Agricultor familiar ou empreendedor familiar é aquele que pratica atividades no meio rural, atendendo simultaneamente, a quatro requisitos: não tenha, a qualquer título, área maior do que quatro módulos fiscais; utilize predominantemente mão-de-obra da própria família nas atividades econômicas do seu estabelecimento ou empreendimento; tenha renda familiar predominantemente originada de atividades econômicas vinculadas ao próprio estabelecimento ou empreendimento; dirija seu estabelecimento ou empreendimento com sua família (EMBRAPA, 2006).

O tamanho das propriedades rurais da agricultura familiar é considerado diferente dependendo do país. O tamanho médio de uma propriedade rural na Ásia é de cerca de 1 ha (KOKUZEISHA, 1995), o que inclui a China (1,1 ha) Japão (1,4 ha), Índia (0,8 ha) e Coréia do Sul (0,5 ha). Portanto nestes países as propriedades são tipicamente pequenas. Enquanto que nos EUA o tamanho médio é de cerca de 160 ha, que é considerada uma típica propriedade grande . No Brasil as dimensões das propriedades rurais variam muito.

Do total de terras passíveis de serem cultivadas cerca de 353,6 milhões ha, a área total utilizada em 2006 foi de 217 milhões ha (lavouras perenes, temporárias, e em descanso; pastagens plantadas; florestas plantadas; áreas produtivas, mas não utilizadas), com uma utilização de apenas 49,77% (apenas um ciclo de cultura por ano) (IBGE, 2006). Na Ásia a utilização é de mais 100%, na China é de 160%. Para efeito de análise as propriedades rurais do Brasil foram divididas em dois grupos (pequenas e grandes propriedades), sendo que neste trabalho serão consideradas apenas as pequenas propriedades onde a agricultura familiar preferencialmente ocorre com áreas menores que 50 ha, e o grupo das grandes propriedades com mais de 50 ha de área utilizáveis. Segundo dados estatísticos 78,4 % das propriedades rurais são pertencentes à categoria de propriedades rurais da agricultura familiar com uma

utilização de 49% das áreas cultiváveis (IBGE, 2006), sendo que ocupam 13% do total de áreas utilizadas sem pastagens naturais. A utilização média de área das grandes propriedades é de 49% das áreas cultiváveis (IBGE, 2006), sendo que detêm cerca de 75% da área total cultivada e 15,6% do número de propriedades (IBGE, 2006).

Segundo Chang & Sereia (1980 apud CASÃO Jr. et al., 1997) uma possível tipificação dos produtores rurais é subdividi-los em 4 categorias: empresário tecnificado; empresário familiar; produtor simples de mercadoria; e produtor de subsistência. O público a que se destina este trabalho é preferencialmente o composto pelas duas ultimas categorias, produtores simples de mercadoria (área até 18 ha) e produtores de subsistência (área até 9 ha). Segundo IBGE (2006) existem 3,2 milhões de propriedades rurais com menos de 20 ha, ou seja, 62% de todas as propriedades familiares brasileiras, sendo sua área média em torno de 10 ha.

Para Guanziroli et al. (2001 apud SACHS, 2001) o lançamento do Programa de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF) para amparar a agricultura familiar, embora encontre dificuldades práticas, sinaliza pela primeira vez a preocupação dos poderes públicos com esse tipo de agricultura. “Por outro lado, uma parcela significativa da agricultura familiar já é ou poderá ser economicamente viável se for devidamente consolidada por políticas de crédito, extensão rural, pesquisa tecnológica e acesso aos mercados” KOCHANOWICZ (1999 apud ZARONI, 2004).

Segundo Guilhoto (2003) a Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas (FIPE) e a FEA-USP, avaliaram com precisão a importância e a complexidade do segmento familiar na agropecuária propriamente dita. Foram consideradas as atividades a montante (antes da fazenda) e a jusante (depois da fazenda) as quais tendem a ser extremamente interdependentes do ponto de vista econômico, social e tecnológico. As políticas econômicas e setoriais, de um lado e as estratégias das entidades representativas dos setores envolvidos, de outro, tenderão a ser mais eficazes sempre que levarem em conta tais interdependências. No cerne mensurou-se a importância não apenas da produção agropecuária familiar, mas também de todo o complexo envolvido – o agronegócio familiar. A participação do Produto Interno Bruto (PIB) do agronegócio familiar no contexto geral da economia brasileira é de R\$ 54 bilhões, e enquanto que o agronegócio não familiar detém R\$ 89 bilhões (IBGE, 2006).

Associada à elevada concentração da terra há uma imensa desigualdade no acesso à renda. De acordo com os dados do Censo Demográfico de 2000 (IBGE, 2003), cinco milhões

de famílias rurais vivem com menos de dois salários mínimos mensais – cifra esta que, com pequenas variações, é encontrada em todas as regiões do país. É no meio rural brasileiro que se encontram os maiores índices de mortalidade infantil, de incidência de endemias, de insalubridade, de analfabetismo. Essa enorme pobreza decorre das restrições ao acesso aos bens e serviços indispensáveis à reprodução biológica e social e à fruição dos confortos proporcionados pelo grau de desenvolvimento da nossa sociedade (MDA, 2004).

Neste contexto um importante marco foi Lei 11.326/06 que reconhece a agricultura familiar como segmento produtivo e representa um novo marco para as políticas públicas destinadas ao desenvolvimento rural, desde a fase de elaboração até a implementação, execução e gestão de recursos (MDA, 2006).

Segundo Albiero (2006) as pequenas propriedades do Brasil não são realmente pequenas se comparadas com as pequenas propriedades na Ásia (média de 1 ha), portanto a mecanização agrícola usada nos países da Ásia, não pode ser diretamente utilizada pelo Brasil, pois as pequenas propriedades enfatizam a produção de frutas, hortícolas e cereais como milho, arroz sequeiro, soja e feijão em sistemas de cultivo convencionais, enquanto que nos países da Ásia predomina a produção de arroz irrigado por alagamento, com exceção do nordeste da China onde cereais são produzidos como no Centro-oeste brasileiro, neste cenário verifica-se que os critérios de mecanização devem ser completamente diferentes daqueles utilizados por outras partes do mundo onde existe agricultura familiar, assim como em relação às grandes propriedades brasileiras.

É preciso superar a noção corrente de subsistência que aparece nas análises da agricultura familiar, a subsistência não se opõe ao mercado, mas significa um cálculo econômico que prioriza as necessidades sociais de reprodução física e social do grupo doméstico, podendo incluir relações de mercado (MOLINA et al., 2009).

2.1 PANORAMA DA MECANIZAÇÃO NA AGRICULTURA FAMILIAR

Segundo MDA (2004) a tecnologia é concebida para favorecer o mono-cultivo em grandes extensões de terra, em solos relativamente planos e de boa fertilidade, as quais estão em sua maioria, em poder de unidades de grande porte. Os “pacotes tecnológicos” que obedecem a essa orientação são no geral, caros e exigem para seu correto uso

estabelecimentos devidamente capitalizados. Isto os torna inacessíveis aos agricultores de reduzido poder econômico (assentados, agricultores familiares), ou por falta de capital de custeio ou pelo justificado temor de assumir riscos acima da sua capacidade de reter a terra em caso de quebra de safra.

As grandes propriedades brasileiras podem seguir os padrões norte-americanos de mecanização agrícola (MACIEL, 2004). A margem deste processo está o pequeno agricultor geralmente situado em áreas de relevo acidentado com restrições econômicas utilizando práticas tradicionais de manejo do solo, como a queima dos resíduos de verão e preparo convencional (CASÃO Jr. e RIBEIRO, 1993).

Geralmente, devido ao tamanho das pequenas propriedades o pequeno agricultor fica sem condições de investir na mecanização de suas lavouras, porque não seria muito vantajoso, pelo tamanho do investimento em uma área tão pequena (PORTELA, 2001).

O estudo Novo Retrato da Agricultura Familiar – O Brasil Redescoberto, realizado pelo INCRA e FAO em 2000, indica que o percentual de mecanização nos estabelecimentos familiares é muito baixo. Cerca de 50% utilizam apenas força braçal nos trabalhos agrários, 23% utilizam tração animal e somente 27% usam tração mecânica ou mecânica e animal (INCRA/FAO 2000).

Devido às características das propriedades da agricultura familiar (pequena área, poucos recursos financeiros) os sistemas moto-mecanizados ideais são aqueles formados por motocultores e ou microtratores aliados a máquinas e implementos de grande eficiência (ALBIERO, 2006).

Freitas (2000) afirma que a maior dificuldade para os agricultores familiares é encontrar máquinas e implementos que se adéquem as suas necessidades.

Em 1920 a indústria SHAW nos Estados Unidos da América já construía tratores de jardim sendo construídos com motores e partes de motocicletas, em 1938 nos Estados Unidos da América foi desenvolvido o Speedx Modelo B projetado e construído por Harold Pond sedimentando o conceito de trator agrícola pequeno, este motocultor tinha motor refrigerado a ar, sistema de transmissão automotivo, eixos, rodas e pneus adaptados para uso agrícola (CABIN, 2005).

Segundo ICEPA (2002) no Brasil os principais implementos e máquinas disponíveis para microtratores e motocultivadores são: arado de aivecas; enxadas rotativas;

rotoencanteirador, pulverizadores e carretas. A LAVRALE (2005) tem um gama de equipamentos que abrangem também: arado de discos, cultivador, distribuidor centrífugo; semeadora; retroescavadora; e grade adubadora. A KNAPIK (2005) tem semeadoras. A DMB (2005) tem sulcadores, e sulcadores adubadores para plantio de cana.

A EMBRAPA Trigo em parceria com SFIL (empresa privada) desenvolveram a SEMBRA 2000 que é uma semeadora autopropelida que se diferencia das demais semeadoras projetadas para pequenas unidades produtivas (Agricultura Familiar) e caracteriza-se por possuir fonte de potência mecânica e sistema de transmissão por tração própria em substituição à tração animal. O desenvolvimento da semeadora foi norteado pelos seguintes princípios: substituir a fonte de energia animal por fonte de energia moto-mecanizada; disponibilizar na semeadora, tecnologia moderna para dosagem e deposição de sementes e de fertilizantes no solo, assim como para abertura e fechamento de sulco; simplicidade, rusticidade e versatilidade para semear várias espécies e potencialidade para se tornar equipamento de múltiplos usos. A semeadora possui duas linhas de semeadura com espaçamento mínimo de 450 mm e regulagem de 50 mm em 50 mm, até o máximo de 900 mm (FAGANELLO, 2002).

No Brasil as vendas de motocultores no ano de 2008 se resumiram em 1852 (ANFAVEA, 2008).

Uma das razões para isto é a pouca quantidade de implementos adaptados aos pequenos tratores, atualmente os equipamentos disponíveis são apenas a enxada rotativa e o cortador de grama para jardim que são muito caros, e não apropriados para as culturas geralmente plantadas pelos agricultores familiares. Outra razão é a falta de capacidade de investimento destes agricultores que mal conseguem realizar uma agricultura de subsistência, devido a pouca produtividade, quanto mais comprarem alguma máquina. Estes fatos tornam a aquisição de equipamentos muito difícil, somem-se a estes fatores os problemas ambientais de erosão e compactação do solo que geralmente são encontrados em tais propriedades, tem-se um panorama pouco alentador para uma categoria de agricultores que chegam a somar segundo INCRA/FAO (2000) 85% das propriedades rurais brasileiras.

Segundo Freitas (2000) os agricultores familiares adaptam máquinas existentes para suas necessidades, comprovando a necessidade de projetos específicos nesta área, Figura 1 e Figura 2.



Figura 1. Semeadora de cebolas adaptada a motocultor por agricultor familiar, FREITAS (2000).



Figura 2. Semeadora de plantio direto adaptado a motocultor por agricultor familiar FREITAS (2000).

Em escala nacional é pequeno o número de pequenos proprietários que possuem trator e a motomecanização praticada apresenta baixa eficiência, pois as máquinas e os implementos disponíveis são inadequados para operarem nesses estratos fundiários (FAGANELLO et al. 2002).

2.2 MODERNIZAÇÃO DA AGRICULTURA FAMILIAR

É importante destacar que em geral o processo de modernização da agricultura brasileira é um processo excludente, com uma enorme concentração da propriedade da terra,

(OLIVEIRA, JUNQUEIRA E BERGAMASCO, 2009). No Brasil o processo de modernização tecnológica, principalmente nas décadas de 1960 e 1970 promoveu juntamente com o aumento da produção agrícola, efeitos negativos, tanto no meio ambiente quanto no âmbito da sociedade. A base tecnológica contida na política de modernização da agricultura brasileira era excludente, altamente poluente e concentradora (PASSINI, 1999).

A mecanização inadequada, o uso exagerado e incorreto de produto fitossanitário e fertilizantes, a substituição da mão de obra, o aumento descontrolado de pragas, doenças e plantas daninhas foram conseqüências que atingiram principalmente as categorias de agricultores pertencentes à agricultura familiar (PASSINI, 1999).

Segundo MARTINE & GARCIA (1987 apud PASSINI, 1999) o crédito rural principal instrumento da política de modernização contribuiu para a concentração da posse da terra e expulsão de pequenos agricultores do meio rural.

Segundo Mattei (2001) este contexto começou a mudar com a instituição de políticas agrícolas diferenciadas para os diversos tipos de produtores rurais. Com a criação do PRONAF atendeu-se a uma antiga reivindicação dos trabalhadores rurais que colocava a necessidade da formulação e implementação de políticas de desenvolvimento rural específicas para o segmento numericamente mais importante, porém o mais fragilizado da agricultura brasileira, tanto em termos de capacidade técnica como de inserção nos mercados agropecuários.

Bianchini (2005) comenta que os ajustes mais recentes do PRONAF, a partir da safra 2003/2004 tornaram o Programa mais inclusivo facilitando o acesso aos agricultores familiares mais pobres e também aos mais capitalizados, de acordo com a noção de ajustar a oferta de crédito às características dos agricultores familiares na perspectiva da ascensão deles para patamares produtivos maiores e mais estáveis.

Segundo o IPARDES (2003) modernização da agricultura familiar é definida como a melhoria das condições de produção com a contribuição para a incorporação de equipamentos, instrumentos e práticas que melhorem a eficiência produtiva, com aumento dos rendimentos físicos e redução dos custos operacionais, bem como para a transformação industrial da produção agro-pecuária.

Esse processo de intensificação das inovações tecnológicas, além de generalizado por toda a estrutura produtiva vem ocorrendo em um longo período de baixo crescimento

econômico e em consequência está acentuando os impactos sobre o nível de desemprego principalmente nas grandes cidades (IPARDES, 2005).

O processo de modernização da agricultura brasileira partia da premissa de que a simples transferência de tecnologias melhoradas promoveria o desenvolvimento econômico de uma dada região (MACARETTI, 1994 apud PASSINI, 1999). No entanto os agricultores familiares não apresentavam recursos materiais e financeiros para absorver os pacotes tecnológicos propostos, uma vez que não estavam adequadas as suas realidades (FLEISCHFRESSER, 1988 apud PASSINI, 1999), além de haverem dificuldades de ordem social, econômica e política no ambiente em que se insere a agricultura familiar (MELLO e MACIEL, 2009).

Segundo Passini (1999) o desafio que se coloca é encontrar os meios de produção necessários ao progresso técnico da agricultura familiar o que melhoraria a sua produção e eficiência a partir da organização dos fatores produtivos de que ela dispõe.

Uma pesquisa que se realize como instrumento do desenvolvimento econômico e social com o fim de apoiar políticas e metas agropecuárias de desenvolvimento é necessária para a agricultura familiar (GASTAL, 1986 apud PASSINI, 1999).

O desenvolvimento de ferramentas e equipamentos “apropriados” tem sido o assunto favorito dos pesquisadores envolvidos com mecanização agrícola. Porém as atividades destes projetos geralmente tomam lugar em relativo isolamento em departamentos governamentais e universitários são apresentados em “workshops” e congressos mas seus produtos raramente encontram caminho dentro da produção comercial ou no mercado. Em toda conferência de mecanização encontram lugar máquinas, e ferramentas melhoradas que nunca passaram do estágio de protótipo (CLARKE, 1997). Isto ocorre principalmente devido a problemas de extensão e divulgação das tecnologias.

Existem também exemplos de conceitos mal aplicados de mecanização que podem ser encontrados em muitas cooperações técnicas de projetos que foram planejados e implementados com a melhor das intenções, mas de forma descoordenada e sem as devidas considerações de sustentabilidade e aspectos econômicos. São estes fatos que infelizmente tornam muito poucos os projetos de mecanização que obtiveram sucesso (CLARKE, 1997). A atuação anterior do Estado foi marcada pela dispersão espacial, pela ausência de políticas de garantia de infra-estrutura básica e de assistência técnica (MDA, 2004). “Historicamente, estes

segmentos ficaram excluídos dos avanços tecnológicos, colhendo como resultado a penosidade do trabalho rural, o êxodo e a perda de produtividade” (FEAGRI/UNICAMP, 2005).

2.3 CONCEITOS BÁSICOS DE PREPARO DE SOLO CONSERVACIONISTA

Selecionar o melhor sistema de mecanização para a agricultura familiar para cada região brasileira é primordial, visto as enormes variedades de condições edafo-climáticas e de relevo que interagem entre si. Oliveira (1998) afirma: “O fator climático atua diretamente na formação do solo, por meio da alteração dos minerais, enquanto a influência do relevo manifesta-se na dinâmica da água e nos processos de erosão e sedimentação”. O pequeno agricultor familiar em geral, com exceção dos pequenos agricultores dos estados do sul (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul) não adota medidas conservacionistas em relação ao solo e a água. Portanto é recomendada cautela na adoção de uma agricultura mais intensiva nestas propriedades para que não haja degradação do ambiente.

A falta de conhecimento das potencialidades dos diferentes equipamentos disponíveis no mercado nacional por parte de técnicos e agricultores tem sido um dos principais motivos de inúmeros insucessos e têm provocado sérios problemas conservacionistas (GAMERO & BENEZ, 1990 apud MAIA, 1999), principalmente no que se refere à extensão rural, que, entre o ideal concebido e o real praticado existe um enorme abismo (SILVA, 2008). A ocorrência de uma relação entre os equipamentos agrícolas (máquinas e implementos) e o corpo do solo produz uma causa de alteração em sua constituição pedológica natural que induzirá um efeito “positivo ou negativo” de natureza física, química e ou biológica (VOLPATO et al. 2001).

O preparo de solo conservacionista reduz o grau e a intensidade das intervenções no solo e retém os resíduos formando uma cobertura vegetal da superfície que pode levar a um acúmulo de matéria orgânica sobre a superfície o que forma uma camada de 5 a 10 centímetros que possibilita muitos benefícios e os maiores são a melhora da estabilidade da estrutura do solo e a melhora da qualidade física do solo (CARTER, 2004). Aumenta-se a associação de minerais e partículas orgânicas o que resulta na formação de microestruturas organo-minerais (ANGERS et al., 1997 apud CARTER, 2004), além de aumentar a atividade biológica do solo e a macrofauna (LAVELLE et al., 1997 apud CARTER, 2004).

Embora muitos estudos sobre os efeitos dos sistemas de preparo nos organismos do solo sejam feitos comparando os extremos (plantio direto e cultivo convencional), intermediárias formas de preparo conservacionista têm efeitos intermediários (KLADIVKO, 2001).

Segundo Lucarelli (1997) os sistemas conservacionistas constituem um meio potencial para reduzir as perdas de água por evaporação e a erosão.

Cecílio e Pruski (2004) estimam que cerca de 822,7 milhões de toneladas de solo fértil são perdidos todos os anos no país, carregados pelas águas das chuvas ou pelo vento. Somente no Estado de São Paulo são perdidas 195 milhões de toneladas de solo fértil (SILVEIRA, 2001) o que é considerado um sério problema para a produção agrícola. É esta a maior justificativa para se adotar práticas conservacionistas.

Sato e Santos (1999) descrevem que todo solo utilizado por ações antrópicas possui algum grau de degradação, mundialmente 38% dos solos são fracamente degradados. Adotar práticas conservacionistas como o controle da erosão do solo é considerado primordial em termos mundiais. O mais popular e eficiente sistema de preparo conservacionista é o plantio direto. Todo o plantio é feito sem preparo de solo e o controle de plantas daninhas é feito através de herbicidas (ASAE, 1997). O transporte de sedimentos no solo cultivado com plantio direto é 27 vezes menor do que num solo cultivado com plantio convencional (GUO (1999); RICHARDSON (1995)).

No entanto o sistema de plantio direto também apresenta desvantagens: solo não preparado apresenta maior resistência para o desenvolvimento das raízes das plantas atrasando sua emergência e crescimento que pode causar redução na produção; alguns tipos de solos com alto teor de argila, solos com alto teor de areia, e solos em regiões áridas ou semi-áridas no Brasil podem ter reduzida a produtividade (LAL, 1993); todas as máquinas de plantio direto do mercado são do tipo que utiliza somente força de tração. Elas são pesadas, possuem grande consumo de energia e pouca eficiência mecânica na transmissão da energia entre o motor e a barra de tração (de 40 a 50%) (CASÃO JUNIOR, 2003), gera maior compactação do solo, além de terem preços elevados; o controle de plantas daninhas é dependente de herbicidas; grande demanda de energia; a natural regeneração da estrutura do solo pelas raízes e a atividade biológica é freqüentemente inadequada em solos onde as condições estruturais são marginalmente satisfatórias por sistemas de cultivo reduzido (SOIL TECHNOLOGY

GROUP, 2005); o tráfego de equipamentos pesados em solo úmido durante o plantio, pulverizações, fertilizações e colheita, causam uma compactação do solo de 16 a 30 cm abaixo da superfície. Devido a esta compactação pode ocorrer à inibição do crescimento das plantas (UNITED STATES ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY, 2005).

Segundo a FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA (2008) na safra 05/06, 25 milhões de hectares eram cultivados no sistema de plantio direto no Brasil. No entanto uma questão pertinente se refere a qual porcentagem desta área realmente respeita os pilares do sistema de plantio direto (não revolvimento do solo; cobertura de palha e rotação de culturas).

Diversos programas de controle de erosão vêm sendo conduzidos em todo mundo, os quais estão mudando o tradicional sistema de preparo do solo pelo cultivo conservacionista. Neste método procura-se manter os resíduos orgânicos de culturas e plantas daninhas mortas na superfície do solo. Assim o solo terá uma cobertura que o protegerá da ação dos efeitos erosivos da chuva e do vento (DERPSH et al. 1991).

Alguns sistemas conservacionistas como o plantio direto e o preparo do solo com escarificador possibilitam o acúmulo de resíduos na superfície do solo, os quais ajudam a manter a água no corpo do solo, além de diminuir a praticamente zero as perdas de solo (DERPSH et al., 1986 apud LUCARELLI (1997).

Dickey (1983) mostrou que o cultivo conservacionista pode poupar pelo menos 50 % do tempo de operações, mão-de-obra, e custo de combustível. Ele indica que todos os sistemas conservacionistas disponíveis no mercado, tal como os escarificadores "chisel plow" ou "para plow" causam redução na produção nos anos iniciais de implantação. Esta redução decorre do fato do preparo do solo não ser tão completo ou intenso quanto o fornecido pelo sistema convencional (aração e gradagem) que pode oferecer uma resistência bem menor à penetração das raízes. No entanto “paraplow” deixa uma cobertura de resíduos de 67 %, enquanto que o “chiselpow” deixa uma cobertura de 36 % (ERBACH et al., 1992)”.

Para promover a conservação do solo Bragagnolo & Aliaga (1993) menciona que o cultivo deve buscar: um aumento da cobertura do solo que protege contra a desagregação do solo causada pelo impacto das gotas de chuva e aumento da infiltração d'água que evita a acumulação de água na superfície que pode causar enxurrada e conseqüentemente erosão.

2.4 “PARAPLOW” ROTATIVO

Segundo a SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA (2005) o “paraplow” é um implemento não inversivo de subsolagem projetado para aumentar a força de quebra estrutural do solo na direção lateral através do uso de superfícies de subsolagens largas no sentido transversal à translação e anguladas lateralmente para a elevação do solo.

Segundo Veseth (1987) o “paraplow” tem uma ação de subsolagem similar ao arado de aiveca, exceto por deixar a superfície do solo sem distúrbio e não invertendo o solo, seu propósito é descompactar o solo e outras camadas resistivas o que melhora o crescimento das raízes, a infiltração de água e a drenagem. O solo cultivado com o "paraplow" é fraturado em zonas de fraqueza, ou seja, o solo é movimentado e não invertido (ERBACH et al., 1992). Pequenas mudanças na profundidade de cultivo afetam as forças de reação do solo (HARRISON, 1990), assim para melhorar o "paraplow", Tupper et al. (1998) desenvolveu um novo modelo de "Paraplow" chamado subsolador parabólico de gaveta baixa que ele declarou possuir uma menor resistência à tração, melhorando o rendimento.

Para melhorar a desempenho do "paraplow", Chang (2002) desenvolveu um tipo rotativo de "paraplow" que é a fusão entre uma enxada rotativa vertical e um “paraplow”. A enxada rotativa vertical possibilita uma melhor mobilidade do solo no subsolo que permite uma maior penetração da água. O "paraplow" apenas mobiliza o solo horizontalmente sem invertê-lo. Ele mantém na superfície os resíduos da colheita formando uma cobertura vegetal (CHANG, 2001). A fonte principal de energia não é na barra de tração, mas através da tomada de potência do trator (TDP) (CHANG, 2000).

Segundo Chang (2004) a enxada rotativa vertical é um equipamento de baixa massa em relação aos sistemas de abertura de sulcos e corte de plantas daninhas das máquinas de plantio direto atuais que precisam de grande força vertical. Em geral o conjunto todo pesa no máximo 5 kg. Chang (2004) desenvolveu modelos que não necessitam de aplicação de força vertical externa o que reduz desta forma a compactação. Mais de 90 % da energia total utilizada nestes modelos é proveniente da energia rotativa da tomada de potência que tem uma eficiência na utilização da energia superior a 90%, em contraposição aos sistemas atuais de implementos de tração onde somente a força de tração atua com uma eficiência em torno de 50%. Chang

(2004) mostrou que se for utilizada a tomada de potência (TDP) economiza-se energia, diminui-se a compactação e melhora o preparo do solo.

Segundo Salokhe (2003), as enxadas rotativas têm alta capacidade de trabalho são de fácil operação e criam uma superfície do solo quase plana. Segundo Kataoka (2002), poucos estudos da dinâmica entre solo/lâmina de enxada rotativa têm sido conduzidos, pois as ações dinâmicas de preparo de solo conduzidas pela enxada rotativa são muito complexas. O solo é cortado de forma periódica e pode ter a direção mudada devido à rotação da lâmina. Estes fenômenos causam vibrações com várias componentes de frequência que correspondem à variação da resistência ao corte do solo. Assim são produzidas fissuras e ondulações na superfície dos torrões de solo quando se faz a abertura da superfície dos torrões de solo. Frequentemente estes apresentam fissuras periódicas perpendiculares à direção do corte. A descrição da formação dessas fissuras é altamente complexa sendo necessário à utilização da análise de fractais (KATAOKA, 2002).

Segundo Chang (2002), o “Paraplow” é um dos melhores equipamentos para cultivo conservacionista e é largamente usado na América do Norte. O "paraplow" e outros escarificadores foram projetados para reduzir os distúrbios da superfície superior do solo preenchendo os requerimentos para um cultivo conservacionista.

O “paraplow” rotativo é constituído de três “paraplaws” separados em 120°. Estes paraplaws contam com as mesmas características do “paraplow” convencional (CHANG, 2001). As lâminas são soldadas num suporte superior circular com furação específica de suportes de roçadoras e para aumentar a rigidez da estrutura da ferramenta, as lâminas inferiores laterais foram prolongadas até um tubo de apoio ao centro com diâmetro na faixa de 20 a 60 mm, que tem a função de conduzir adubo para a linha de plantio preparada (ALBIERO e CHANG, 2000), Figura 3.



Figura 3. Paraplow Rotativo.

Albiero e Chang (2000) afirmam que o “Paraplow” rotativo pode ser utilizado no preparo de linhas de plantio para o sistema de plantio em faixas. Chang (2002) considerando os ótimos resultados da nova ferramenta de preparo de solo “Paraplow” Rotativo propôs um novo Sistema de Cultivo Conservacionista: cultivo conservacionista em faixas com “paraplow” rotativo. Como principal característica este sistema uma boa preparação subsuperficial da linha de plantio adicionada a cobertura de resíduos intacta sobre o sulco, além de manter a superfície pouco movimentada. Dessa forma foram aliadas a característica de conservacionista do plantio direto com a produção inicial alcançada pelo sistema convencional de plantio.

No sistema de cultivo em faixas o habitat da flora e fauna do solo é apenas parcialmente destruído (GEISSEN, 2003). O cultivo em faixas influencia na porosidade total do solo, na densidade aparente e principalmente na taxa de infiltração e em relação ao plantio direto é sensivelmente superior (GEISSEN, 2003). Harte e Horn (1992 apud GEISSEN, 2003) observaram um significativo aumento na quantidade de macroporos depois do cultivo em faixas com enxada rotativa.

Licht (2005) afirma que um dos principais desafios no sistema de plantio direto é se adequar a solos pobremente drenados ou em solos com propriedades físicas e químicas que necessitem de alguma medida corretiva de preparo de solo. Assim o preparo em faixas pode

ser uma solução, pois cria condições ideais de cama de sementes para a emergência com a combinação dos benefícios do cultivo convencional e do plantio direto, embora haja mobilização na linha de plantio este deixa a entrelinha sem distúrbio e com a cobertura vegetal completa. O cultivo em faixas também oferece soluções para solos pela melhoria da cama de sementes em solos pobremente drenados.

Segundo Licht (2005) o plantio direto aumenta significativamente a compactação do solo comparado a outros sistemas de cultivo na profundidade de até 10 cm e o aumento da compactação está correlacionado diretamente ao aumento da resistência a penetração oferecida às raízes das plantas. Croissant et al. (1991 apud LICHT (2005) determinam que solos compactados no sistema de plantio direto reduzem a produção de feijão em 26% em relação a solos não compactados.

Licht (2005) mostra que o cultivo em faixas conserva a umidade do solo tanto quanto o sistema de plantio direto e em relação à resistência à penetração nas camadas superficiais do solo até 10 cm o cultivo em faixas tem o mesmo nível de resistência à penetração que o plantio direto e nas camadas inferiores 10 cm tem menores níveis.

A máquina multifuncional de semeadura em faixa (NSMC) adota o sistema de plantio em faixas com “Paraplow” Rotativo, além de utilizar como fonte primária de energia a TDP de um Micro-Trator cuja eficiência é maior do que a de tração segundo ASAE (1997) o que subentende um menor consumo de combustíveis (MACIEL, 2004).

Maciel e Albiero (2005) testaram vários modelos de “Paraplaws” Rotativos, uma enxada rotativa vertical e um “paraplow” convencional, mostrados na Figura 4, em caixa de solo e em campo.

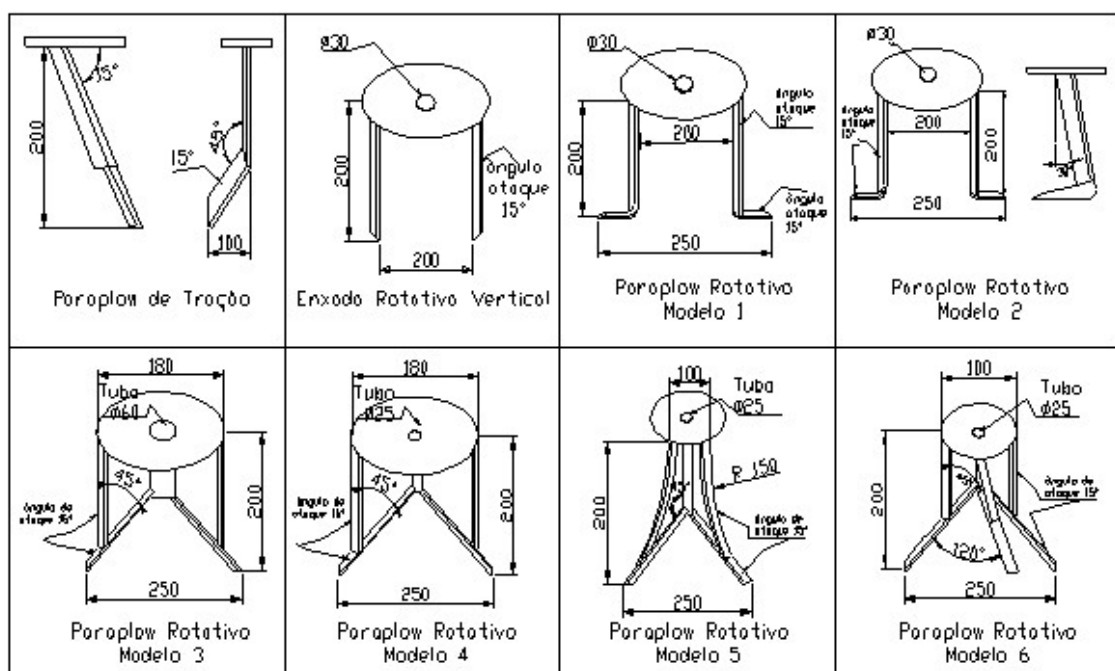


Figura 4. “Paraplaws” Rotativos avaliados.

Nos testes na caixa de solo em condições controladas de compactação, densidade e umidade (2500 kPa, 1,1 a 1,2 g/cm³, e 18 %) foi constatado que a enxada rotativa vertical não tem reação vertical suficiente para penetrar no solo no início da operação o que significa que é necessária a aplicação de uma força externa grande para que haja esta penetração. Já os "paraplaws" rotativos têm uma expressiva força vertical possibilitando uma penetração automática devido a sua geometria que tem ação de rosca sobre o solo o que elimina a necessidade de uma força externa para sua penetração.

Os melhores modelos foram os de número 5 e 6. O modelo 5 teve melhor desempenho em condições controladas em caixa de solo. No entanto em condições reais e operacionais apresentou um problema de embuchamento de raízes e resíduos na ferramenta, portanto optou-se pelo modelo 6.

Albiero (2006) comprovou que o “Paraplow” Rotativo gera um perfil mobilizado superior estreito e um perfil mobilizado inferior largo bem preparado, Figura 5. Ocorre uma ação de escarificação volumétrica de fissuras laterais para melhorarem a infiltração de água o que produz uma faixa bem preparada de solo, que possui características ideais para a

semeadura, que significa uma menor exposição do solo superficial a erosão e ao mesmo tempo uma maior área de solo bem preparado para as raízes das plantas na subsuperfície.

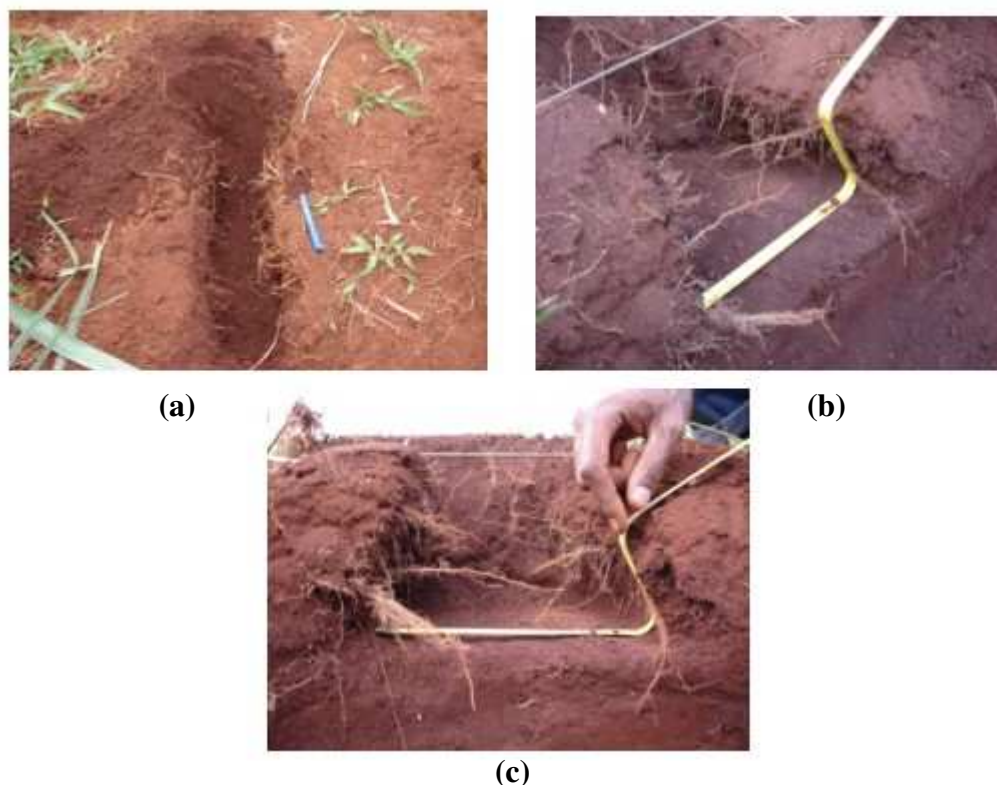


Figura 5. Características da faixa de plantio^(c) preparada pelo “Paraplow” Rotativo, (a) largura superior (~10 cm), (b) largura inferior (~25 cm) e (c) conformação trapezoidal do sulco de semeadura (ALBIERO, 2006).

Albiero (2006) provou experimentalmente as características conservacionistas do “Paraplow” Rotativo que atingiu as especificações limites prescritas pela literatura para considerar um preparo de solo como conservacionista, principalmente em relação ao diâmetro médio ponderado (DMP).

2.5 MECANISMO DISTRIBUIDOR DE FERTILIZANTES DE ESPIRAL CÔNICA

O distribuidor de fertilizantes de espiral cônica foi desenvolvido Chang (1995 e 1998), Figura 6.

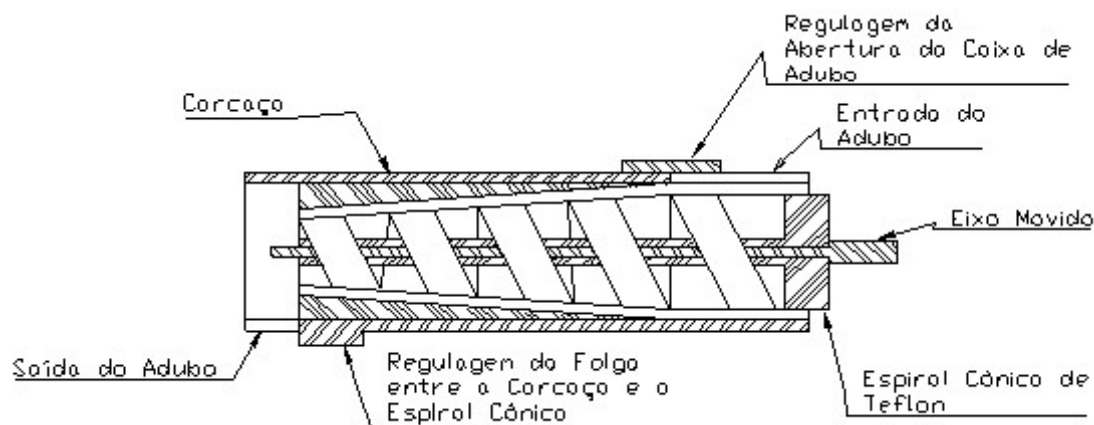


Figura 6. Construção geral do distribuidor de fertilizantes de espiral cônica (CHANG, 1995).

O distribuidor de fertilizantes de espiral cônica apresentou um coeficiente de variação da distribuição de fertilizantes da ordem de 5% (CHANG, 1995). Sendo que nenhum distribuidor de fertilizantes do mercado atinge este índice, particularmente aqueles onde o requerimento da cultura seja menor que 200 kg/ha e velocidade de operação baixa. Em geral os distribuidores de fertilizantes têm coeficiente de variação chegando a 40% (SOGAARD, 1994).

Foram realizadas modificações e melhoramentos neste mecanismo por Oliveira e Maciel (2005), a representação virtual do mecanismo modificado é mostrada na Figura 7.

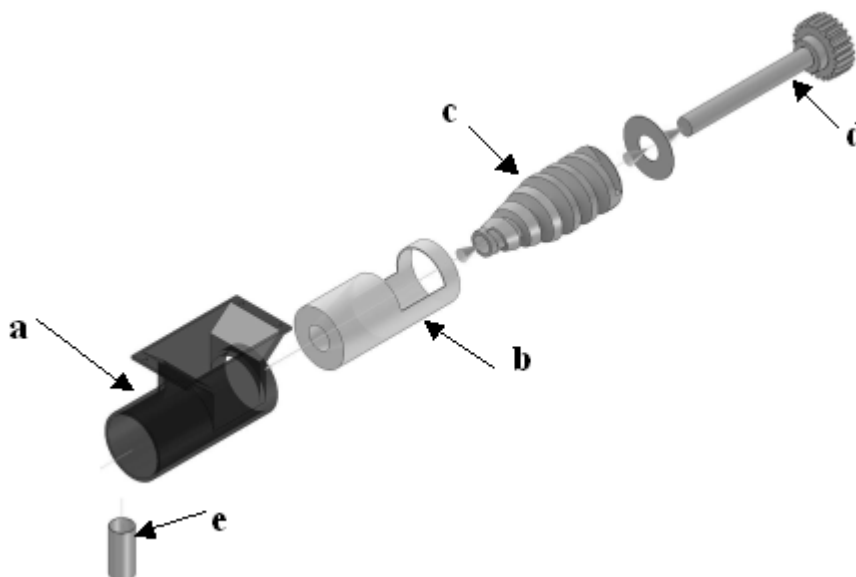


Figura 7. Seqüência de montagem do mecanismo dosador (OLIVEIRA e MACIEL, 2005).

A montagem do mecanismo proposto é apresentada na Figura 8.

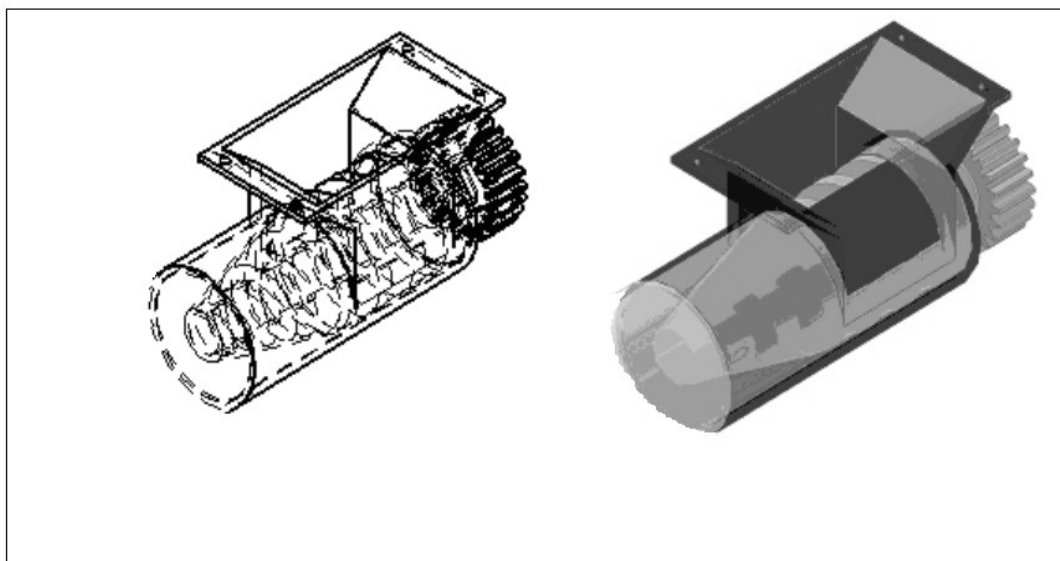


Figura 8. Representação virtual do mecanismo dosador proposto (OLIVEIRA e MACIEL, 2005).

Este novo mecanismo de distribuição proporciona coeficiente de variação em torno de 5% valor este considerado ótimo. A boa uniformidade na distribuição do fertilizante e alta precisão nas dosagens máximas e mínimas de adubação recomendadas, para as principais culturas produzidas na agricultura familiar; possibilita melhora da fertilidade do solo e da nutrição da planta o que aumenta o rendimento da cultura e a renda para o pequeno produtor, além de eliminar os excessos de fertilizantes proporcionando a conservação do solo, água e reservas naturais que manejadas de forma sustentável trazem benefício tanto para o agricultor como para o ambiente (OLIVEIRA e MACIEL, 2005).

2.6 SEMEADORA DE ANEL VERTICAL INTERNO ROTATIVO

Segundo estudos feitos por CHANG (1998) foi demonstrado que o desenvolvimento da unidade dosadora de sementes com anel vertical interno rotativo é compatível com a agricultura familiar. O sistema dosador de sementes alcançou uma precisão de distribuição de sementes de 90% com velocidade de 3 km/h (CHANG, 1998).

O anel é substituído para as diversas culturas que necessitam de semeadura de precisão. Segundo Chang (1998) o dosador de sementes construído possui três anéis diferentes de 218x38x5 mm, para a soja, o feijão e o milho. Foram testadas suas dimensões como se segue na Tabela 1.

Tabela 1. Geometria dos anéis internos para as diferentes sementes.

Sementes	Número de Furos por perímetro	Diâmetro dos Furos [mm]	Largura do Canal [mm]	Inclinação da roda ejetora
Soja	16(circular)	9	10	45°
Feijão	16 (ellipse)	11x9	11	60°
Milho	12 (ellipse)	13x11	13	60°

2.7 SISTEMA DE ACABAMENTO DE SULCO

Basicamente os sistemas de acabamento de sulco se resumem em discos cobridores e rodas compactadoras e tem a função de cobrir o sulco de semeadura formado pelo sistema de deposição de sementes e compactar o solo sobre a semente.

Segundo Murray et al. (2006) as principais funções dos sistemas de cobrimento e ou aterramento são: transferir solo sobre as sementes, através do deslocamento de solo lateral ao sulco para o centro do mesmo; ajudar na regularização da profundidade da cobertura de solo sobre a semente; ajudar no nivelamento da superfície da cama de semente; estabilizar o ambiente da cama de sementes, reduzindo a taxa de perda de umidade do solo; aumentar o contato da semente com o solo; proteger a semente de predadores (aves, ratos e insetos).

Silva (1990) descreve que a compactação da superfície do solo na região da semente altera a umidade, o comportamento térmico, a resistência mecânica.

Segundo Silva (2004 e 2005) descrevem que as rodas compactadoras têm a função de melhorar o contato entre o solo e a semente por meio da aplicação de uma pressão lateral sobre o sulco de semeadura o que provoca leve compactação e deixa o solo diretamente sobre as sementes solto o suficiente para facilitar a emergência das plântulas. Além dessa pressão, outro fator a ser considerado na operação de semeadura é a profundidade de deposição das

sementes que é condicionada pela temperatura, teor de água e tipo de solo, dentre outros fatores. A profundidade de deposição da semente deve ser tal que permita bom contato com o solo úmido o que resulta em boa germinação. Silva (2002) observou que as rodas com maior área de contato com o solo proporcionaram maiores valores do teor médio de água do solo e maiores valores da temperatura do solo no período de emergência do milho.

Hummel et al. (1981 apud SILVA, 2006) trabalhando com diferentes tipos de rodas compactadoras na semeadura de soja afirmaram que o desenho e a operação da roda compactadora apresentaram considerável influência, benéfica ou não, sobre o ambiente do solo em torno da semente e que seu efeito depende do nível de pressão, do desenho da roda, do teor de água, do tipo do solo e das condições climáticas no período entre a semeadura e a emergência.

Silva et al. (2005) trabalhando com três modelos de rodas compactadoras e variando as cargas verticais verificaram que para dois modelos de rodas compactadoras em "V" houve compactação lateral do solo, enquanto para o modelo de roda convexa a pressão foi exercida de forma direta sobre a linha de semeadura e ainda para um dos modelos de roda compactadora em "V", cargas verticais no intervalo de 75 a 320 N provocaram a elevação central do solo na linha de semeadura. Entretanto, para cargas acima de 325 N houve a redução da elevação central com ocorrência de compactação direta sobre a linha de semeadura.

Silva (2004 a; 2004 b) estudou três modelos de rodas compactadoras, Figura 9. Roda 1-roda duplo-angulada constituída por duas rodas cilíndricas em "V" revestidas com borracha maciça, normalmente usada para semeadura direta; Roda 2-roda convexa larga, revestida com borracha deformável, tipo câmara-de-ar; e Roda 3-roda dupla com nervura simples, constituída por duas rodas cilíndricas revestidas com borracha maciça com nervura central por possuir eixos inclinados, essa roda acompanha a forma de um "V", nestes trabalhos foram demonstrados que a profundidade de semeadura foi o fator que mais influenciou na emergência e no desenvolvimento vegetativo da cultura do milho e da soja.

Silva (2002) encontrou que a roda que teve melhor desempenho em termos de produtividade para o milho foi à roda 2, Figura 9 e a carga que teve melhor resultado foi de 150 N. Silva (1990) encontrou para o mesmo tipo de roda para o feijão valores de 100 N, e Silva (2004 b) encontrou para a soja valor de 235 N.

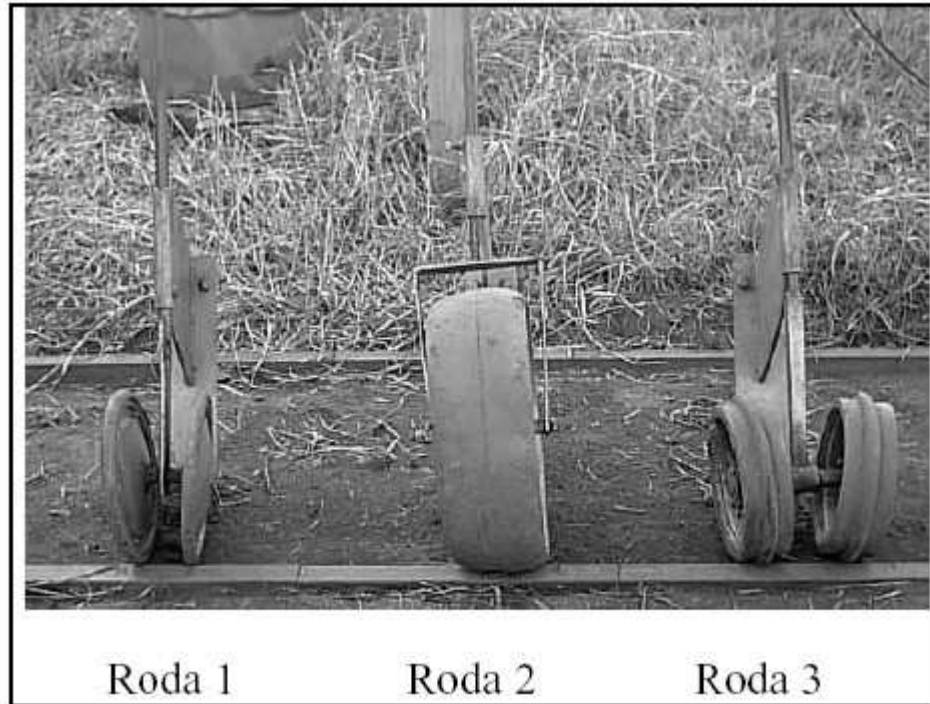


Figura 9. Rodas compactadoras estudadas por SILVA (2002).

Casão Jr. e Campos (2004), afirmam que componentes aterradores, que retornam o solo e a palha anteriormente removidos pelas hastes ou discos são muito importantes e provaram experimentalmente que o sistema que possibilita a maior taxa de emergência de plantas após o plantio é o sistema de acabamento de sulco formado por dois discos cobridores côncavos e logo em seguida uma roda compactadora com formato cilíndrico, atingindo índices acima de 96 %, Figura 10.



Figura 10. Sistema de acabamento de sulco proposto por CASÃO Jr. & CAMPOS (2004).

Segundo Casão Jr. (2006) nos últimos anos têm surgido mais fabricantes preocupados com os sistemas de acabamento de sulco como melhor alternativa para condução de solo e palha ao sulco, além de compactação do sulco de plantio a adoção de um conjunto de discos aterradores e rodas compactadora muito usadas no passado no sistema de semeadura convencional.

2.8 SISTEMA DE SEMEADURA CONSERVACIONISTA NSMC

Uma solução para a mecanização da pequena propriedade brasileira é desenvolver uma máquina de cultivo conservacionista econômica e leve que possa ser acoplada a um motocultor (2 rodas) ou um micro-trator (4 rodas), com menos de 30 cv (22 kW) (MACIEL, 2004). Isto acarretaria no aumento da eficiência dos sistemas de preparo, plantio e cultivo do solo, operações essencialmente básicas que nas pequenas propriedades onde a agricultura familiar se desenvolve não são adequadamente conduzidas. Outro ponto importante e paralelo a este problema é a questão ambiental. Neste contexto a solução é a adoção de sistemas de preparo, plantio e cultivo do solo que sejam conservacionistas e principalmente, adaptados à agricultura familiar (MACIEL, 2004).

A NSMC, Figura 11 foi desenvolvido inicialmente para as culturas de milho, soja e feijão. O milho e o feijão foram escolhidos pelo motivo da agricultura familiar ser responsável por 46% e 70%, Figura 12, respectivamente, de toda produção nacional destes produtos MDA (2010), no caso da soja o objetivo é possibilitar que os pequenos agricultores participem da produção da leguminosa de maior expressão econômica do planeta (CÂMARA, 2000).



Figura 11. Nova Semeadora Multifuncional Conservacionista (NSMC) (MACIEL (2004), Convênio FEAGRI/FINEP 3158), Protótipo 1.

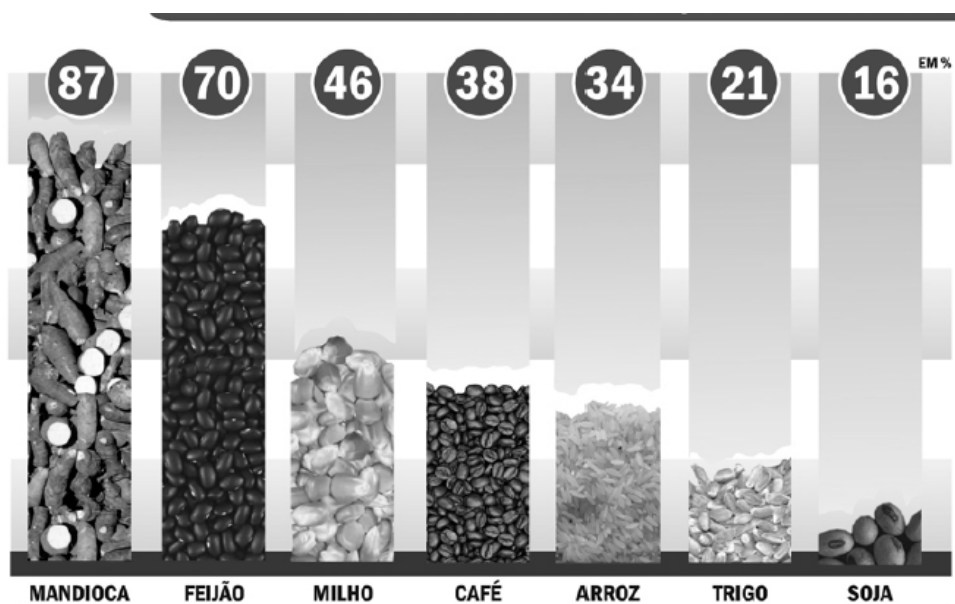


Figura 12. Participação da agricultura familiar em diversas culturas e produtos, dados em % (IBGE, 2006, adaptado por MDA, 2010).

2.9 ANÁLISE DE FALHAS E QUALIDADE

Segundo Helman e Andery (1995) nos processos de comercialização de bens e serviços a instituição da garantia de fábrica é um fator preponderante para “tranquilizar” o cliente. No sentido de minimizar a insatisfação devida alguma falha do produto ou serviço, no entanto o maior interesse do cliente é que o produto não falhe. Neste contexto Campos (2007) afirma que é de fundamental importância o aprimoramento de operações agrícolas devido a sua influência direta sobre a germinação, desenvolvimento e produtividade das plantas e embora o conceito de qualidade seja recente na agricultura ele é altamente aplicável, uma vez que as operações agrícolas são interdependentes e a qualidade de uma afeta a subsequente. Pauli et al. (2009) afirma que quantificar todos os fatores que influem nas operações agrícolas é uma tarefa complexa, portanto é necessário concentrar esforços nos fatores que trarão resultados esperados com melhor eficiência e eficácia. Assim a utilização de ferramentas de qualidade é essencial para garantir o desempenho adequado de um processo em função de fatores críticos.

Barros (2008) escreve que os primeiros registros do termo qualidade foram encontrados nos séculos XIII. Nesse período os produtos eram fabricados de forma artesanal sob as supervisões rígidas dos clientes, porém na Revolução Industrial os bens passaram a ser produzidos em larga escala originando produtos baratos e populares. Nesta época segundo Matos (2004) a inspeção era informal através de um mestre de ofício. A inspeção formal surge no século XX com a produção em massa e necessidade de intercambialidade entre peças, principalmente no material bélico. Nos anos 1922 e 1931 através de trabalhos de Radford e Shewart o controle de qualidade surge oficialmente como atividade distinta e independente gerencialmente. A norma NBR ISO 9000 define qualidade como o grau no qual um conjunto de características inerente satisfaz uma necessidade ou expectativa que geralmente é expressa de forma implícita ou explícita. Segundo Matos (2004) a qualidade como dimensão é definida em termos de um conjunto de características específicas do produto que o tornam adequado às necessidades do cliente. Montgomery (2004) define qualidade como adequação ao uso sendo inversamente proporcional à variabilidade. Neste enfoque segundo Helman e Andery (1995) uma das dimensões da qualidade é conseguir a qualidade de conformidade, ou seja, a garantia de execução exata do que foi planejado para atender aos requisitos dos clientes em relação a um determinado produto ou serviço. Esta dimensão está diretamente ligada à solução dos problemas que vão aparecendo, principalmente os decorrentes da variabilidade, que é definida por Hines et al. (2006) como a variação de uma variável onde valores associados a unidades

por um processo tendem a dar resultados diferentes em observações repetidas. Segundo Helman e Andery (1995) à medida que resultados indesejados dos processos – problemas ou falhas – são percebidos, atua-se metodicamente sobre eles para achar a sua causa fundamental e bloqueá-la. Segundo Hines et al. (2006) virtualmente todos os processos do mundo real apresentam variabilidade cuja causa é resultado de mudanças nas condições sob os quais são feitas as observações, estas mudanças podem advir de diferenças no material, na maneira que as pessoas fazem o trabalho, diferenças ambientais, desgaste, modificações nos sistemas de medidas, etc. O método FMEA (do inglês *Failure Mode and Effect Analysis*) pode auxiliar eficientemente na etapa de elaboração do plano de ação para o bloqueio da variabilidade. E o CEP (Controle Estatístico do Processo) é essencial para detecção desta variabilidade e indicação de pontos críticos.

2.10 CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO (CEP)

Helman & Andery (1995) estabelecem que o desempenho de um processo é estabelecido em função dos requisitos de qualidade e especificações a este processo atrelado. Neste contexto o Controle Estatístico do Processo (CEP) tem como função verificar a viabilidade de atender tais especificações e exigências de qualidade, além de determinar os pontos problemáticos desse processo, assim Montgomery (2004) afirma que se um processo deve corresponder às exigências do cliente, deve em geral, ser estável ou replicável, ou seja, o processo deve ser capaz de operar com pequena variabilidade em torno das características nominais de qualidade do processo. Para avaliar esta capacidade são necessárias medições de itens de controle que traduzam tecnicamente as expectativas do cliente em relação ao produto (HELMAN & ANDERY, 1995).

O controle estatístico do processo é uma ferramenta útil para monitoramento e diminuição da variabilidade. As sete principais ferramentas (MONTGOMERY, 2004) do CEP são: histogramas; folhas de controle; gráfico de Pareto; diagrama causa-efeito; diagrama de concentração de defeitos; diagrama de dispersão e gráfico de controle. O histograma que é um gráfico de frequências pelas características específicas. A folha de controle que são um resumo estruturado em forma de matriz de todos os dados históricos sobre defeitos ou falhas relativas ao equipamento ou processo. O gráfico de Pareto que é um gráfico de distribuição de

frequência organizada por categorias, de tal forma que o item com maior frequência é o primeiro a ser plotado. O diagrama causa-efeito que é um diagrama em espinha de peixe onde todos os sistemas são elencados e as causas e subseqüentes efeitos são descritos. O diagrama de concentração de defeito que é uma figura da unidade ou peça com todas as vistas necessárias onde é desenhada a localização dos defeitos e sua descrição para fornecer informações úteis sobre as causas. O diagrama de dispersão que é um gráfico útil para identificação de relações entre duas variáveis. O gráfico de controle que é um gráfico de uma característica de qualidade que foi medida ou calculada a partir de uma amostragem pelo número da amostra ou tempo. Montgomery (2004) afirma que das sete ferramentas o gráfico de controle é o mais sofisticado tecnicamente. Nos gráficos de controle existe uma linha central que representa o valor médio da característica de qualidade que corresponde ao estado de controle, e duas linhas chamadas: limite superior de controle (LSC) e limite inferior de controle (LIC), estes limites são escolhidos tal que se o processo está sob controle (processo estável), praticamente todos os pontos amostrais estarão entre elas.

Montgomery (2004) e Hines et al. (2006) afirma que é típico em engenharia de qualidade os limites 3-sigma, ou seja, a largura da faixa entre a média e o limite de controle é três vezes o desvio padrão da amostra. Em relação aos gráficos de controle a definição do tipo de medida é essencial para direcionar os cálculos e discussões. Este aspecto se refere ao que se está medindo: variáveis ou atributos. Uma variável perante o CEP e a estatística é uma característica de qualidade que pode ser expressa em uma escala numérica, já um atributo é uma medida que se relaciona com a conformidade ou não em relação a alguma especificação de uma característica de qualidade, a terminologia então não é numérica mas qualitativa: defeituoso (não conforme) ou não defeituoso (conforme). O analista de qualidade sempre se deparará com a necessidade de escolher entre um gráfico de controle de variáveis ou de atributos. Em geral o gráfico de controle de atributos tem a vantagem de que várias características da qualidade podem ser consideradas em conjunto, por outro lado se estas várias características podem ser medidas como variáveis, os gráficos de controle de variáveis fornecem informações muito mais úteis sobre o desempenho do processo, além da média e variabilidade serem obtidas diretamente possibilitando um estudo mais aprofundado da capacidade de um processo do que os gráficos de controle de atributos.

Montgomery (2004) define capacidade do processo (C_p) o estudo de engenharia para estimar a uniformidade, que se refere diretamente à variabilidade e pode ser encarada de duas maneiras: a variabilidade natural em um instante específico e a variabilidade ao longo do tempo. A estimativa estatística da capacidade do processo pode ser tomada como a distribuição de probabilidade da característica de qualidade, em função de variáveis ou atributos de um processo específico. Esta distribuição tem uma forma (curtose), um centro (média) e uma dispersão (desvio padrão).

A análise do C_p destaca-se por: prever até que ponto o processo se manterá dentro das tolerâncias; auxiliar os planejadores e engenheiros na seleção ou modificação de um processo; estabelecer intervalos entre amostras para monitoramento; especificar exigências de desempenho; planejar a sequência de processos; e auxiliar a reduzir a variabilidade do processo (MONTGOMERY, 2004).

O C_p é uma medida da habilidade do processo estar dentro das especificações limites (características de qualidade). Para este índice ter validade estatística Montgomery (2004) e Kotz e Johnson (1993) afirmam que as seguintes suposições têm que ser verdadeiras: 1-a característica de qualidade tem uma distribuição normal; 2-o processo está sob controle (estável) e 3-a média do processo está centrada entre os limites de especificação.

O índice C_p não leva em conta onde a média do processo está localizada em relação às especificações. O C_p simplesmente mede a dispersão de um processo em relação às especificações. Já o C_{pk} (capacidade efetiva do processo) é uma razão de capacidade do processo que é unilateral para o limite especificado mais próximo da média. De modo geral se o processo é centrado o $C_p = C_{pk}$, quando o C_{pk} é diferente do C_p , o processo está descentrado, a magnitude entre C_p e C_{pk} indica o quão fora do centro dos limites de especificação a média do processo se encontra (MONTGOMERY, 2004).

Helman & Andery (1995) definiram a seguinte sequência de operações para se avaliar processos com distribuição normal, Figura 13.

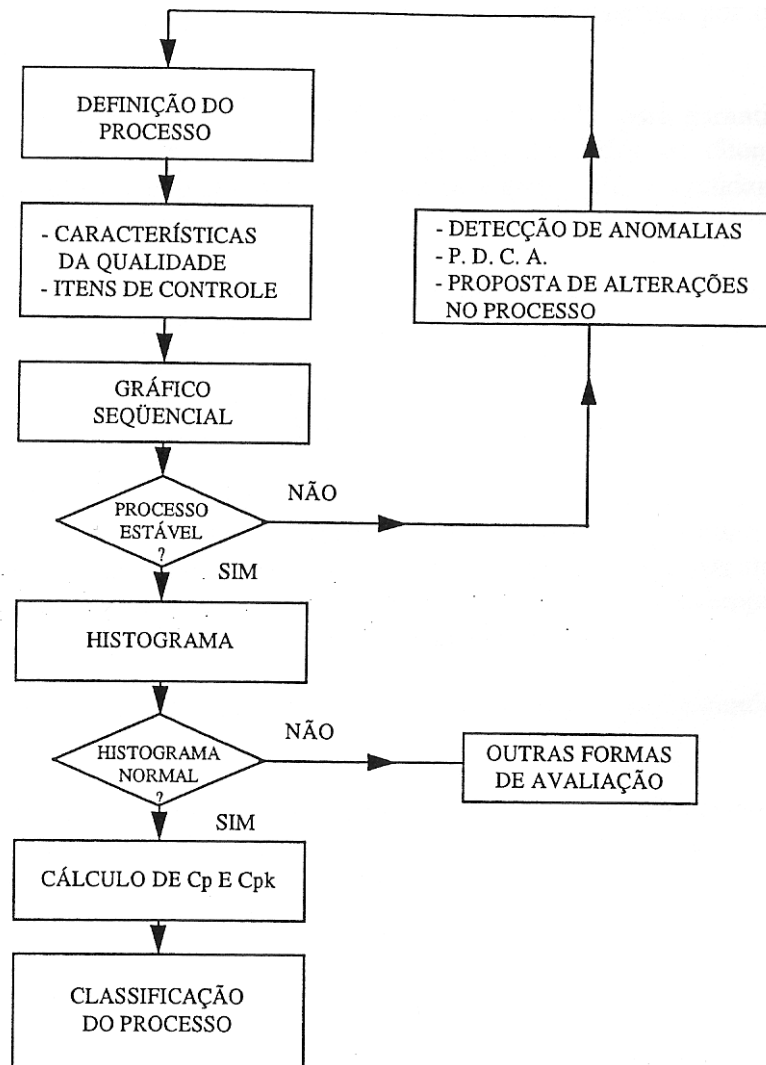


Figura 13. Sequência de operações para avaliação de processos (HELMAN & ANDERY, 1995).

Na Figura 13 onde se lê gráfico sequencial entenda-se gráficos de controle e para avaliação de normalidade além do estudo do histograma pode-se utilizar os gráficos de probabilidade normal e testes de simetria e curtose, além de estatísticas específicas.

Em geral os CEPs sempre consideram que suas amostras têm distribuição normal, o que nem sempre é verdadeiro, tanto os gráficos de controle como os índices discutidos tem como limitação grave a necessidade de normalidade. Caso os dados não tenham distribuição normal são ineficientes. Neste aspecto de não-normalidade devem ser utilizados métodos adequados tanto para análise da capacidade como para construção dos gráficos de controle.

Segundo Montgomery (2004) e Kotz e Johnson (1993) se a distribuição dos valores não é normal, então, as afirmações sobre falhas esperadas do processo atribuídas a um valor particular de C_p e C_{pk} podem não ser verdadeiras. Uma abordagem para índices de capacidade de processos não normais é apresentada por Luceño (1996) que afirma que o valor de C_p não é uma variável aleatória. No entanto se o valor do desvio padrão da população é desconhecido pode ser substituído por um estimador: o desvio padrão de uma amostra. Em geral como o desvio padrão amostral é muito bem conhecido, quando a população tem uma distribuição normal, o desvio padrão amostral é um estimador muito bom. No entanto a variância do desvio padrão amostral depende altamente do quarto momento da média, a chamada curtose (que define a forma da distribuição), esta sensibilidade ou robustez deste estimador para a distribuição é inerente à distribuição da variância e diretamente ao C_p , conseqüentemente intervalos de confiança para o desvio padrão populacional e para C_p , baseados no desvio padrão amostral podem ser muito inadequados quando a distribuição é não-normal.

Luceño (1996) propôs um novo índice de capacidade de processo que é insensível a afastamentos da distribuição normal. Neste novo índice o estimador não é o desvio padrão amostral, mas sim a esperança da amostra em relação à média e os limites de controle. A esperança é um estimador independente para qualquer distribuição devido ao teorema do limite central, assim os intervalos de confiança são independentes do afastamento da hipótese de normalidade.

Lucas e Saccucci (1990) afirmam que se a característica de qualidade não apresenta distribuição normal, o gráfico de controle usual não é preciso sendo necessária a utilização do gráfico de controle da média móvel exponencialmente ponderada (MMEP). Segundo Hines et al. (2006) a MMEP pode ser considerada uma média ponderada de todas as observações, os pesos decrescem geometricamente com as observações, este método atribui menos peso a observações que ocorreram há menos tempo ou menos frequentemente e sua sensibilidade depende do peso dado e do intervalo entre os limites e a média. Hunter (1989) sugeriu a escolha de peso $\lambda=0,4$ e intervalo em 3σ , o que permite detectar uma mudança do desvio padrão na média em 14,3 observações. Montgomery (2004) afirma que a MMEP é extremamente robusta em relação à não-normalidade quase sendo um teste não-paramétrico. O MMEP é muito eficaz contra pequenas mudanças no processo, no entanto não é muito sensível

a grandes mudanças. Assim Hines et al. (2006) recomenda a combinação dos gráficos de controle convencionais com os MMEP para identificar tanto grandes mudanças no comportamento da amostra como pequenas.

2.11 ANÁLISE DE EFEITOS E MODOS DE FALHA (FMEA)

Segundo Toledo e Amaral (2008) a metodologia de análise do tipo e efeito de falha, conhecida como FMEA, é uma ferramenta que busca evitar por meio da análise das falhas potenciais e propostas de ações de melhoria que ocorram falhas no projeto de um produto ou processo. O objetivo básico desta metodologia é aumentar a confiabilidade (probabilidade de falha do produto/processo). O FMEA segundo Palady (1998) é uma técnica que prioriza três linhas básicas: trabalha como ferramenta de prevenção de problemas e identificação das soluções mais eficazes; é um procedimento que oferece estrutura para a avaliação, condução e a atualização no desenvolvimento de projetos; atua como diário que se inicia no planejamento do projeto ou processo e se mantém durante todo o período de utilização do produto. A IQA (1997) define FMEA como um método que identifica os modos de falhas potenciais e a criticidade destes efeitos de falhas na funcionabilidade do produto e pode ser dividido em duas seções distintas: projeto e processo. Seu principal objetivo é auxiliar na detecção de problemas potenciais no produto ou processo de forma antecipada e assim evitar mudanças custosas ou re-trabalhos em estágios posteriores, tais como, no estágio de manufatura e no estágio de garantia do produto.

O FMEA de projeto (DFMEA-*Design FMEA*) é um método preventivo que tem como objetivo assegurar que durante o projeto do produto, os modos de falhas potenciais e suas causas/mecanismos associados sejam considerados e abordados. Devendo ser iniciado antes ou na finalização do projeto conceitual e concluído quando na finalização do projeto detalhado e liberação para a ferramentaria. O produto final, subsistemas, componentes e sistemas relacionados são os objetos de estudo nesta fase, que considera como “cliente”, além do usuário final, os engenheiros e equipes responsáveis pelo projeto. Os principais benefícios do DFMEA segundo Coimbra (2003) são: 1-auxiliar na avaliação objetiva dos requisitos do projeto e das soluções alternativas; 2-considerar os requisitos de manufatura e montagem no projeto inicial; 3-aumentar a confiabilidade do produto; 4-reduzir a necessidade de

modificações de projeto; 5-melhorar o planejamento de qualidade; 6-permitir o melhoramento contínuo no produto.

O FMEA de processo (PFMEA-*Process FMEA*) tem o mesmo objetivo que o DFMEA, porém seu objeto de estudo é o processo de fabricação e o “cliente” pode ser o usuário final do produto ou ainda uma operação de assistência técnica. Este foi o método adaptado pela Ford em 1972 que o utilizou pela primeira vez. Juran (1997) define processo como uma série sistemática de ações dirigidas à realização de uma meta. Esta definição abrange os seguintes processos: identificar os clientes; determinar as necessidades dos clientes; desenvolver características do produto; desenvolver características do processo; estabelecer controles do processo. Neste enfoque o FMEA de processo deve ser iniciado antes ou durante o estágio de viabilidade e antes do desenvolvimento das ferramentas para a produção. Deve-se considerar todas as operações do processo, desde a entrada de matéria prima até o produto final. O PFMEA não deve contar com alterações de projeto do produto para atenuar as deficiências potenciais do processo, o PFMEA assume que o produto da forma como foi projetado irá atender ao objetivo do projeto. Os principais benefícios do PFMEA segundo Coimbra (2003) são:

- Identificar os modos de falhas potenciais do processo relacionados ao produto;
- Avaliar os efeitos potenciais da falha em relação ao cliente;
- Identificar as causas potenciais de falha do processo de manufatura ou montagem e as variáveis que deverão ser controladas para redução da ocorrência ou melhoria da eficácia na detecção da falhas;
- Classificar modos de falhas potenciais criando um sistema de priorização para as ações corretivas;
- Documentar os resultados do processo de manufatura ou montagem.

Em geral o FMEA identifica: primeiro, o modo de falha potencial durante o ciclo de vida do produto/processo; segundo, os efeitos destas falhas; e terceiro, o quanto é crítico para a funcionalidade do produto/processo estes efeitos destas falhas (TENG & HO, 1996). Sankar e Prabhu (2001) resumem o FMEA pelas seguintes perguntas: “O que pode dar errado?; O que pode causar o erro?; Quais efeitos estes erros terão?”. Segundo RINA (2008) a análise de FMEA possibilita: eficácia no controle e implantação de processos; identificação de pontos

críticos; necessidade de ações corretivas; certeza que avarias simples tem limites conhecidos e podem ser controladas e que o sistema segue as especificações técnicas.

Segundo QAI (2008) o FMEA foi formalmente introduzido no final de 1940 pelo padrão militar americano MIL-STD-1629, ele foi utilizado inicialmente no desenvolvimento aeroespacial (aeronaves e foguetes) e foi muito útil para evitar erros na tecnologia de foguetes. O primeiro grande empurrão desta metodologia foi no desenvolvimento de tecnologia para colocar o homem na Lua em 1960, quando o FMEA tornou-se famoso. O método chamou a atenção da indústria automobilística que o adotou pela primeira vez em 1970 com a Ford Motor Company (QAI, 2008). Atualmente é utilizada por indústrias de diferentes ramos como a química, alimentícia, automotiva, aeroespacial, etc. Ramos (2004) afirma que seu uso é requerido pelas normas de certificadores internacionais entre elas QS 9000 (uma versão automotiva da ISO 9000), ISO TS16949 (cadeias de suprimentos/ implementação de gerenciamento de confiabilidade de processos) para projetos e processos de fabricação. Segundo (DOD, 2008) o procedimento para efetivar um FMEA tem os seguintes passos: 1- determinar todos os modos de falha de um requerimento funcional e seus efeitos, estes efeitos são classificados em função da severidade da falha (o quão sério é o efeito para o processo/produto, a classificação de severidade varia de 1 a 10); 2- analisar as causas desta falha e o nível de ocorrência (a ocorrência varia de 1 a 10); 3- considerar testes e projetos de verificação para métodos de inspeção com o objetivo de detectar esta falha antes de ocorrer ou após ocorrer, o que representa a habilidade de identificar e eliminar tais falhas (a detecção varia de 1 a 10); 4- Calcular o Número de Prioridade de Risco (NPR), através da multiplicação dos valores de severidade, ocorrência e detecção.

Observação muito importante feita por Conde (2003) é que independente do valor do NPR deve-se estar atento a severidades e ocorrências altas, pois nestes casos é recomendável rever o projeto ou processo a fim de diminuir estes escores, visto a importância de escores altos em severidade e ocorrência em relação a efeitos e falhas.

Segundo Conde (2003) o FMEA possibilita que as falhas fiquem muito evidentes e permite à empresa definir o tipo de ação a ser tomada, conforme sua disponibilidade de recursos. A empresa pode optar em aumentar os seus níveis de controle o que aumenta a probabilidade de detecção da falha ou rever a infra-estrutura, materiais ou processos o que diminui os índices relacionados à severidade e ocorrência. Segundo Nogueira e Toledo (1999)

para o aumento da confiabilidade a adoção de medidas preventivas tornou-se indispensável. Como suporte a essas ações o uso do FMEA foi considerado o método mais adequado, dada sua característica em adotar ações preventivas baseadas em prioridades, Helman e Andery (1995) afirmam que as empresas têm adotado o FMEA além de meio de previsão de falhas, mas também com técnica para solução de problemas e como ferramenta auxiliar no processo de obtenção de qualidade para produtos e processos, pois esta técnica pode ser aplicada nas seguintes situações: 1- melhoria de produtos já existentes a partir da identificação das falhas ocorridas e seu posterior bloqueio; 2-detecção e bloqueio de causas de falhas potenciais em produtos que estão em operação; 3- detecção e bloqueio das causas de falhas potenciais em produtos ainda em fase de projeto.

Segundo Milan (2002) estudos e experiências com a aplicação de conceitos e técnicas de qualidade na área agrícola ainda existem em pequena escala, no entanto a sobrevivência da empresa agrícola está ligada à implantação de novas técnicas administrativas baseadas na gestão de qualidade. Neste enfoque existem exemplos de trabalhos que abordam o FMEA na área agrícola. Campos (2007) utilizou a técnica FMEA para identificar os pontos críticos na produção de cana de açúcar. O trabalho constituiu-se em duas etapas: a primeira identificou as variáveis críticas referentes às diversas etapas de produção da cana-de-açúcar através da utilização do FMEA; a segunda avaliou no campo cada variável de maior criticidade para determinar a capacidade do processo através do Controle Estatístico do Processo (CEP), os resultados identificaram 17 variáveis críticas. Matos (2004) aplicou FMEA para a definição dos pontos críticos no processo de beneficiamento de madeira em uma empresa de pequeno porte o que permitiu analisar o impacto de cada falha potencial crítica neste processo e propor ações de melhoria. Coimbra (2003) adotou o FMEA para a implantação de um sistema de gestão ambiental e testou o método em quatro indústrias cerâmicas de revestimento nas suas principais etapas de produção. O método apontou com precisão os aspectos dos impactos ambientais associados o que permitiu a avaliação da significância destes.

Segundo Bassetto (2007) o FMEA manipula conceitos nem sempre usuais, como taxas de falhas associadas a um modo de falha específico. E sua execução sempre demanda tempo e conhecimento sobre o equipamento ou processo embora sua aplicação possa ser simplificada com o uso de ferramentas computacionais. Neste enfoque a indústria aeroespacial utiliza o FMEA como técnica de análise de problemas antes que as aeronaves ou foguetes sejam

construídos e utilizados. Assim se está analisando o futuro e buscando determinar falhas potenciais. No entanto este procedimento tem como desvantagem o emprego de grande quantidade de homens/hora. Uma forma de minimizar este fato é o uso de formulários e construir o FMEA com base no histórico de falhas já ocorridas, através do CEP. Assim a análise de falhas já ocorridas ganha enorme potencial de ganho com o FMEA. Bassetto (2007) acrescenta que isto não é um desvio da filosofia original básica da ferramenta, mas sim uma adaptação bastante útil.

Segundo ERGONOMICS LABS (2009) o padrão MIL-STD-1629 A revisado em 1980 foi utilizado como padrão para os procedimentos FMEA até 1998, quando foi realizada uma consulta a vários documentos internacionais que resultou no procedimento FMEA atualmente adotado MIL-STD-1629A NOTICE 3. A partir das recomendações e sugestões de Teng e Ho (1996) e Teng et al. (2006) um FMEA deve ter os seguintes passos: Obtenção de informação (desenhos, esquemas dos sistemas/processos, fluxogramas funcionais, dados analíticos, descrição dos sistemas, dados obtidos de experiências passadas, especificação de fornecedores, etc.); Definição do escopo da análise: resolução: decidir o nível de análise do sistema/processo (subsistema/montagem/submontagem/componente/parte, etc) Foco: definir quais as áreas em que se tem intenção de determinar as falhas (segurança, manutenção, operação, resultado final, etc.); Preparar o fluxograma do projeto/processo, mostrando as relações entre subsistemas/subprocessos; Identificar os possíveis modos de falha (que tipo e como estas falhas ocorrem); Identificar as causas destas falhas; Analisar o efeito desta falha; Classificar a severidade; Controle Estatístico de Processo (CEP); Classificar a ocorrência; Determinar a detecção; Calcular o NPR; Definição de falhas críticas; Recomendações de ações corretivas; Modificações; Redação do relatório FMEA; Refazer os procedimentos a partir do item 5 após implementação das modificações.

Segundo Teng et al. (2006) o FMEA é uma ferramenta que deve ser adotada indefinidamente até o fim do ciclo de vida do produto/processo, um diagrama interessante que mostra este fato é apresentado na Figura 14 (TENG & HO, 1996).

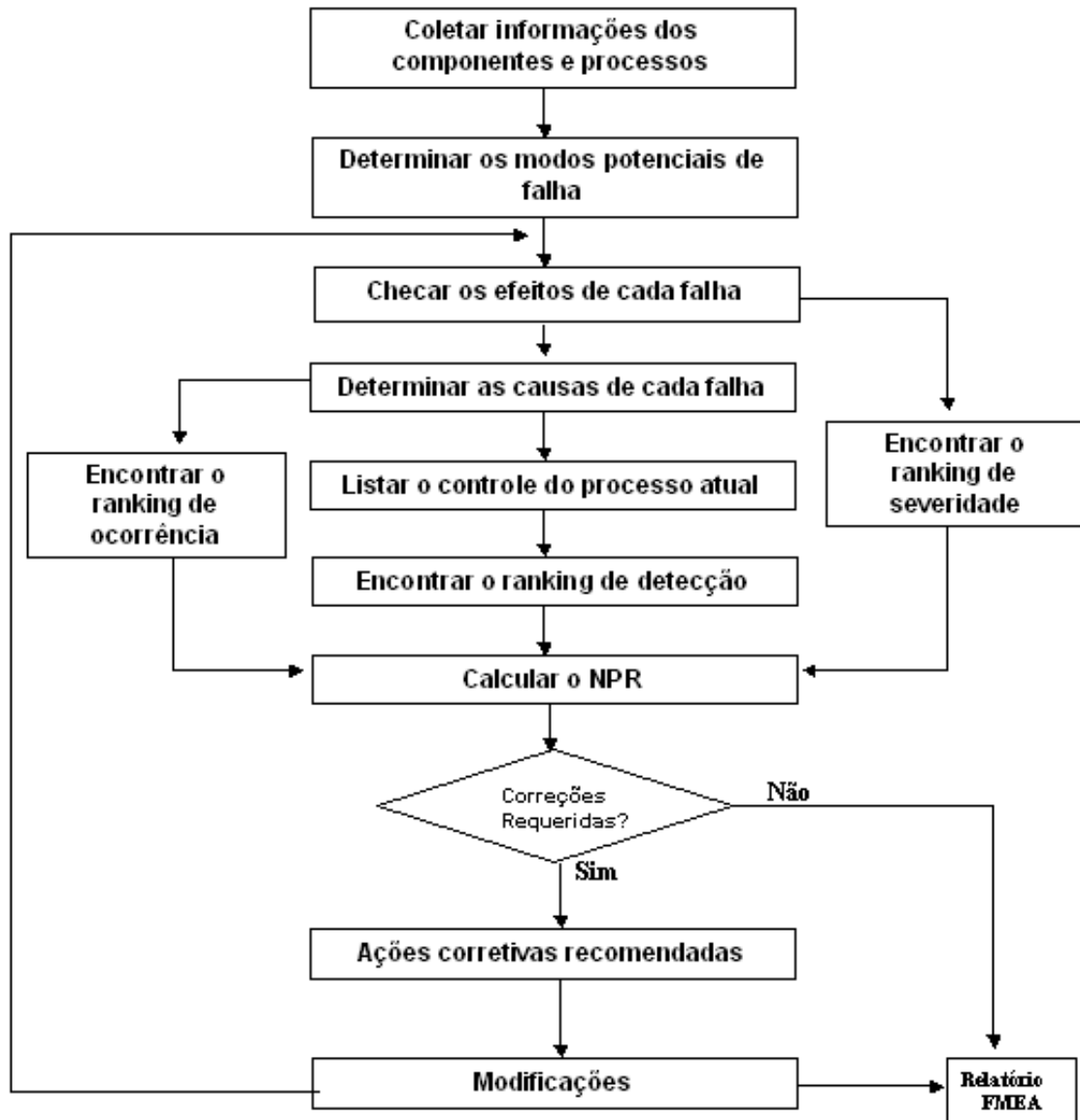


Figura 14. Fluxograma do procedimento para realização do FMEA (TENG & HO, 1996), tradução do autor.

3- MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho de pesquisa foi desenvolvido no Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP, cujas coordenadas geográficas são as seguintes: Latitude 22°48' Sul, Longitude 47°03' Oeste e altitude média de 640 m. A parte experimental foi conduzida maio de 2008.

Conforme a classificação climática de Köeppen a região de estudo é definida como uma transição entre os tipos Cwa e Cfa, o que indica um clima tropical de altitude com inverno seco e verão úmido. As temperaturas médias do mês mais quente e do mais frio são, respectivamente, 29,9 °C (janeiro) e 12,2 °C (junho).

O solo onde foi realizado o experimento é típico da Região de Campinas (SP), sendo um Latossolo Vermelho Distroférrico (EMBRAPA, 1999) com textura Argilosa, sua granulometria é: 590 g/kg de argila, 180 g/kg de Silte e 210 g/kg de Areia, e 20 g/kg de matéria orgânica. O ultimo plantio ocorreu na safra passada 2007/2008, com milho (*Zea mays*). A área apresentava-se com índice de cone médio em torno de 1500kPa e é a parte superior de uma encosta com 3 % de declive. A orientação é norte-sul e exposição oeste. A área estava infestada de capim colônia (*Panicum maximum* Jacq.) e braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf.), (KISSMANN, 2000) Figura 15, que foram manejadas um mês antes do experimento com um triturador de palha.



Figura 15. Área onde foram realizados os testes experimentais

3.1 MATERIAL

O “Paraplow” Rotativo utilizado neste experimento, Figura 16 é constituído de três hastes “paraplow” separados em 120° . A geometria destes “paraplow” foi a mesma descrita por Albiero e Chang (2000) e Albiero (2006) que seguiram recomendações técnicas de Tupper (1998), Koolen e Kuipers (1983), Upadhyaya et al. (1994), e Gill e Vanden Berg (1968). Os “paraplow” consistem em um conjunto de duas lâminas montadas. A lâmina inferior esta soldada num ângulo oblíquo em relação lâmina superior presa ao suporte. A lâmina inferior possui dois ângulos de inclinação, respectivos a um ângulo formado no plano vertical (ângulo de ataque), o outro no plano horizontal (ângulo de corte). A lâmina superior, que é presa a um suporte, tem um ângulo de corte de 30° seguindo sugestão de Tupper (1998). A lâmina inferior está soldada em relação à direção de translação e na direção ortogonal a translação no plano horizontal em um ângulo de 45° em relação à lâmina superior que é presa ao suporte. Esta configuração tem o objetivo de cisalhar o solo numa composição de tensões que o levem a se elevar ocasionando o rompimento no ângulo natural de ruptura. A lâmina inferior possui dois

ângulos de inclinação: um ângulo formado no plano vertical (ângulo de ataque) de 45° e o outro no plano horizontal (ângulo de corte) de 15° , ambos para redução da resistência à tração. Estes “paraplow” são soldados num suporte superior circular com furação específica para suportes de roçadoras. Para aumentar a rigidez da estrutura, as lâminas inferiores laterais foram prolongadas até um tubo de apoio ao centro com diâmetro de 25 mm. Albiero (2006) determinou que a melhor rotação para operação do “paraplow” rotativo em termos conservacionistas e operacionais é de $36,65 \text{ rad/s}$ (350 min^{-1}) na ferramenta.

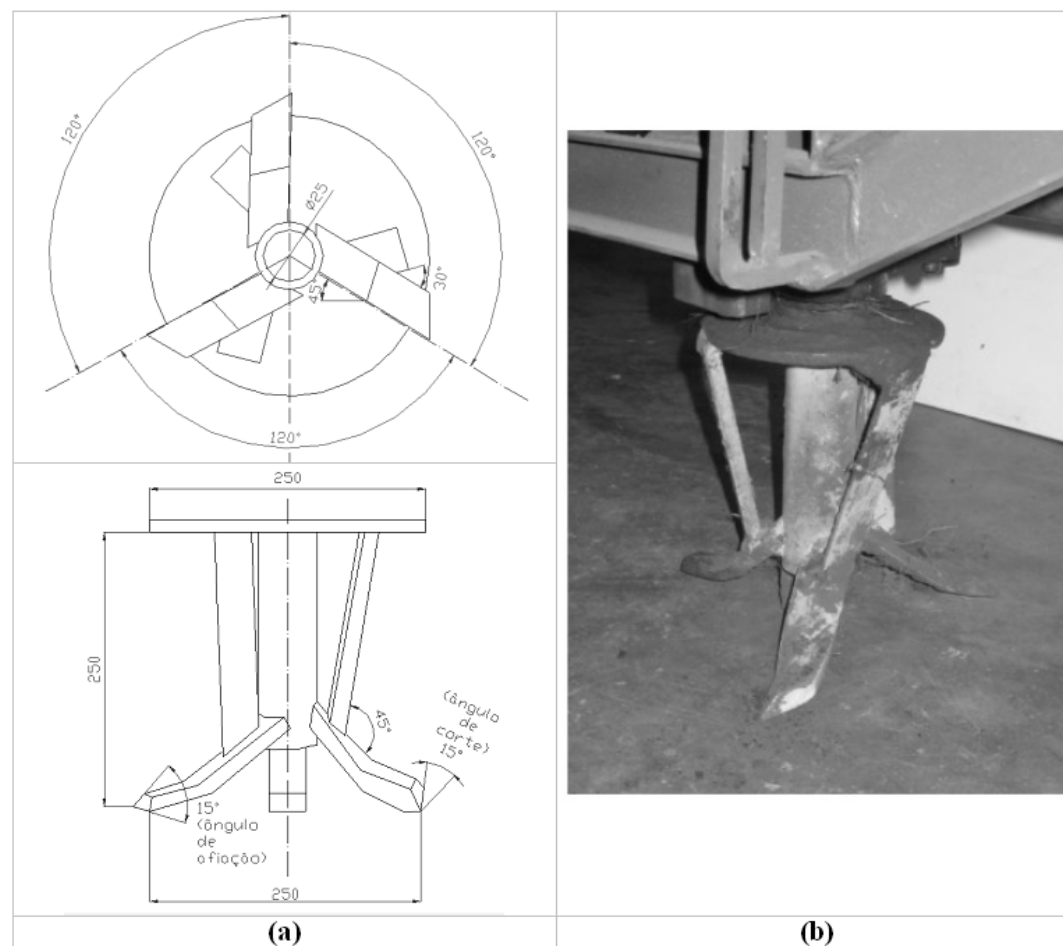


Figura 16. (a) Desenho técnico da ferramenta, (b) “paraplow” rotativo utilizado no experimento.

PROTÓTIPO 2

Após diversos testes operacionais no mestrado (ALBIERO, 2006) com o PROTÓTIPO 1 foram avaliados os resultados que indicaram a necessidade de modificações na NSMC tais como:

- 1- Devido ao grande torque gerado pelo paraplow rotativo em solos muito compactados, toda a máquina tende girar com centro de giro no redutor o que impossibilita o controle da direção, como solução deste problema foi um conjunto de discos estabilizadores;
- 2- Os mecanismos de elevação dos componentes ativos da NSMC (paraplow, discos aterradores, sulcador de sementes, roda compactadora e roda motora) não se mostraram adequados, pois exige demasiada força do operador, além de não possibilitar correta regulagem de profundidade, como solução a máquina foi reprojeta em função de um controle hidráulico de profundidade, através da adoção de um sistema potência hidráulica, constituído por bomba hidráulica de deslocamento positivo tipo engrenagem, comando hidráulico e um pistão hidráulico.
- 3- Foram detectados graves problemas na distribuição de sementes devido à elevada altura entre o mecanismo dosador e o solo, como solução o projeto de acoplamento semeadora/adubador/chassi foi modificado para que o mecanismo semeador se posicionasse próximo ao solo.
- 4- O posicionamento dos reservatórios de semente e adubo era inadequado, pois limitava a visibilidade do operador ocasionando problemas no direcionamento da máquina, como solução os reservatórios foram deslocados para trás do operador.
- 5- A dirigibilidade da máquina era restrita devido às rodas de direção serem posicionadas na traseira da máquina, além do grave problema de ser acionada por pedais pelo operador o que ocasionava desgaste físico, esta configuração tinha pouca mobilidade em campo, como solução foi projetado um chassi articulado em que o operador pode mudar o ângulo de articulação facilmente por leves toques no guidão do motocultor o que possibilita o giro da máquina de forma fácil e rápida, para auxiliar tal operação foi projetado um sistema de direção diferencial através dos freios do motocultor.
- 6- Os reservatórios de sementes e adubo foram reprojeta para levarem maiores quantidades de sementes (20 l) e adubos (50 kg).
- 7- O chassi porta ferramentas foi reprojeta para se adequar as modificações.
- 8- O projeto inicial do redutor do “paraplow” rotativo previa um conjunto de engrenagens cônicas não padronizadas pela indústria o que requer uma fabricação fora de série que aumentaria o custo do redutor. Uma pesquisa no mercado encontrou somente redutores comerciais importados nas especificações necessárias, além de serem caros, desta forma foi

feita a opção de ser reprojetar o redutor a partir de um conjunto de engrenagens comerciais da indústria automotiva.

9- A configuração da roda motora para a adubadora e semeadora foi modificada para possibilitar maior gama de taxas de distribuição de adubo e sementes.

As modificações perpetradas podem ser observadas nas Figura 17 e Figura 18.

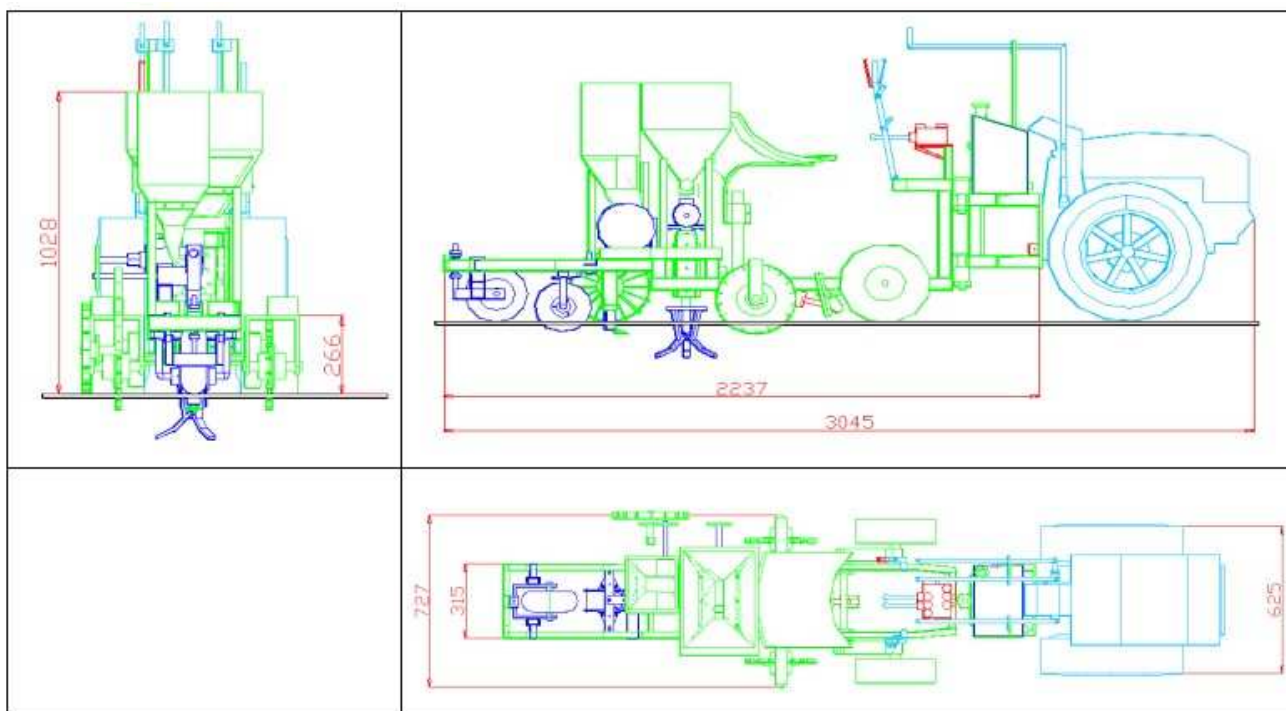


Figura 17. NSMC, PROTÓTIPO 2, desenho técnico.

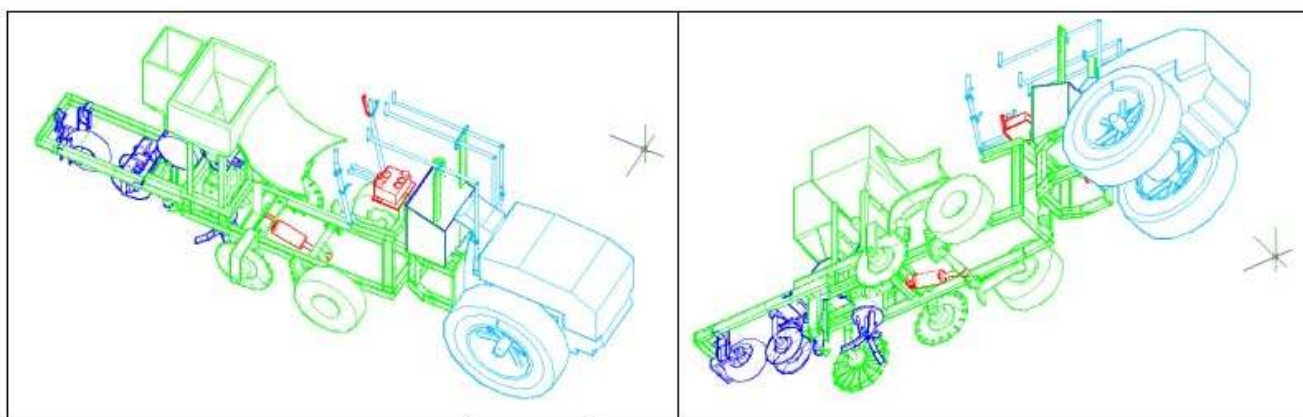


Figura 18. NSMC, PROTÓTIPO 2, desenho conceitual.

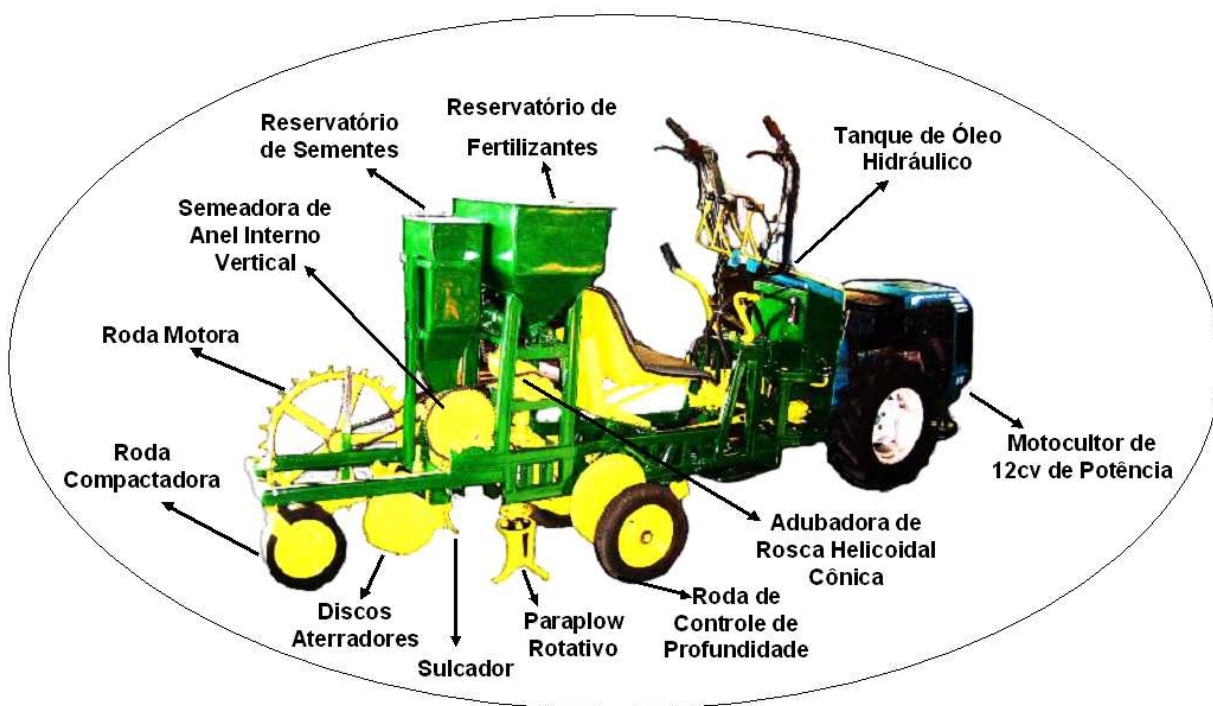


Figura 19. Componentes da NSMC, Protótipo 2.

3.1.1.1 Características Dimensionais

A Tabela 2 exhibe resumidamente os resultados obtidos pela caracterização dimensional do Protótipo 2 :

Tabela 2. Apresenta as características dimensionais da NSMC, PROTÓTIPO 2.

ITEM	Dimensão	Valor
1	Largura – L (m)	0,727
	Comprimento – C (m)	3,05
	Altura – H (m)	1,28
2	Área do espécime estacionado – S (m ²)	2,21
3	Área frontal do espécime – A (m ²)	0,93
4	Volume ocupado pelo espécime – V (m ³)	2,83

❖ altura livre 13,7 cm.

3.1.1.2 Sistema de Transmissão para a Adubadora e Semeadora

O sistema de transmissão para a semeadora e adubadora foi calculado em função das requisições de velocidade angular de cada uma. Segundo Chang (1997) o dosador de sementes de anel interno vertical foi projetado para que a cada metro linear percorrido, o disco de sementes realize uma revolução completa. Foram seguidas as recomendações de Araújo et al. (1996), Fancelli e Dourado Neto (2007) e Moreira et al. (2003) para o feijão que prescreve uma faixa de distribuição longitudinal entre as sementes de 10 a 15 sementes; Fornasier Filho (2007) prescreveu para o milho uma faixa de distribuição longitudinal entre as sementes de 4 a 6 sementes; Câmara (2000), Santos (2003) e Salton (1998) prescrevem para soja uma faixa de distribuição longitudinal entre as sementes de 16 a 20 sementes. Portanto os discos de sementes foram projetados para que estas taxas de deposição de sementes sejam atingidas em cada revolução completa, o que significa que existem discos com furações distribuídas no perímetro que variam de 4 furos por perímetro a 20 furos por perímetro.

Segundo Oliveira e Maciel (2005) o distribuidor de adubo de rosca cônica helicoidal tem uma taxa de distribuição de adubo igual a 4 gramas por revolução. Para o feijão tem-se uma faixa de deposição de fertilizantes variando de acordo com a meta de produtividade (IAC,

1997; 1998), segundo Malavolta (2006) e Vieira (1988) desde que o solo esteja devidamente corrigido e com 0-6 mg/dm³ de P resina e 0-0,7 K⁺ trocável (solo muito pobre) (IAC, 1997) para se atingir meta de produtividade alta no feijão de verão (seca) (3000 kg/ha), a taxa de aplicação deve ser de: 10 kg/ha de nitrogênio (N), 90 kg/ha de fósforo (P₂O₅) e 60 kg/ha de potássio (K₂O); para meta de produtividade baixa (1000 kg/ha) em solo muito rico com >40 mg/dm³ de P resina e >3 K⁺ trocável (IAC, 1997) não se aplica adubo, (0N0P0K). Para o milho, segundo Malavolta (1980; 2006) e Troeh (2007) desde que o solo esteja devidamente corrigido e com 0-6 mg/dm³ de P resina e 0-0,7 K⁺ trocável (solo muito pobre) (IAC, 1997) para se atingir meta de produtividade alta (8000 kg/ha) a taxa de aplicação deve ser de: 30 kg/ha de nitrogênio (N), 90 kg/ha de fósforo (P₂O₅) e 50 kg/ha de potássio (K₂O); para meta de produtividade baixa (2000 kg/ha) em solo muito rico com >40 mg/dm³ de P resina e >3 K⁺ trocável (IAC, 1997) a taxa de aplicação deve ser de: 10 kg/ha de nitrogênio (N), 20 kg/ha de fósforo (P₂O₅) e 0 kg/ha de potássio (K₂O). Para a soja, segundo Malavolta (1987; 2006) e Carvalho e Amabile (2006) desde que o solo esteja devidamente corrigido e com 0-6 mg/dm³ de P resina e 0-0,7 K⁺ trocável (solo muito pobre) (IAC, 1997) para meta de produtividade alta em safra de outono-inverno e sementes inoculadas com *Bradyrhizobium* (3500 kg/ha) a taxa de aplicação deve ser de 12 kg/ha de: nitrogênio (N), 90 kg/ha de fósforo (P₂O₅) e 80 kg/ha de potássio (K₂O); para meta de produtividade baixa (1500 kg/ha) em solo muito rico com >40 mg/dm³ de P resina e >3 K⁺ trocável (IAC, 1997) a taxa de aplicação deve ser de 12 kg/ha de nitrogênio (N), 20 kg/ha de fósforo (P₂O₅) e 0 kg/ha de potássio (K₂O).

Para atingir os valores das taxas de aplicação a adubadora deve ser regulada em função da roda motora com diâmetro de 530 mm e da massa de 4 gramas por revolução que o mecanismo de rosca cônica helicoidal fornece, assim têm-se as regulagens da transmissão de: 1 revolução por metro a 7 revoluções por metros.

Considerando uma roda motora com diâmetro de 530 mm e as taxas de aplicação calculadas, assim como as revoluções necessárias ao mecanismo distribuidor. A metodologia para cálculo de transmissão por correntes e engrenagens descrita por Niemann (2006) determinou as relações de transmissão necessárias consequentemente as engrenagens do câmbio da transmissão da adubadora. O diagrama da transmissão é apresentado na figura seguinte.

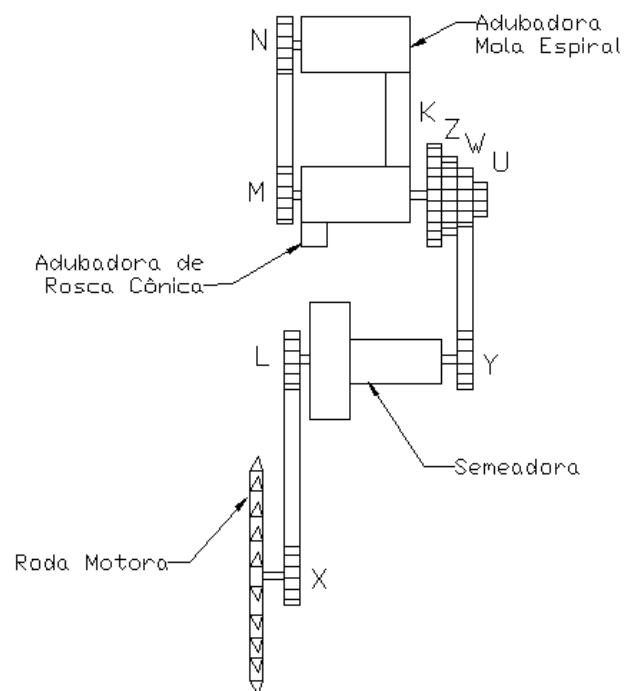


Figura 20. Diagrama da transmissão de potência entre roda motora e engrenagens da adubadora e semeadora.



Figura 21. Detalhe do sistema de transmissão da roda motora (O) para a semeadora (S) e adubadora (A).

Tabela 3. Engrenagens utilizadas na transmissão da adubadora/semeadora.

Engrenagem	Número de Dentes	Passo (polegada)	Diâmetro primitivo (mm)
X	21	½"	85,21
L	13	½"	53,07
Y	60	½"	242,66
U	10	½"	41,10
W	12	½"	53,07
Z	15	½"	65,10
K	20	½"	85,21
M	10	½"	105,36
N	26	½"	41,10

Foi escolhida a corrente ASA 40/ABNT08A que suporta uma tensão admissível de 3800 N.

3.2 METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA MÁQUINA

A metodologia adotada teve como objetivo principal caracterizar no campo em condições reais o desempenho da máquina. Estes experimentos foram conduzidos na Universidade Estadual de Campinas no campo experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola.

Antes de se iniciar o experimento de semeadura foram avaliadas as seguintes variáveis da área que foi utilizada (SILVA, 2002): teor de água do solo; densidade do solo; resistência à penetração, distribuição de fertilizantes em pista, distribuição de sementes em pista e cobertura de palha na área.

Para caracterizar o desempenho da NSMC serão avaliadas as seguintes variáveis (SOUZA, 2005):

- ❖ Desempenho operacional;
- ❖ Ocorrência de embuchamentos;
- ❖ Patinagem; velocidade de deslocamento;
- ❖ Aterramento do sulco;
- ❖ Cobertura do sulco com palha;
- ❖ Densidade de semeadura;
- ❖ Distância entre sementes e fertilizantes;
- ❖ Profundidade de sementes;
- ❖ Profundidade do fertilizante;
- ❖ Sementes expostas;
- ❖ Geometria do solo mobilizado;
- ❖ Danificação das sementes;
- ❖ Resistência à penetração do sulco compactado pela roda compactadora;
- ❖ Emergência total de sementes;
- ❖ Índice de velocidade de emergência de plântulas;
- ❖ Número médio de dias para emergência da plântula;

- ❖ Diâmetro médio ponderado dos agregados via úmida do solo da área plantada;
- ❖ Espelhamento das paredes do sulco;
- ❖ Selamento superficial;
- ❖ Sementes encestadas.

Segundo estudo experimental de Albiero (2006) a velocidade de semeadura com melhor desempenho operacional para o “paraplow” rotativo, em função da agricultura familiar é de 0,36 m/s. No entanto nos testes operacionais com o Protótipo 1 houve problemas relativos a excessiva patinagem do motocultor o que prescreveu uma velocidade de operação para o Protótipo 2 de 0,25 m/s, velocidade esta adequada para a agricultura familiar, já que qualquer motocultor comercial na categoria de 7390 W (10 cv) pode desenvolver tal velocidade de operação, além de possibilitar uma capacidade de campo compatível com as pequenas propriedades rurais brasileiras.

Foi realizada a semeadura de soja com a NSMC em uma área 2625 m², relativos a um retângulo de 105 metros de comprimento por 25 metros de largura, esta área foi dividida em duas partes, Figura 22: uma área para testes de caracterização da máquina e outra para testes de germinação. As áreas foram organizadas semelhantemente ao experimento de Arend (2005): na área utilizada para os testes de caracterização foram definidas três linhas de plantio de 95 metros, as quais foram divididas em 5 pontos cada uma com espaçamento aleatório; na área de germinação foi destacado um retângulo de 30 m de comprimento por 5 de largura, onde foi realizada a semeadura da soja com espaçamento de 0,5 m entre linhas, conforme Figura 22.

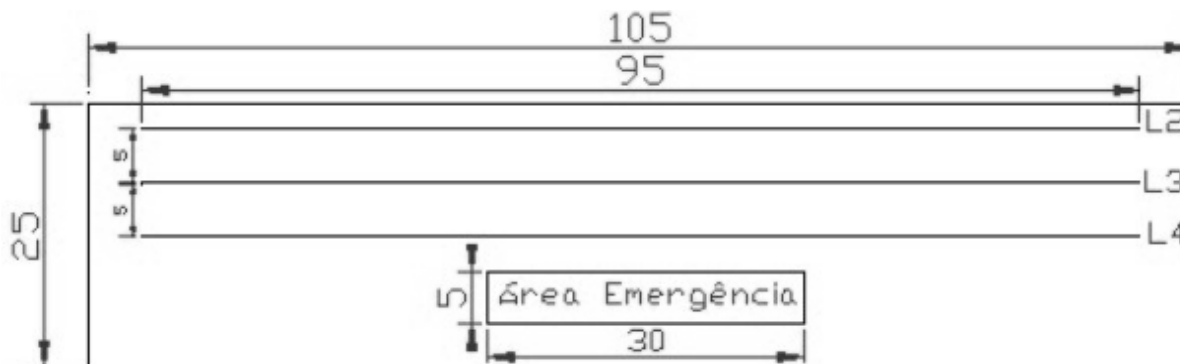


Figura 22. Área experimental.

O delineamento experimental seguiu o projeto experimental completamente aleatório definido por Cochran (1957) como o mais simples tipo de arranjo experimental. Os tratamentos são alocados em suas unidades de variação com total aleatoriedade o que é apropriado para experimentos pequenos (com poucos fatores dependentes), onde o aumento de acurácia de projetos experimentais em blocos casualizados não tem grandes vantagens devido à perda de graus de liberdade.

Este projeto experimental tem as seguintes vantagens: 1- Total flexibilidade o que permite qualquer número de tratamento e com qualquer número de repetições; 2- A análise estatística é simples e fácil mesmo se o número de repetições for diferente entre os tratamentos; 3- o método evita a completa inutilização dos dados caso haja perda ou erro de parte ou de tratamentos inteiros (COCHRAN, 1957). O delineamento que foi utilizado é apresentado na Figura 24, onde foram divididas as parcelas em 5 grupos de 3 (ABC, DEF, GHI, JKL, MNO).

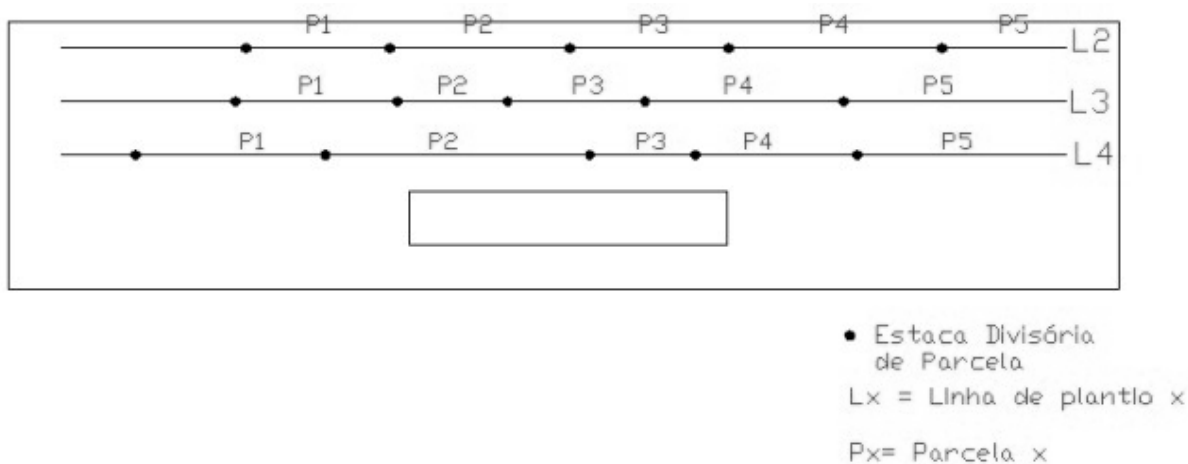


Figura 23. Disposição parcelas das linhas de caracterização da semeadora.

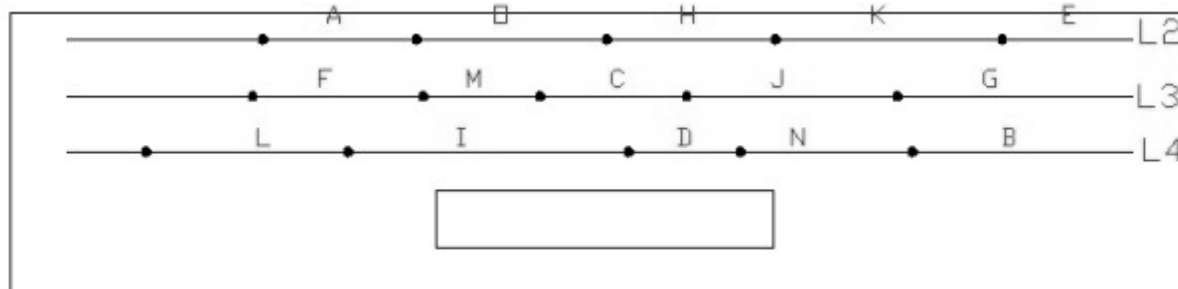


Figura 24. Delineamento experimental totalmente aleatório.

A semeadura foi realizada no dia 18 de maio de 2008 com soja cultivar BRS 232, índice de germinação de 80% e pureza de 99%, peneira 5,5mm, validade até janeiro de 2009. As sementes foram doadas pela Cooperativa Agrícola da Região de Orlândia (CAROL). A dosagem regulada para distribuição de sementes em pista foi de 15 sementes/metro, enquanto que para os testes em campo foi de 10 sementes/metro, a profundidade de semeadura foi regulada para 5 cm, e espaçamento de 0,5 m entre linhas.

A adubação foi feita segundo análise do solo realizada pela Cooperativa dos Plantadores de Cana da Região de Capivari (CANACAP). Foi diagnosticada a necessidade de 250 kg de fertilizantes por hectare. A formulação utilizada foi 05-20-10, segundo IAC (1997) e IAC (1998). Não foi aplicado calcário na área de caracterização porque não havia a necessidade de germinação das sementes nesta área. Já na área de emergência os dados de solo não indicaram a necessidade de calagem. Para manter a umidade do solo em nível ótimo para a germinação foram consideradas as condições de evapotranspiração no período do experimento o que prescreveu irrigação da área com uma lâmina de 9 mm a cada 2 dias, até o dia 29/05/2008. A irrigação foi realizada por um canhão hidráulico.

Tabela 4. Dados Climáticos no período do experimento, CEPAGRI/UNICAMP, posto metereológico da FEAGRI.

Data dia/mes	Precipitação (mm)	Temperatura		
		Máxima Diária (°C)	Mínima Diária (°C)	TMédia Diária (°C)
13/mai*	0,0	21,4	15,6	18,5
14/ mai*	0,0	24,2	16,8	20,5
15/ mai*	0,0	25,6	13,6	19,6
16/ mai*	0,0	26,2	14,2	20,2
17/ mai*	0,0	26,8	16,0	21,4
18/mai	0,0	28,8	16,4	22,6
19/mai	0,0	28,6	16,0	22,3
20/mai	0,0	28,0	13,0	20,5
21/mai	0,0	28,4	12,8	20,6
22/mai	0,0	27,8	13,6	20,7
23/mai	0,0	28,0	14,2	21,1
24/mai	0,0	27,6	14,0	20,8
25/mai	0,0	26,8	13,8	20,3
26/mai	0,0	27,4	11,6	19,5
27/mai	0,0	27,4	11,4	19,4
28/mai	0,0	29,4	12,4	20,9
29/mai	0,0	20,8	15,0	17,9
30/mai	4,8	16,2	15,8	16
31/mai**	1,5	17,2	12,8	15
Média	0,33	25,6	14,2	19,9

Obs: * Período anterior ao experimento; **Primeiro dia de emergência insignificante.

A coleta do solo para análise foi realizada antes da semeadura seguindo metodologia descrita por IAC (1997), sendo realizadas duas amostragens: uma para a área de emergência (amostra 2) e outra para área de caracterização da máquina (amostra 1).

Tabela 5. Resultados da análise do solo, sistema IAC, CANACAP.

Amostra	P	M.O.	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	Sat.	CTC	V	Calagem	S
	(mg/dm ³)	(g/dm ³)	(CaCl ₂)						Base		(%)	PRNT=66	(mg/dm ³)
									(mmolc/dm ³)			(ton/ha)	
1	24	30	4,9	2,4	24	7	46	2	33	79	42	2,1	23
2	23	29	4,8	4,7	26	16	46	2	47	93	51	0	19

METODOLOGIA DE OBTENÇÃO DOS DADOS

Avaliação em pista e em campo dos mecanismos de semeadura e adubação:

A metodologia utilizada para a avaliação dos mecanismos de semeadura e adubação foi descrita por Kurachi et al. (1996) e constitui-se no estudo de dois tiros de semeadura com aproximadamente 250 espaçamentos, onde foram coletados: os espaçamentos entre sementes, sementes quebradas, espaçamentos duplos e espaçamentos falhos. A metodologia para avaliação da adubadora seguiu o Projeto de Norma “Distribuição em linha de fertilizantes ou de corretivos-Ensaio de laboratório (ABNT, 1996), os ensaios foram realizados com nível do reservatório cheio (1/1) (50 kg). A velocidade de deslocamento adotada neste trabalho foi de 0,2 m/s, as posições do mecanismo foram: nivelado longitudinalmente e transversalmente. Em cada tiro de amostragem havia uma área de estabilização de distribuição de 3 metros no início do tiro. No tubo de saída da adubadora era preso um saco plástico para coletar todo o fertilizante distribuído, este saco era colocado com a máquina em movimento no momento que superasse a área de estabilização. Foram contabilizadas as revoluções da roda motora da adubadora, o tempo para completar o trajeto e obtida a tara dos sacos. Foram feitos 10 tiros de 20 metros onde era coletada a quantidade de adubo distribuído pelo mecanismo no circuito.

Nos ensaios em pista a máquina fez os tiros de semeadura sobre uma esteira formada por areia solta em pista de testes, os elementos ativos de preparo do sulco e de cobrimento da semente foram retirados, assim após a liberação das sementes pelo mecanismo as mesmas seguiam pelo tubo de condução de sementes e eram depositadas superficialmente sobre o leito de areia solta evitando que as sementes pulassem ou se distanciassem do local de queda.

Nos ensaios em campo era feita a semeadura normal com os elementos ativos atuando, e os espaçamentos entre sementes eram obtidos após cuidadosa operação de desenterramento das mesmas, o procedimento de desenterramento era realizado retirando-se camadas sucessivas de solo de 3 mm até se encontrar uma semente, após isto as sementes eram isoladas do solo individualmente.

Densidade e teor de água no solo:

A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico com coleta na superfície do solo, exatamente no centro da faixa preparada. A metodologia de coleta foi descrita por Kiehl (1979), o anel utilizado possuía volume de 98,5 cm³. Foram obtidas amostras do solo antes da operação da ferramenta e após a operação da ferramenta (região central da faixa de preparada). As amostras foram secas em estufa a 105 °C e pesadas, depois calculada a densidade aparente através da fórmula abaixo .

$$\gamma = \frac{Ms}{V} \quad \text{Equação 1}$$

Onde: Ms é a massa seca da amostra de solo coletada com o anel volumétrico, g;

V é o volume do anel volumétrico, cm³;

γ é a densidade aparente, g/cm³.

Para a determinação do teor de água no solo foi seguida a metodologia descrita por Hillel (1980), através do método gravimétrico padrão que consiste na medida do peso da amostra de solo ainda úmido, esta amostra é colocada para secar em uma estufa a 105 °C por 24 horas, depois deste tempo se pesa novamente a amostra, a diferença é a quantidade de água presente na amostra, a fórmula de cálculo é apresentada.

$$U = \frac{(mu - ms)}{ms} \quad \text{Equação 2}$$

Onde: U é a proporção de água presente na amostra, relativa a massa seca do solo, %;
mu é a massa úmida da amostra de solo, g;
ms é a massa seca da amostra de solo, g.

Caracterização da faixa de plantio:

A caracterização da faixa de plantio foi realizada segundo metodologia descrita por Albiero (2006) com auxílio de uma trena e uma régua, onde foram determinadas as seguintes dimensões: argura inferior (LI) da faixa de semeadura (faixa bem preparada); argura superior (LS) da faixa de semeadura (faixa bem preparada); profundidade efetiva (P) da faixa de semeadura (faixa bem preparada); largura da região de fissuras (LF) da faixa de semeadura (faixa escarificada).

Estabilidade dos agregados do solo:

A análise do parâmetro estabilidade de agregados foi obtida pelo método de peneiramento via úmida e foi feita a partir da retirada de amostras a profundidades variando de 0 a 100 mm, antes e depois da operação do “paraplow” rotativo.

Segundo Kiehl (1979) esta metodologia se baseia no peneiramento dos agregados do solo em um jogo de peneiras com aberturas decrescentes debaixo da água. A avaliação da estabilidade dos agregados foi feita através do diâmetro médio ponderado (DMP) pelo método de cálculo da porcentagem de agregados via úmida. Este método é usado no Laboratório de Solos da FEAGRI/UNICAMP e determina o percentual de agregados retidos em peneiras de malhas de 2,0 mm; 1,0 mm; 0,5 mm; 0,25 mm e 0,125 mm, após terem passadas por malhas de 6,35 mm e 2,0 mm.

Segundo Kiehl (1979) a equação utilizada para o cálculo do DMP é a seguinte:

$$DMP = \sum (C_n * P) \quad \textbf{Equação 3}$$

Onde: C_n é o centro de classe da peneira;

P é a proporção do peso de cada fração de agregados em relação a amostra.

Dados de resistência mecânica à penetração (Índice de cone):

A coleta dos dados da resistência mecânica à penetração foi realizada por um penetrômetro analógico desenvolvido pela FEAGRI/UNICAMP, baseado na Norma ASAE S-313 (ASAE, 1997) com ponteira tipo B, as coletas foram feitas à profundidade de 0 – 200 mm, registrando o índice de cone através do valor máximo marcado no relógio comparador. A coleta de dados foi realizada segundo metodologia descrita por Silva (2002) após a área ter sido demarcada com estacas e se realizou antes da operação (ICA - índice de cone antes da operação); depois da operação sem a utilização da roda compactadora (ICDSR) e depois da operação com roda compactadora (ICDCR), estas medidas foram realizadas no centro da linha de semeadura.

Desempenho operacional e capacidade de campo:

O desempenho operacional e a capacidade de campo efetiva foram encontrados através da metodologia descrita pela Norma ASAE EP496.2 (ASAE, 1997). A eficiência de campo é a razão entre a produtividade da máquina em função das condições reais do campo e a máxima produtividade teórica. Em linhas gerais se refere à perda de tempo para se atingir a produtividade teórica. Suas principais componentes se referem aos tempos de: manobra, manuseio de material (fertilizantes, óleo lubrificante, combustível, sementes, etc.), manutenção e regulagens da máquina. A capacidade de campo teórica é dada pela seguinte fórmula:

$$C = \frac{v \cdot w}{10} \quad \textbf{Equação 4}$$

Onde: v é a velocidade de operação (km/h);

w é a largura de trabalho (m);

C é a capacidade de campo teórica, ha/h.

Segundo Srivastava et al. (2006) a eficiência de campo é dada pela seguinte fórmula:

$$\eta_f = \frac{\tau_t}{\tau_m + \tau_r + \tau_{mn} + \tau_{mm}} \quad \textbf{Equação 5}$$

Onde: τ_t é o tempo teórico para a operação ($\tau_t=A/C$), onde A (ha) é a área a ser trabalhada e C é a capacidade de campo teórica (ha/h)

τ_{mn} é o tempo relativo a manutenção (h);

τ_{mm} é o tempo relativo ao manuseio de materiais (h);

τ_m é o tempo relativo à manobras (h);

τ_r é o tempo relativo a regulagens (h);

A Norma ASAE EP496.2 (ASAE, 1997) define a Capacidade de campo efetiva de uma máquina agrícola como:

$$Ce = \frac{v.w.\eta_f}{10} \quad \textbf{Equação 6}$$

Onde: Ce é a capacidade de campo efetiva (ha/h).

Avaliação de embuchamentos, aterramento de sulco, selamento superficial, número de sementes expostas:

Foi utilizada a metodologia para avaliação de embuchamento, aterramento do sulco, selamento superficial, número de sementes expostas descrita por Casão Jr. e Siqueira (2003). O embuchamento foi avaliado visualmente, através da constatação se ocorria o acúmulo de resíduos vegetais nos elementos ativos da semeadora (paraplow rotativo, sulcador de sementes, discos estabilizadores, discos cobridores e roda compactadora). Baseado nestes elementos é avaliado o grau de deterioração das operações unitárias (elementos individuais) assim como do conjunto. A classificação adotada por Casão Jr. e Siqueira (2003) foi: Bom, não houve embuchamento; Regular, houve embuchamento sem interromper o funcionamento dos elementos ativos; ruim, embuchamento ocasionou a parada da máquina.

O aterramento de sulcos se baseou na avaliação da atividade dos discos cobridores em trazer o solo retirado pelo sulcador de sementes sobre as sementes e o sulco. Casão Jr. e Siqueira (2003) determinaram a seguinte classificação: Bom: quando mais de 90% da área da parcela apresenta sulcos totalmente recobertos; Regular: quando entre 70 e 90% da parcela apresenta sulcos totalmente recobertos; Ruim: quando menos de 70% da parcela apresenta sulcos totalmente recobertos.

Segundo Schaefer et al. (2002) o solo cultivado exposto às chuvas recebe a maior parte da energia cinética da precipitação, que quebra os agregados. Com a destruição destes agregados as partículas menores em suspensão penetram e obstruem os poros do solo, o que diminui a permeabilidade e forma o selamento superficial influenciando a infiltração de água no solo. Este fenômeno é decorrente da formação de uma camada superficial de maior densidade devido ao entupimento dos poros do solo superficial. A avaliação deste fenômeno ocorre de forma visual com a análise da faixa de semeadura, ao se determinar se esta apresenta uma crosta superficial. Estas avaliações foram realizadas tanto após a operação da máquina, vislumbrando a ação da roda compactadora sobre o solo trabalhado pelo “paraplow” rotativo como em relação ao selamento superficial decorrente das constantes irrigações. Casão Jr. e Siqueira (2003) determinaram a seguinte classificação: Bom: quando mais de 90% da área da parcela não apresenta selamento superficial; Regular: quando entre 70 e 90% da parcela não apresenta sulcos com selamento superficial nos sulcos; Ruim: quando menos de 70% da parcela não apresenta sulcos com selamento superficial.

As sementes expostas foram avaliadas através de análise visual do sulco de semeadura com a observação de: sementes não aterradas, sementes na parte superior do sulco e sementes na parte lateral do sulco. Casão Jr. e Siqueira (2003) determinaram a seguinte classificação: Bom: menos de 1% de sementes expostas; Regular: mais que 1% e menos de 2% de sementes expostas, e Ruim: mais de 2% de sementes expostas.

Avaliação de cobertura de palha sobre o solo:

A metodologia para avaliação da cobertura de palha foi descrita por Sugisawa (2004) e Cortez (2007) e foi utilizado o índice de permanência de palha sobre o solo (IPS), onde é avaliada a relação entre a palha existente sobre o solo antes e depois da operação. O método de

avaliação consiste na utilização de uma corda, cujo comprimento tem 20 nós espaçados de um metro. Antes e após a passagem da máquina a corda era estendida em 20 faixas aleatórias distintas e cada nó era considerado um ponto de avaliação, onde era analisado a existência ou não de palha embaixo do nó. Segundo Cortez (2007) o índice de permanência de palha sobre o solo após a semeadura é determinado pela equação seguinte:

$$IPS = \frac{CP}{CA} \cdot 100 \quad \textbf{Equação 7}$$

Onde: *IPS*: índice de permanência de palha no solo (%);

CP: Cobertura pós-semeadura, (%);

CA: Cobertura antes da semeadura, (%).

Avaliação de sementes encestadas e espelhamento do sulco:

A metodologia para avaliar o espelhamento da parede do sulco e encestamento de sementes foi descrita por Suguisawa (2004). O espelhamento do sulco é uma compactação da parede do sulco devido à ação dinâmica dos elementos ativos de ataque do solo. Este espelhamento ocorre devido as componentes das forças aplicadas ao solo durante a operação de corte, afastamento, e deslizamento ocasionados pela ferramenta. Estas ações causam um adensamento da parede do sulco o que dificulta a penetração das raízes das sementes diminuindo a taxa de emergência. Já o “encestamento” de sementes ocorre devido ao acúmulo de palha dentro do sulco de semeadura, instantes antes da semente ser depositada o que ocasiona o isolamento da semente, o que impede o contato da semente com o solo o que não permite a germinação da mesma.

Segundo Suguisawa (2004) a avaliação do espelhamento do sulco segue critérios visuais com a observação de áreas na parede do sulco, onde o solo reflete a luz de forma não comum, ou seja, com uniformidade. Este fato se expressa através de uma superfície lisa e polida semelhante a um espelho opaco. Foram avaliados 15 pontos distintos nas faixas de semeadura, onde era retirado o solo trabalhado pelo “paraplow” rotativo e avaliada a existência de espelhamento. Em relação às sementes encestadas foram avaliados 10 pontos

distintos nas faixas de semeadura, onde era retirado o solo de uma faixa de 1 metro e avaliada a existência de encestamento.

Avaliação da emergência de plântulas:

As metodologias de emergência foram seguidas dos seguintes autores: emergência total (CASÃO Jr. et al., 2000), índice de velocidade de emergência (MODOLO, 2007) e número médio de dias para emergência (SILVA, 2002; AREND, 2005).

Para obtenção da emergência total de plântulas foram consideradas 10 linhas de semeadura com comprimento de 30 m e espaçamento de 100 mm entre sementes, portanto obteve-se um total de 3000 sementes por linha. A partir do dia da semeadura foram feitas contagens de quantas plântulas emergiram. Estas contagens foram realizadas diariamente sempre no mesmo horário até o momento em que foram realizadas 3 contagens consecutivas com mesmo número de plântulas. O critério para se considerar plântula emergida é definido por Silva (2002) que o define como o momento a partir do qual a plântula rompeu o solo e pôde ser vista a olho nu de qualquer ângulo.

Segundo Modolo (2007) o índice de velocidade de emergência é obtido através das contagens para determinação da emergência total das linhas de semeadura com comprimento de 10 metros, através da equação seguinte:

$$IVE = \sum_1^n \frac{E_i}{N_i} \quad \text{Equação 8}$$

Onde: i é o número de contagens;

n é a última contagem;

E é o número de plântulas emergidas na contagem i;

N é o número de dias da semeadura até a contagem i;

IVE é o índice de velocidade de emergência das plântulas, sementes/dia.

Como foram realizados experimentos com linhas de semeadura de 30 metros para efeito de comparação com os dados de Modolo (2007) o valor do IVE calculado foi dividido por 3.

Segundo Silva (2002) e Arend (2005) o número médio de dias para emergência de plântulas é obtido através da seguinte fórmula:

$$M = \frac{\sum_{i=1}^n N_i \cdot G_i}{\sum_{i=1}^n G_i} \quad \text{Equação 9}$$

Onde: i é o número de contagens;

n é a última contagem;

G é o número de plântulas emergidas na contagem i;

N é o número de dias decorridos da semeadura até a contagem i;

M é o número médio de dias para emergência, dias.

3.3 METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DE QUALIDADE

O controle estatístico do processo (CEP) será baseado nos gráficos de controle, nos números índices Cp, Cpk em casos de distribuições de dados normais. Quando os dados não possuem padrão normal foram utilizados o gráfico de média móvel exponencialmente ponderada e o número índice Cpc.

Segundo Hines et al. (2006) os gráficos de controle possuem limites que são dados pelas seguintes fórmulas:

$$LSC = \mu + L \cdot \sigma \quad \text{Equação 10}$$

$$LIC = \mu - L \cdot \sigma \quad \text{Equação 11}$$

Onde: μ é a média do processo, também chamada de linha central;

L é a distância entre a linha central e o limite especificado, foi considerado considerado L=3;

σ é o desvio padrão da amostra.

Segundo Kotz & Johnson (1993) uma medida indireta da capacidade de um processo é dada pela seguinte relação:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6.\sigma} \quad \text{Equação 12}$$

Onde: C_p é o índice da capacidade do processo;

LSE é o limite superior de especificação;

LIE é o limite inferior de especificação;

σ é o desvio padrão.

A capacidade efetiva do processo (C_{pk}) leva em conta o posicionamento, dada a média em relação às especificações e segue a fórmula:

$$C_{pk} = \min(C_{ps}, C_{pi}) \quad \text{Equação 13}$$

$$\text{Onde: } C_{ps} = \frac{LSE - \mu}{3.\sigma};$$

$$C_{pi} = \frac{\mu - LIE}{3.\sigma};$$

μ é a média do processo.

O índice de capacidade de confiança C_{pc} é definido por LUCENO (1996) como:

$$C_{pc} = \frac{LSE - LIE}{6.(\sqrt{\frac{\pi}{2}}).E|X - T|} \quad \text{Equação 14}$$

Onde: C_{pc} é o índice de capacidade de confiança;

T é o valor alvo: $T = (LSE + LIE)/2$;

$E|X - T|$ é a esperança da distribuição X, estimada por: $c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |X_i - T|$;

Segundo Montgomery (2004) a Média Móvel Exponencialmente Ponderada (MMEP) é definida como:

$$z_i = \lambda \cdot \sum_{j=0}^{i-1} (1-\lambda) \cdot x_{i-j} + (1-\lambda)^i \cdot z_0 \quad \text{Equação 15}$$

Onde: z_i é o valor da média móvel ponderada;

z_0 é a média alvo do processo;

x_i é o valor da característica medida;

λ é o peso considerado para a média, se refere a sensibilidade em captar pequenas mudanças na média.

Os limites de controle do gráfico MMEP são dados pelas seguintes equações:

$$LSC = \mu + L \cdot \sigma \cdot \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)} \cdot [1 - (1-\lambda)^{2i}]} \quad \text{Equação 16}$$

$$LIC = \mu - L \cdot \sigma \cdot \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)} \cdot [1 - (1-\lambda)^{2i}]} \quad \text{Equação 17}$$

Onde: μ é a média do processo;

L é a largura da faixa entre a média e o limite;

σ é o desvio padrão da amostra.

Segundo Campos (2007) possíveis classificações de processos através dos índices C_p , C_{pk} e C_{pc} são apresentadas nas Tabela 6 e Tabela 7.

Tabela 6. Classificação de processo pelo índice C_p (CAMPOS, 2007).

Valor C_p	Classificação do Processo
$\geq 1,33$	Adequado
1,00 e 1,32	Parcialmente Adequado
$< 1,00$	Inadequado

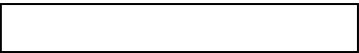



Tabela 7. Classificação de processos pelo índice Cpk (CAMPOS, 2007).

Valor Cpk	Cor	Classificação do processo
$\geq 1,33$	Verde	Capaz
1,00 e 1,32	Amarelo	Parcialmente capaz
$<1,00$	Vermelho	Incapaz

FMEA:

Em relação ao FMEA logo após se definir o escopo da análise deve-se preparar o fluxograma do processo, segundo Back (1983) quando um projeto é iniciado e desenvolvido, este se desdobra em uma seqüência de eventos cronológicos que formam um modelo. Cada um destes eventos pode ser dividido em fases, assim esta seqüência de eventos pode ser arranjada em um fluxograma que tem suas fases convencionadas pelos seguintes gráficos, na Tabela 8 (Back, 1983):

Tabela 8. Convenções de fases no processo de projetar (BACK, 1983).

Fase do evento	Representação Gráfica	Descrição
Processo		Processo ou operação executada
Resultado		Dados de saída do processo
Avaliação		Comparação de dados e tomada de decisão
Dados		Informações ou dados de qualquer natureza

Para a estruturação do FMEA foi adotado um formulário adaptado de QAI (2009), apresentado nas Tabelas seguintes.

Tabela 9. Cabeçalho do formulário FMEA.

1	2	3	4	5	6	7	8
Sub-Processo	Funções	Elementos	Requisitos	Modo	Efeito da	Severidade	Classe
		Principais	Exigidos	potencial	falha		
		atuantes		de falha	potencial		

Tabela 10. Continuação do formulário FMEA.

9	10	11	12	13	14	15	16
Causa	Ocorrência	Controle	Controle	Deteção	R.P.N.	Ações	Observações
potencial		preventivo	corretivo			recomendadas	
		atual	atual				

Na existem dezesseis colunas numeradas de 1 a 16. Cada coluna determina um tipo de informação estruturada que possibilita a análise cada falha potencial, através da visualização global das causas (9), efeitos (6) e modo das falhas (5). Isto permite o estabelecimento da quantificação dos índices de severidade (7), grau de ocorrência (10) e nível de detecção (13), estes possibilitam o cálculo do Número Prioritário de Risco (NPR) (14), através da equação seguinte.

$$\text{NPR} = \text{Sv} \times \text{Oc} \times \text{Dt} \quad \text{Equação 18}$$

Onde: Sv é a severidade da falha;

Oc é a ocorrência da falha;

Dt é a detecção da falha;

NPR é o número prioritário de risco.

Ao se considerar o FMEA como referente ao processo de semeadura através da NSMC foram definidos vários sub-processos (1) e suas respectivas funções (2), assim como os elementos principais atuantes neste sub-processo (3). Para melhor entendimento do sub-processo foram definidos os requisitos exigidos (4) para tal operação (sub-processo). Em

função da severidade da falha analisada é definida a classe (8) a que pertence (característica significativa, característica não significativa ou característica crítica). Para facilitar a definição de um plano de melhorias existem duas colunas relativas aos controles atuais (11 e 12) (preventivo e corretivo) existentes neste sub-processo. As ações recomendadas para se evitar ou minimizar as falhas são elencadas na coluna (15), assim como observações (16) relativas ao grau de prioridade da falha. As classificações de critérios de riscos são apresentada na Tabela 11 e Tabela 12 extraídas de Toledo e Amaral (2008), e Tabela 13 extraída de Elsmar (2009).

Tabela 11. Grau de severidade da falha (TOLEDO & AMARAL, 2008).

Índice	Severidade	Critério
1	Mínima	O cliente mal percebe que a falha ocorreu
2	Pequena	Ligeira deterioração no desempenho com leve descontentamento do cliente
3		
4	Moderada	Deterioração significativa no desempenho de um sistema com descontentamento do cliente
5		
6		
7	Alta	Sistema deixa de funcionar e grande descontentamento do cliente
8		
9	Muito Alta	Idem ao anterior porém afeta a segurança
10		

Tabela 12. Capacidade de detecção da falha (TOLEDO & AMARAL, 2008).

Índice	Deteccão	Critério
1	Muito	Certamente será detectado
2	Grande	Grande probabilidade de ser detectado
3		
4	Moderada	Provavelmente será detectado
5		
6		
7	Pequena	Provavelmente não será detectado
8		
9	Muito	Certamente não será detectado
10	Pequena	

A classificação de ocorrência adotada é apresentada por ELSMAR (2009) na Tabela 13.

Tabela 13. Classificação de ocorrência (ELSMAR, 2009).

Ocorrência	Taxas de falhas possíveis	Cpk	Ranking
Muito alta: falha é quase inevitável	≥ 1 em 2	$<0,33$	10
	1 em 3	$\geq 0,33$	9
Alta: falhas repetitivas	1 em 8	$\geq 0,51$	8
	1 em 20	$\geq 0,67$	7
Moderada: falhas ocasionais	1 em 80	$\geq 0,83$	6
	1 em 400	$\geq 1,00$	5
	1 em 2.000	$\geq 1,17$	4
Baixa: relativamente poucas falhas	1 em 15.000	$\geq 1,33$	3
	1 em 150.000	$\geq 1,50$	2
Remota: falhas são raras	≤ 1 em 1.500.000	$\geq 1,67$	1

Considerando o escore máximo de 10 pontos segundo Toledo e Amaral (2008), tem-se a seguinte classificação:

01 – 207 – Pouquíssima Prioridade (PP)

208 – 407 – Baixa Prioridade (BP)

408 – 607 – Média Prioridade (MP)

608 – 807 – Alta Prioridade (AP)

808 – 1000 – Total Prioridade (TP)

Neste trabalho cada item de pontuação (severidade, ocorrência e detecção) teve escore variando de 1 a 10, portanto foi adotada a classificação de Toledo e Amaral (2008). A escolha dos índices em função das tabelas apresentadas foi baseada na opinião da equipe de especialistas, alunos e convidados escalada para a realização do FMEA. Após uma breve descrição de cada item de avaliação e suas funções, eram elencadas por todas as possíveis falhas, assim como as causas, severidades, ocorrências e detecção das mesmas. Os escores eram dados em função de pontuações individuais dadas por cada membro da equipe, estes

escores eram transcritos em uma planilha, então era discutido o escore global dado pela equipe, sendo exigido unanimidade entre todos da equipe para ser dado o escore final.

A equipe FMEA deste trabalho foi constituída pelos seguintes membros apresentados na Tabela 14.

Tabela 14. Equipe multidisciplinar para elaboração do FMEA da NSMC.

Nome	Formação	Especialidade	Vínculo ao Projeto
Daniel Albiero	M.Sc. Eng. Agrícola	Engenheiro de Desenvolvimento	Coordenador (aluno de doutorado)
Antonio José da Silva Maciel	D. Sc. Eng. Agrícola	Doutor em Avaliação de Máquinas Agrícolas	Coordenador (orientador de doutorado)
Vitor Batisti Wanderlei	Eng. Elétrico	Engenheiro de Qualidade	Convidado
Paulo Krejci Nunes	Técnico em mecânica	Projetos agrícolas	Aluno de iniciação científica
Guilherme Itamaranqui Penellupi Magalhães	Técnico em mecânica	Projetos agrícolas	Aluno de iniciação científica
Gustavo Nery Dutra de Castro	Técnico em química	Gestão e manutenção de máquinas agrícolas	Aluno de iniciação científica
Renan Damir Tunussi	Técnico em mecânica	Avaliação de máquinas agrícolas	Aluno de iniciação científica
Otto Wolf Maciel	Médico	-	Convidado

3.4 METODOLOGIAS ESTATÍSTICAS

Neste trabalho os dados foram tratados e avaliados pela Estatística descritiva clássica (Média aritmética, Desvio padrão, Coeficiente de variação, Amplitude, Máximo, Mínimo, Simetria, Curtose). Como testes de normalidade para as distribuições de medidas nas variáveis

dos tratamentos foram considerados na seguinte ordem crescente de sensibilidade: 1- histogramas de frequência; 2- testes de Curtose e Simetria; 3- gráficos de probabilidade normal; e 4- teste de Anderson-Darling.

Segundo Montgomery (2004) os histogramas de frequências são resumos de dados estruturados que possibilita a visualização das distribuições de frequências dos dados, eles fornecem informações sobre a forma, localização, e variabilidade dos dados o que possibilita a determinação do centro e dispersão dos dados.

Os gráficos de probabilidade normal segundo Barros Neto et al. (2003) se baseiam na noção de probabilidade cumulativa que representa a probabilidade de que o valor observado para a variável aleatória seja no máximo igual ao valor definido pelo ponto, aumentando continuamente à medida que a variável se desloca, tendendo a 1. A curva que representa é monotonicamente crescente em forma de S^3 , que vai de 0 a 1, podendo ser transformada em uma reta por meio de transformação da escala do eixo das ordenadas. Se os pontos da distribuição estiverem fora da reta, conclui-se que as suposições estão erradas tais como: amostra respeitando a distribuição normal ou fatores e interações que não pertençam à mesma população homogênea, portanto efeitos significativos. Segundo Barros Neto et al. (2003) o efeito somente é significativo a 95% de confiança se seu valor ultrapassar a seguinte relação: $Efeito > t_4 * \text{desvio padrão do efeito}$, sendo t_4 o valor da distribuição t de Student para quatro graus de liberdade, 2,776.

Segundo Snedecor e Cochran (1989) a propriedade da simetria de uma distribuição normal é também conhecida como terceiro momento sobre a média definida a seguir.

$$m_3 = \frac{\sum (X - \mu)^3}{n}$$

Equação 19

Onde: m_3 é o terceiro momento da média;

X é o valor individual de cada variável;

μ é a média amostral;

n é o número de indivíduos da amostra.

Verifica-se que o termo independente da função do terceiro momento da média é uma função cúbica que tem um comportamento assintótico em relação à média. Portanto valores positivos representam concentração de valores à jusante da média, enquanto valores negativos representam concentração de valores à montante da média. Assim Snedecor e Cochran (1989) definem o coeficiente de simetria abaixo .

$$g = \frac{m_3}{m_2 * \sqrt{m_2}} \quad \text{Equação 20}$$

Onde: g coeficiente de simetria da distribuição (adimensional);

m_3 é o terceiro momento da média;

m_2 é o segundo momento da média.

De forma geral valores do coeficiente de simetria maiores que 2, e menores que -2, representam grande desvio da distribuição normal, portanto deve-se desconsiderar a hipótese de normalidade (Montgomery, 1991).

Segundo Snedecor e Cochran (1989) a propriedade da curtose de uma distribuição normal é também conhecida como quarto momento sobre a média definida a seguir.

$$m_4 = \frac{\sum (X - \mu)^4}{n} \quad \text{Equação 21}$$

Onde: m_4 é o quarto momento da média;

X é o valor individual de cada variável;

μ é a média amostral;

n é o número de indivíduos da amostra.

Valores positivos representam distribuições concentradas em torno da média, enquanto valores negativos representam distribuições achatadas em relação à média. Assim Snedecor e Cochran (1989) definem o coeficiente de curtose a seguir:

$$k = \left(\frac{m_4 / \sigma}{m_2^2} \right) - 3$$

Equação 22

Onde: k é o coeficiente de curtose da distribuição (adimensional);

m_4 é o quarto momento da média;

m_2 é o segundo momento da média;

σ é o desvio padrão amostral.

Usualmente toda distribuição normal tem valor da razão $m_4/\sigma/m_2^2$ igual a 3 o que perfaz um coeficiente de curtose igual a 0, portanto geralmente coeficientes de curtose com valores maiores que 2 e menores que -2, representam grande desvio da distribuição normal, portanto deve-se desconsiderar a hipótese de normalidade (Montgomery, 1991).

Uma medida que detecta desvios da distribuição normal é o método Anderson-Darling, Snedecor e Cochran (1989) define-a como:

$$AD^2 = -n - n^{-1} \cdot \sum_{i=1}^n (2i-1) \cdot [\ln(P_i) + \ln(1 - P_{n+1-i})]$$

Equação 23

Onde: P é a probabilidade que uma variável normal padronizada seja menor do que $(X_i - \mu)/\sigma$;

n é o número de amostras;

μ é a média da amostra;

σ é o desvio padrão da amostra;

Grandes valores de AD^2 indicam que a distribuição da amostra é diferente de uma população normal. O valor p, probabilidade de se aceitar uma hipótese nula, da estatística AD é dado por Cochran e Cox (1957) pela seguinte fórmula:

$$p = 1 - (1 - \alpha)^n$$

Equação 24

Onde: α é o nível de significância;

n é o número de amostras.

Se o valor p para o teste Anderson-Darling for menor do que o nível de significância, conclui-se que os dados não seguem uma distribuição normal.

4- RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos dos experimentos foram agrupados em 5 categorias: 1- Avaliações finais da interface Semeadora/Adubadora (testes em pista); 2- Caracterização geral da semeadora (testes em condições reais); 3- Avaliação da emergência de sementes (testes em condições reais e operacionais); 4- Avaliação da qualidade das operações (em pista e em condições operacionais); e 5- Análise do modo de falha e seus efeitos (FMEA).

4.1 AVALIAÇÕES DA SEMEADORA E ADUBADORA

Os testes do distribuidor de sementes, do distribuidor de fertilizantes e da NSMC foram realizados em pista de grama. A avaliação da semeadora foi baseada na transmissão entre a engrenagem da roda motora X e a engrenagem da semeadora L. Este conjunto fornece uma relação de transmissão de 0,61, o que significa que para cada revolução da roda motora tem-se 1,63 revoluções do eixo da semeadora, as diversas dosagens de semente são reguladas por discos com várias furações. Neste experimento foi adotado um disco de sementes de 15 furos o que possibilita um espaçamento entre sementes de 6,66 cm. A avaliação da adubadora foi baseada na relação de transmissão entre a adubadora e a engrenagem motora Y que é acoplada a semeadora e a engrenagem Z do câmbio de engrenagens para regulação da taxa de distribuição de adubo, esta combinação fornece uma relação de transmissão de valor $i=0,252$ que em conjunto com a relação das engrenagens X/L tem-se uma relação final de $i=0,154$ ou seja a cada rotação da roda motora tem-se 6,48 revoluções do eixo da adubadora, número de rotações ideais para a obtenção da taxa de aplicação de adubo necessária para este experimento. Em função do percurso de tiro de 20 metros foi obtido os seguintes dados:

MECANISMO DISTRIBUIDOR DE FERTILIZANTES

Os dados obtidos dos ensaios em pista da distribuição de fertilizantes pelo mecanismo de rosca espiral cônica são apresentados no Anexo 8.2.

Tabela 15. Sumário Estatístico da distribuição de fertilizantes.

	Taxa de aplicação (kg/ha)
Observações	10
Média	249,6
Variância	107,6
Desvio Padrão	10,06
Coeficiente de Variação	4,1%
Máximo	262,3
Mínimo	239,3
Amplitude	30
Simetria	-0,222215
Curtose	-0,711741

Considerando uma média de 249,6 g/20metros tem-se uma distribuição de 12,5 g/m o que corresponde uma taxa de 250 kg/ha, taxa solicitada pela cultura em função do espaçamento definido de 0,5 m entre linhas. O desvio padrão de 10,06 g/20metros, fornece um coeficiente de variação de 4,1%, valor considerado ótimo pelos estudos de Camacho Tamayo (2006) que encontrou na melhor situação e no melhor mecanismo, coeficiente de variação da ordem de 29% que concorda com Suguisawa (2004) que encontrou coeficiente de variação de 27,6%.

São apresentados os testes de normalidade da distribuição de fertilizantes na Figura 25 e na Figura 26.

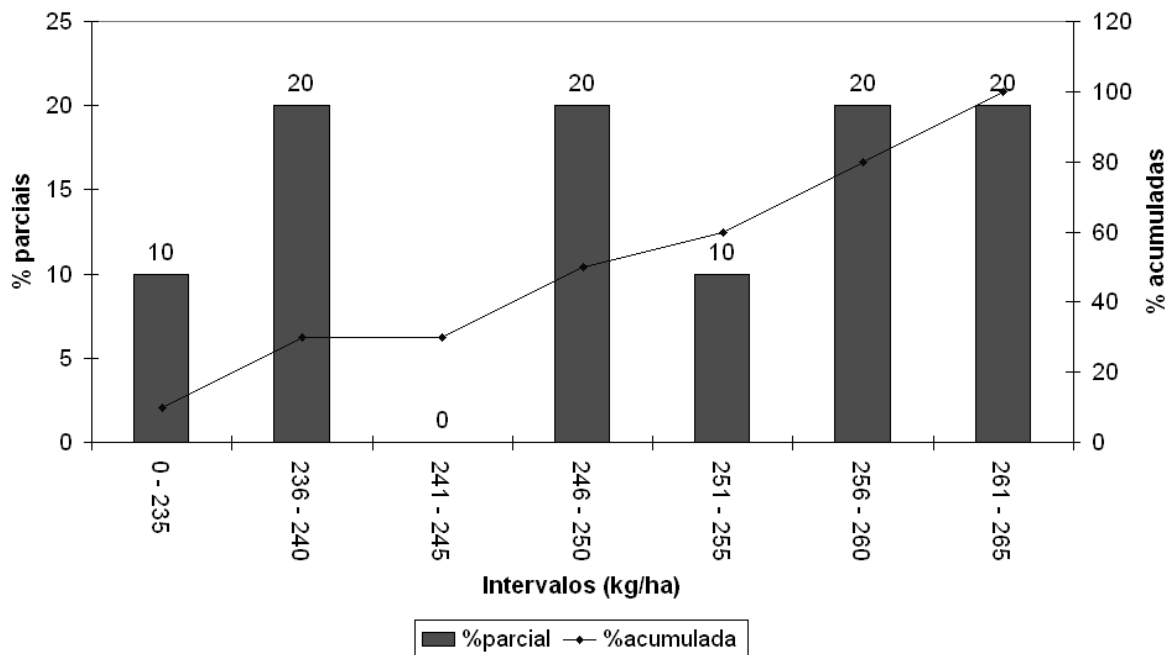


Figura 25. Histograma da Taxa de distribuição de Fertilizantes.

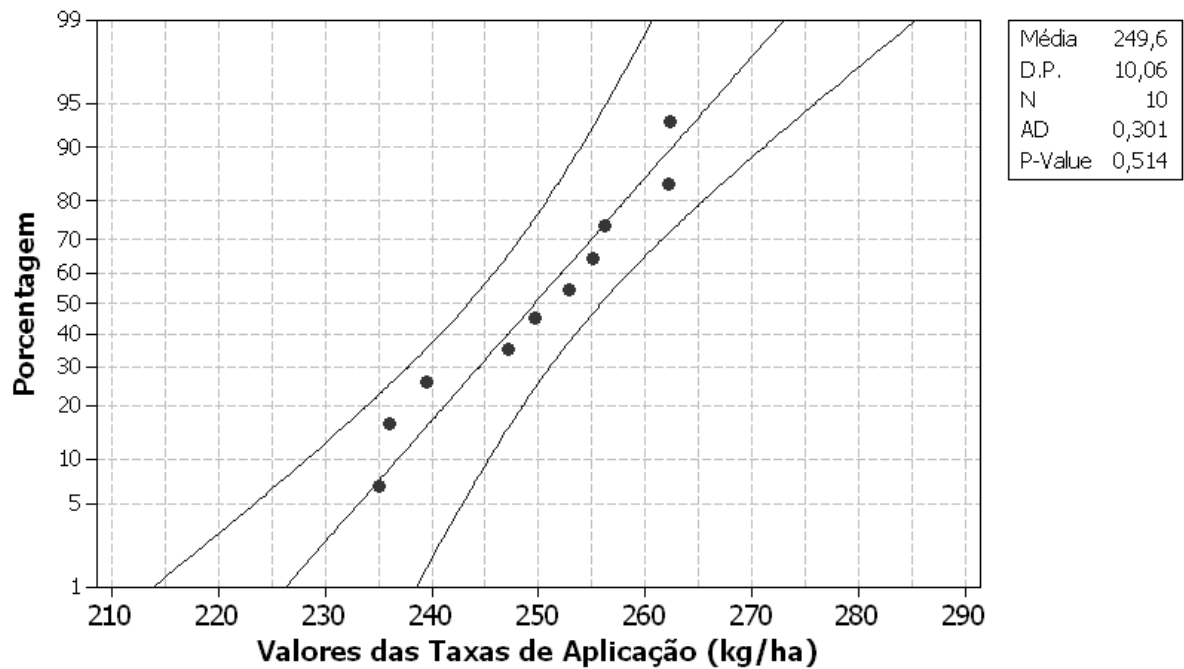


Figura 26. Gráfico de Probabilidade Normal da Taxa de distribuição de Fertilizante, intervalo de confiança de 95%.

Os dados obtidos nos testes respeitam uma distribuição normal, pois nos diversos testes de normalidade adotados estes se comportaram normalmente. Nos testes de curtose e simetria tem-se valores entre 2 e -2; na Figura 25 o histograma de frequências apresenta uma distribuição acumulada condizente com distribuições normais; no gráfico de probabilidade normal da Figura 26 os pontos encontram-se dentro dos intervalos de confiança de 95% e têm comportamento aproximadamente linear; o teste Anderson-Darling tem valor pequeno e próximo a zero, assim como o valor p é maior do que a significância de 5% (0,05), portanto não é aceita a hipótese nula de normalidade. Assim o desvio padrão é uma medida de adequado alcance estatístico para este conjunto de dados o que valida o gráfico de controle e a análise de capacidade do processo, através dos índices Cp e Cpk, como ferramentas adequadas para estudo deste processo.

O gráfico de controle da taxa de distribuição de fertilizantes é apresentado na Figura 27.

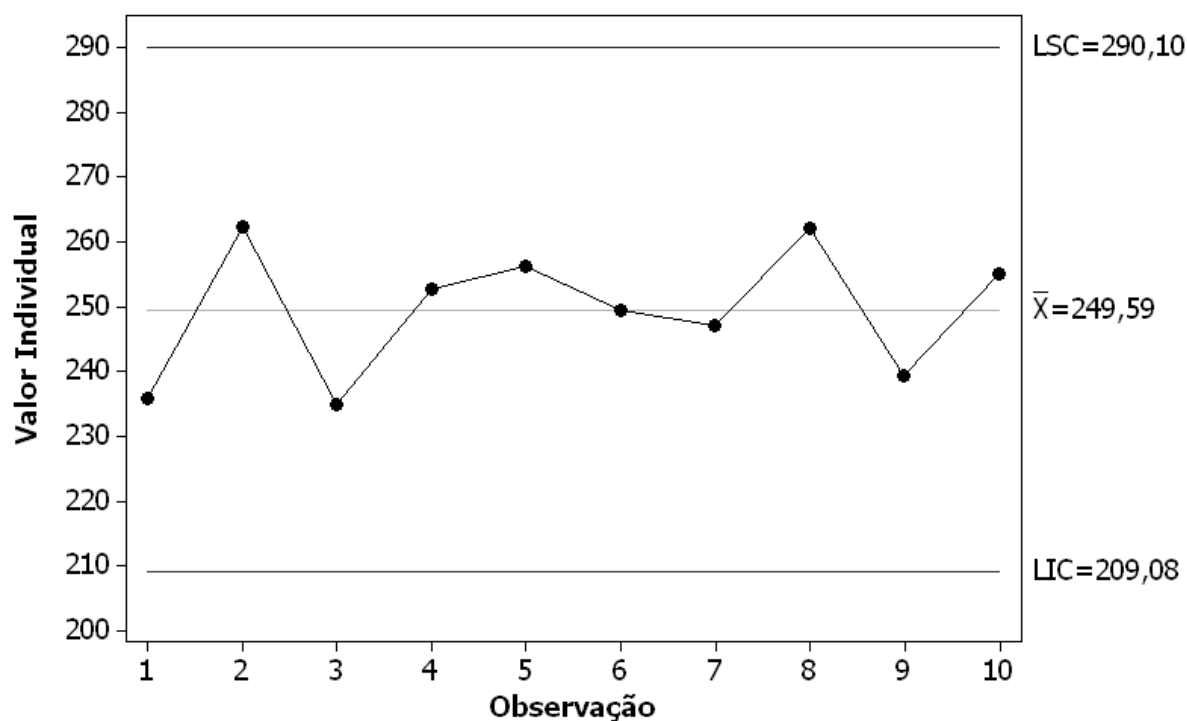


Figura 27. Gráfico de controle da taxa de aplicação de fertilizantes.

Pelo gráfico de controle apresentado na Figura 27 verifica-se que a aplicação de fertilizantes pelo mecanismo distribuidor de anel helicoidal cônico é estável e tem pouca variabilidade o que prefigura uma distribuição de fertilizantes homogênea na área. Segundo Portela (2001) isto possibilita uma adequada disponibilização de nutrientes para a cultura.

A análise da capacidade do processo de distribuição de fertilizantes é apresentada na Figura 28.

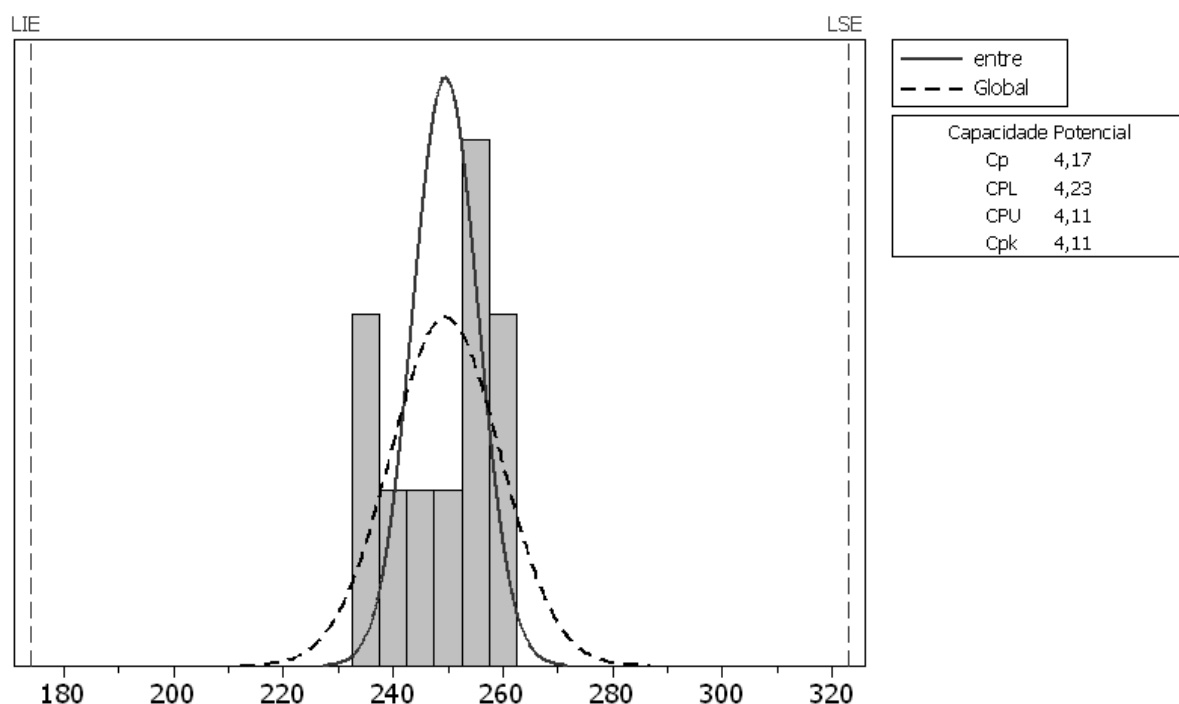


Figura 28. Análise da capacidade do processo de distribuição de fertilizantes.

Em função dos limites de especificação determinados por Camacho Tamayo (2006): Limite Superior de Especificação (LSE): 322 kg/ha e Limite Inferior de Especificação (LIE): 177 kg/ha, têm-se um processo com capacidade adequada, $C_p=4,17$, e capacidade efetiva Capaz, $C_{pk}=4,11$ o que significa uma taxa de falha menor do que 1 em 1.500.000 amostras (Tabela 13). A Figura 28 mostra que a distribuição de dados está centrada e entre os limites de especificação, fato comprovado pelos valores de C_p e C_{pk} que possuem amplitude entre si de apenas 0,06 o que identifica um processo capaz e adequado para a distribuição de fertilizantes. Segundo Sugisawa (2004) estes índices para a distribuição de fertilizantes indicam que não há oscilação na taxa de aplicação.

MECANISMO DOSADOR DE SEMENTES

Em relação à avaliação do mecanismo de semeadura, a regulação da dosagem de sementes foi realizada pela adoção de disco de sementes específico para 15 sementes/m (6,66 cm entre sementes). Para cada 1 metro percorrido o disco de sementes deve realizar 1 revolução completa. Levou-se em conta a patinagem da roda motora que tem-se uma patinagem média de escorregamento de 3,09% o que resulta em uma diminuição da dosagem de sementes, pois ao se percorrer 1 metro a roda motora gira 3,09% a menos do que deveria, assim pelos cálculos a dosagem de sementes cai para 14 sementes/metro, Anexo 8.3.

Tabela 16. Sumário Estatístico da distribuição longitudinal de sementes, unidades são em centímetros.

	Teste 1	Teste 2
Observações	231	267
Média	7,17	6,85
Variância	4,51	2,68
Desvio Padrão	2,12	1,63
Coefficiente de Variação	29%	23%
Máximo	15,5	14,5
Mínimo	2	3
Amplitude	13,5	11,5
Simetria	6,4	10,7
Curtose	8,7	18,8

Seguindo as recomendações de Mialhe (1996) têm-se os seguintes limites em termos de espaçamentos para classificar os espaçamentos em duplos e falhas:

$$\text{Duplo} = 3,25\text{cm} < X_i < 9,75 \text{ cm} = \text{Falha}$$

Nestas condições, tem-se pela Tabela 17 as porcentagens de cada categoria de distribuição, assim como as sementes quebradas:

Tabela 17. Avaliação de duplos, falhas e sementes quebradas.

Teste	Quebrada	Duplo	Falha
Teste1	5 (2,16%)	4 (1,73%)	13 (5,62%)
Teste 2	5 (1,87%)	4 (1,49%)	17 (6,36%)

Pela tabela Tabela 17 se tem um valor de 9,51% de espaçamentos não aceitáveis da distribuição longitudinal das sementes no teste 1, já no teste 2 tem-se um valor de 9,72%, estes dados representam uma regularidade de distribuição longitudinal de 90,49% e 90,28% respectivamente. Segundo Coelho (1996) valores de regularidade de distribuição longitudinal de semente para mecanismos mecânicos é de no máximo 75% e para mecanismos pneumáticos no mínimo de 90%. Em relação ao coeficiente de variação do espaçamento, Mialhe (1996) define como limite para semeadoras pneumáticas coeficiente de variação máximo de 30%. Tanto no teste 1 como no 2 o coeficiente de variação é menor. Os testes de normalidade do espaçamento de sementes em pista são apresentados nas Figura 29, Figura 30, Figura 31 e Figura 32.

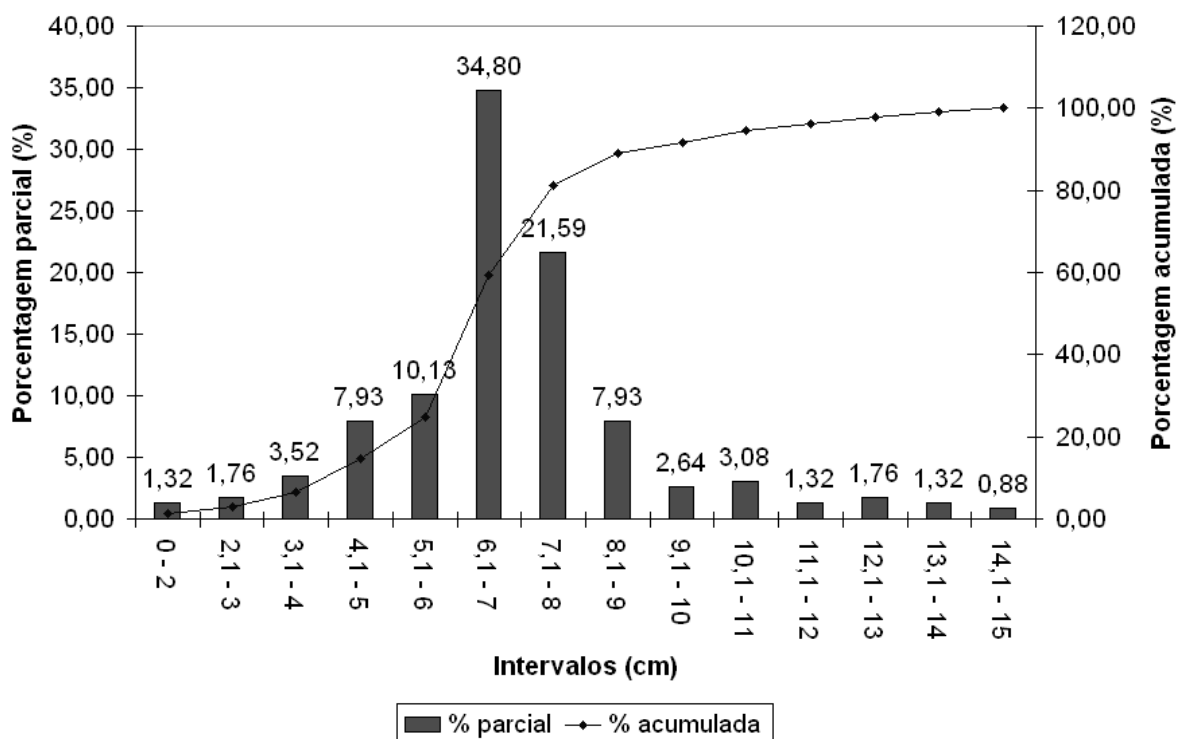


Figura 29. Histograma dos espaçamentos entre sementes do teste em pista 1.

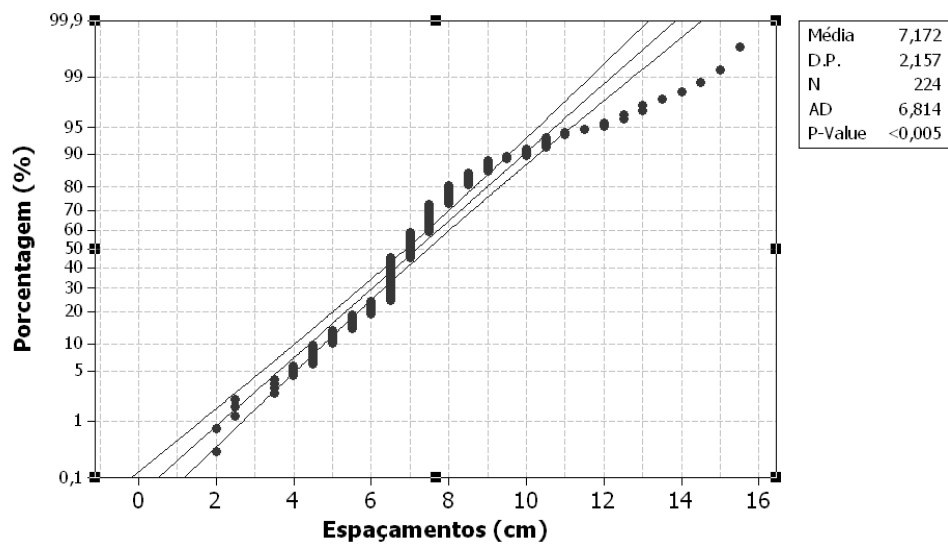


Figura 30. Gráfico de probabilidade normal dos espaçamentos entre sementes teste 1, intervalo de confiança de 95%.

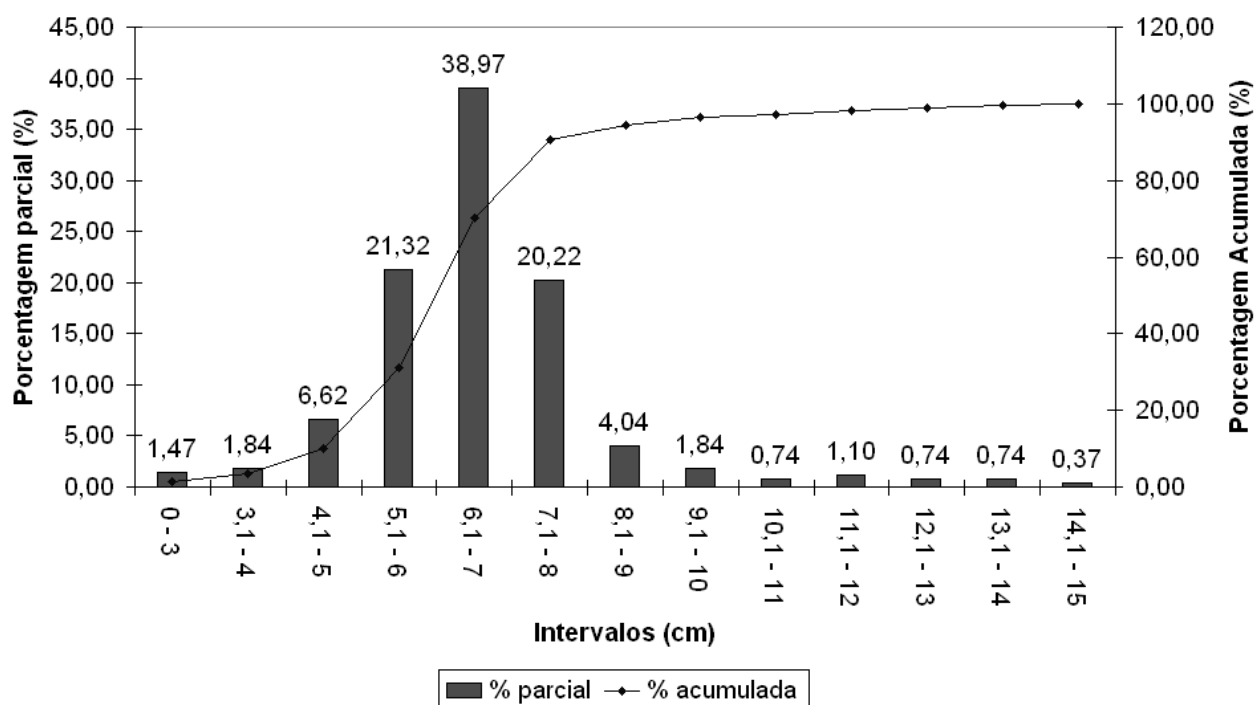


Figura 31. Histograma dos espaçamentos entre sementes do teste em pista 2.

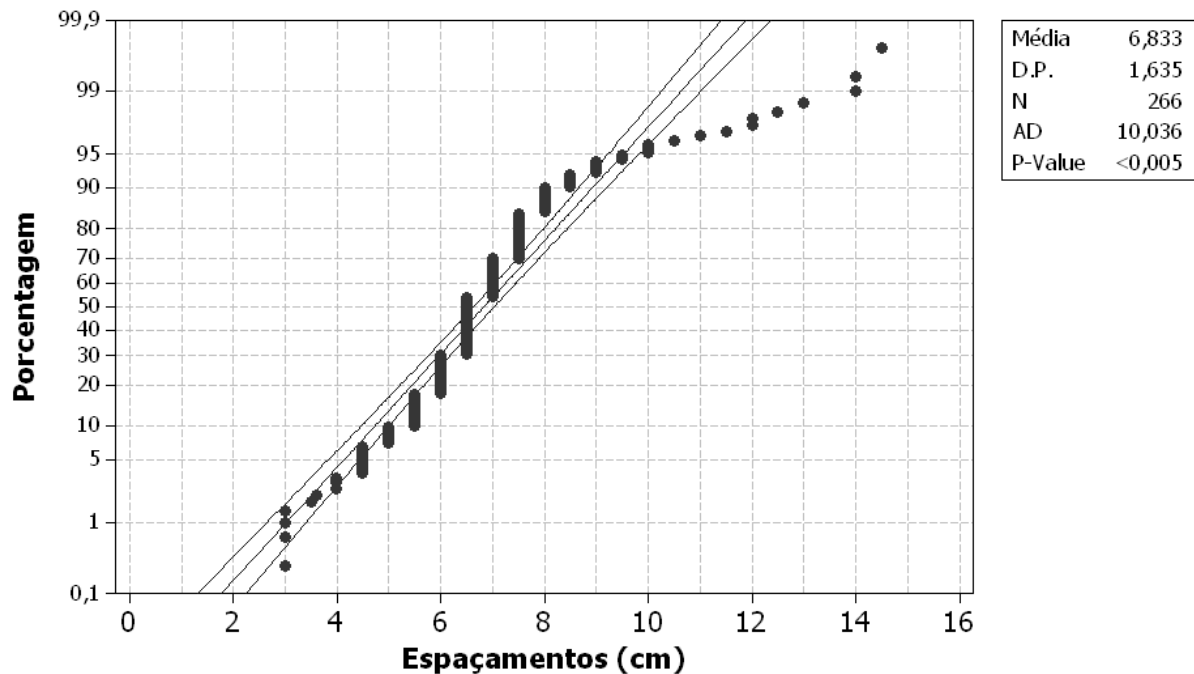


Figura 32. Gráfico de probabilidade normal dos espaçamentos entre sementes teste 2, intervalo de confiança de 95%.

Pela observação dos coeficientes de curtose e simetria verifica-se que os dados de ambos os testes não respeitam uma distribuição normal, pois estão muito fora do intervalo entre -2 e 2 o que indica assimetria e uma concentração de valores próximos à média; os histogramas da Figura 29 e da Figura 31 mostram estes fatos e apresentam uma cauda longa com muitos dados o que contradiz uma distribuição normal. Os gráficos de probabilidade normal de ambos os testes da Figura 30 e da Figura 32 se apresentam fora do padrão para distribuições normais, os pontos não se comportam linearmente e saem nitidamente dos limites de confiança de 95%. Os testes de Anderson-Darling tem valores grandes, muito distantes de zero e os valores p são menores do que a significância de 5% (0,05), portanto é aceita a hipótese nula de normalidade. Em função da comprovação da não normalidade dos dados, o desvio padrão não é uma medida confiável para análise da variabilidade dos dados, o que neutraliza o poder dos gráficos de controle e dos índices C_p e C_{pk} .

Os gráficos de controle do espaçamento entre sementes em pista são apresentados nas Figura 33 e Figura 34.

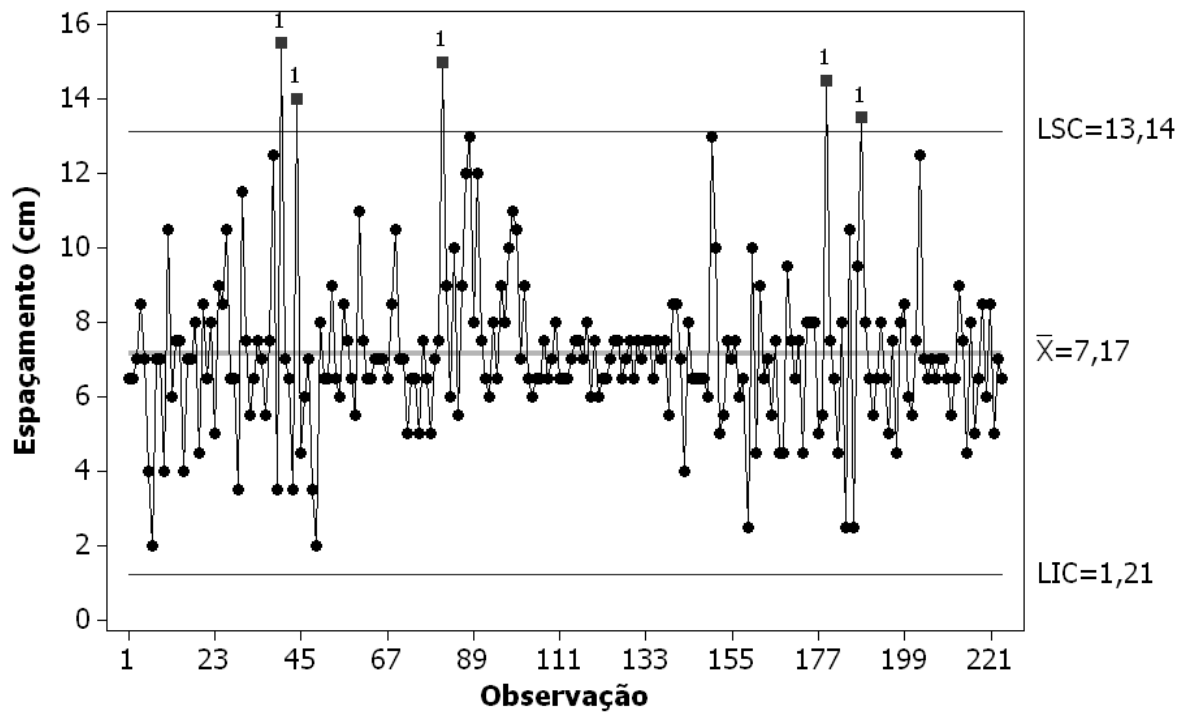


Figura 33. Gráfico de controle do espaçamento entre sementes do teste 1.

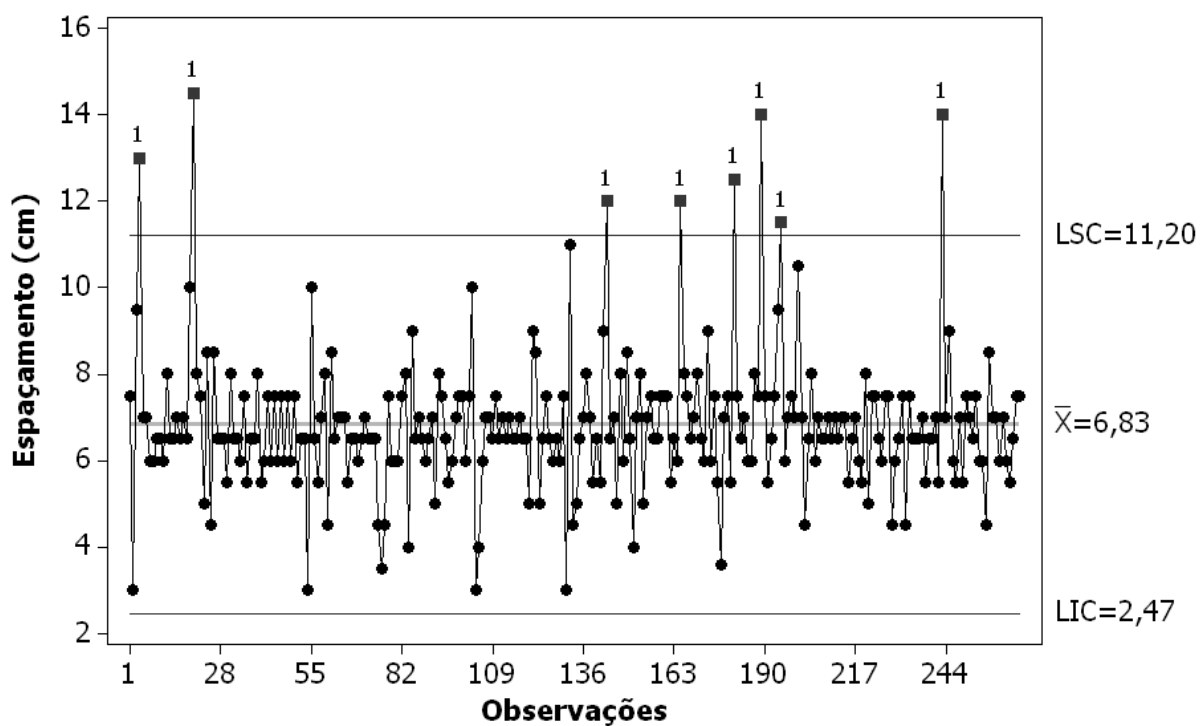


Figura 34. Gráfico de controle do espaçamento entre sementes do teste 2.

Pelos gráficos de controle apresentados na Figura 33 e na Figura 34, verifica-se que a distribuição de sementes pelo mecanismo de anel interno rotativo tem muita variabilidade, os vários pontos fora do limite superior de controle indicam um processo instável. No entanto duas considerações devem ser realizadas: a primeira é que os gráficos de controle não são recomendados por Montgomery (2004) para processos não normais; a segunda é que atualmente os processos agrícolas estão muito longe do ideal de controle industrial.

Em relação a não normalidade deve-se atentar que segundo o teorema do limite central da estatística (COCHRAN & COX, 1957) quanto maior o número de amostras, mais a distribuição se aproxima de uma normal, no caso específico e prático da avaliação desta semeadora este fato é constatado plenamente, pois não foram obtidas amostras suficiente para se respeitar este teorema e toda a teoria por ele sustentada, assim a distribuição obtida após a amostragem não foi normal. Ressalva importante é que em geral, nos processos agrícolas é difícil quando não muito oneroso obter amostras que atendam as exigências do teorema do limite central da média.

Quando se direciona as discussões para o controle dos processos agrícolas, em termos de semeadura para uma empresa agrícola, índices de falhas na semeadura pouco abaixo de 10% são ótimos, enquanto que para a indústria de automóvel, software e eletro-eletrônicos, índices de falhas acima de 0,26% são inaceitáveis (3 sigma) (TONINI, 2006). Isto se deve principalmente ao fato do universo industrial ter controles muito mais precisos e imediatos, além dos substratos (matéria-prima, maquinaria, processos, operadores, etc.) onde são realizados os trabalhos serem altamente constantes, uniformes e com baixíssimas variabilidades. Assim é possível atingir índices de falha ao nível (6 sigma) de 0,00034% (precisão de 99,99966%). No meio agrícola tais índices são utópicos, haja vista a imensa variabilidade de: matérias-primas, condições meteorológicas, condições de solo, sistemas mecanizados, índices de qualidade de operações agrícolas, qualificação de operadores, entre outras variáveis, e além de tudo não são raras questões de ordem social e cultural que influem nas operações. Neste contexto as ferramentas de controle estatístico de qualidade (CEP) devem ser adequadas e adaptadas para tais condições adversas, que não ocorrem na indústria. Campos (2007) e Barros (2008) em trabalhos envolvendo operações mecanizadas agrícolas e controle estatístico de qualidade foi adotado uma simplificação muito útil na análise de gráficos de controle aplicados a agricultura. As metodologias foram baseadas em retirar os

pontos fora dos limites de controle, desde que mais de 95% dos restantes estejam dentro dos limites, tal simplificação se mostrou adequada não influenciando de maneira negativa, pois não mascarou os dados. Ao se considerar processos onde os índices de precisão estão ao redor de 90% retirar apenas 5% dos dados não influem significativamente na amostragem.

Neste caso, no entanto, mesmo retirando os pontos fora dos limites de controle verifica-se que o processo de semeadura está muito variável, tal fato decorre da não normalidade dos dados que inviabiliza o desvio padrão como medida confiável. Embora os índices C_p e C_{pk} não sejam adequados para análise do processo pode-se observar nas Figura 35 e Figura 36 que a amplitude das diferenças entre eles demonstra que os processos estão descentrados em relação aos limites de especificação (LSE: 9,75 cm, LIE: 3,25 cm).

As análises de capacidade do processo de espaçamento entre sementes em pista são apresentadas na Figura 35 e na Figura 36.

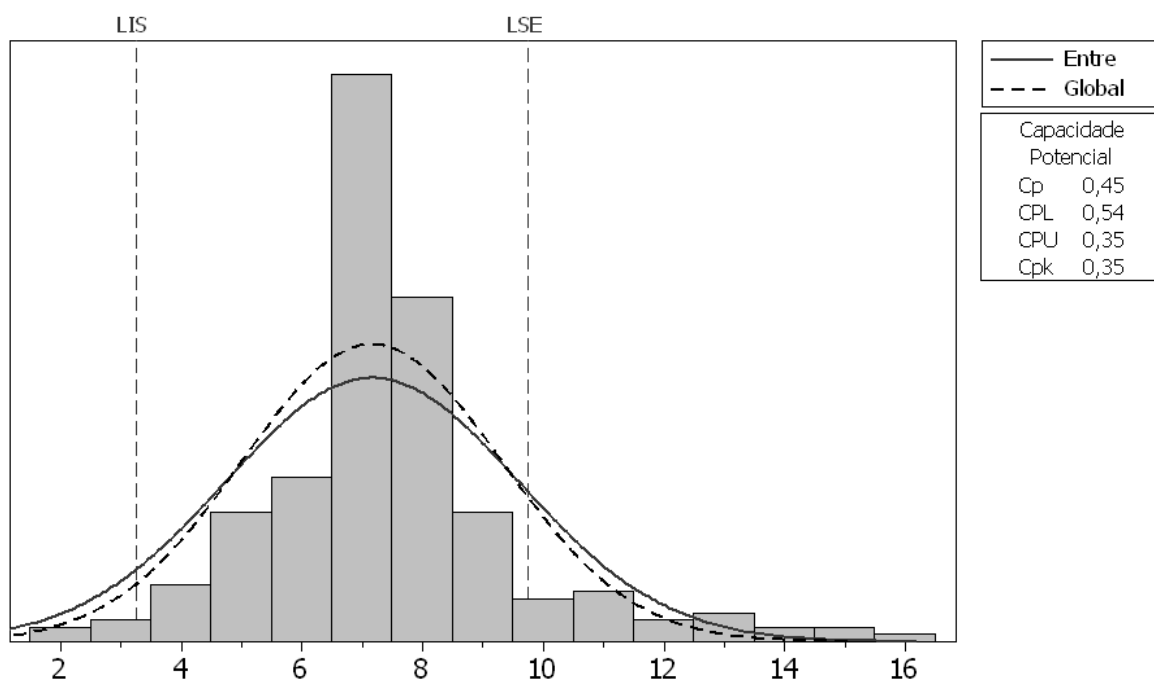


Figura 35. Análise da capacidade do processo de distribuição de sementes do teste 1.

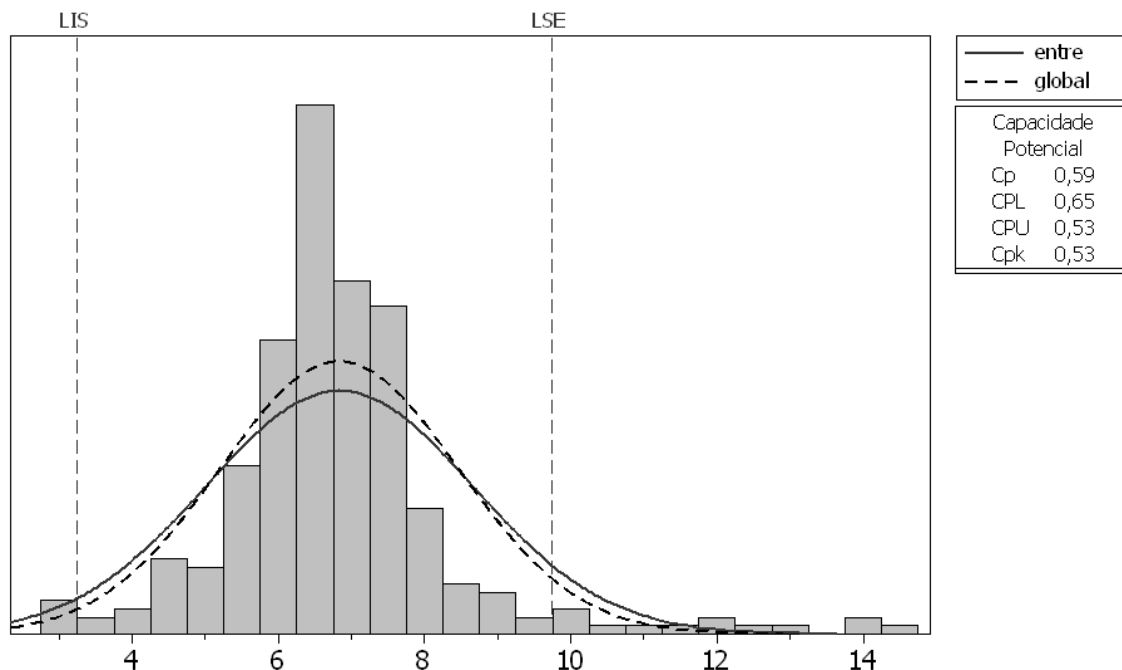


Figura 36. Análise da capacidade do processo de distribuição de sementes do teste 2.

Para análise de processos não normais Montgomery (2004) sugere a utilização do gráfico de média móvel exponencialmente ponderada que são apresentados nas Figura 37 e Figura 38 e Luceño (1996) sugere o cálculo do índice de capacidade de confiança (Cpc).

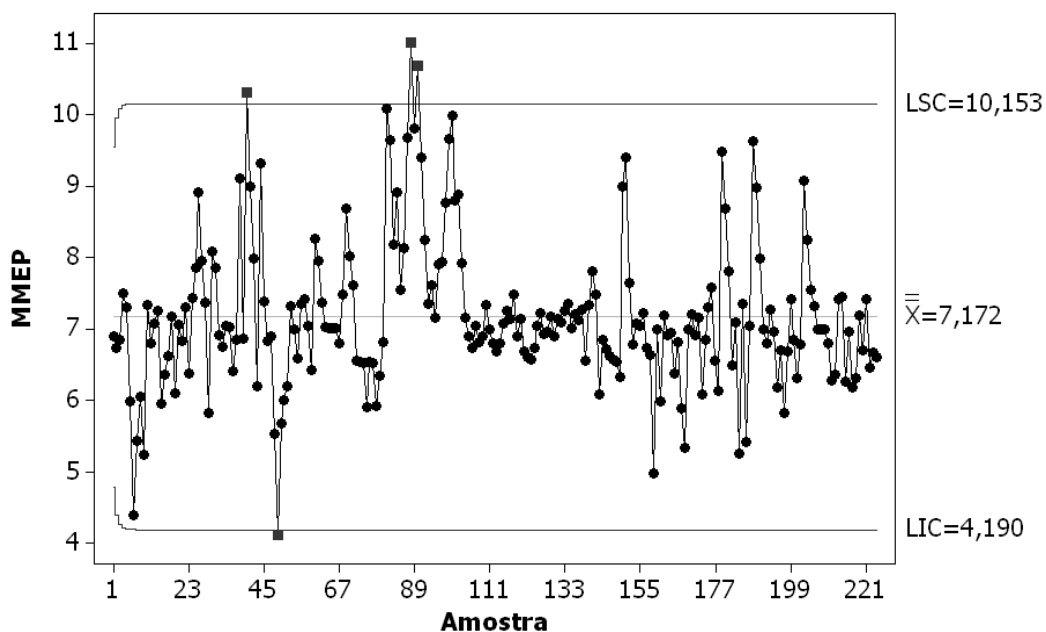


Figura 37. Gráfico da média móvel exponencialmente ponderada do espaçamento entre sementes do teste 1.

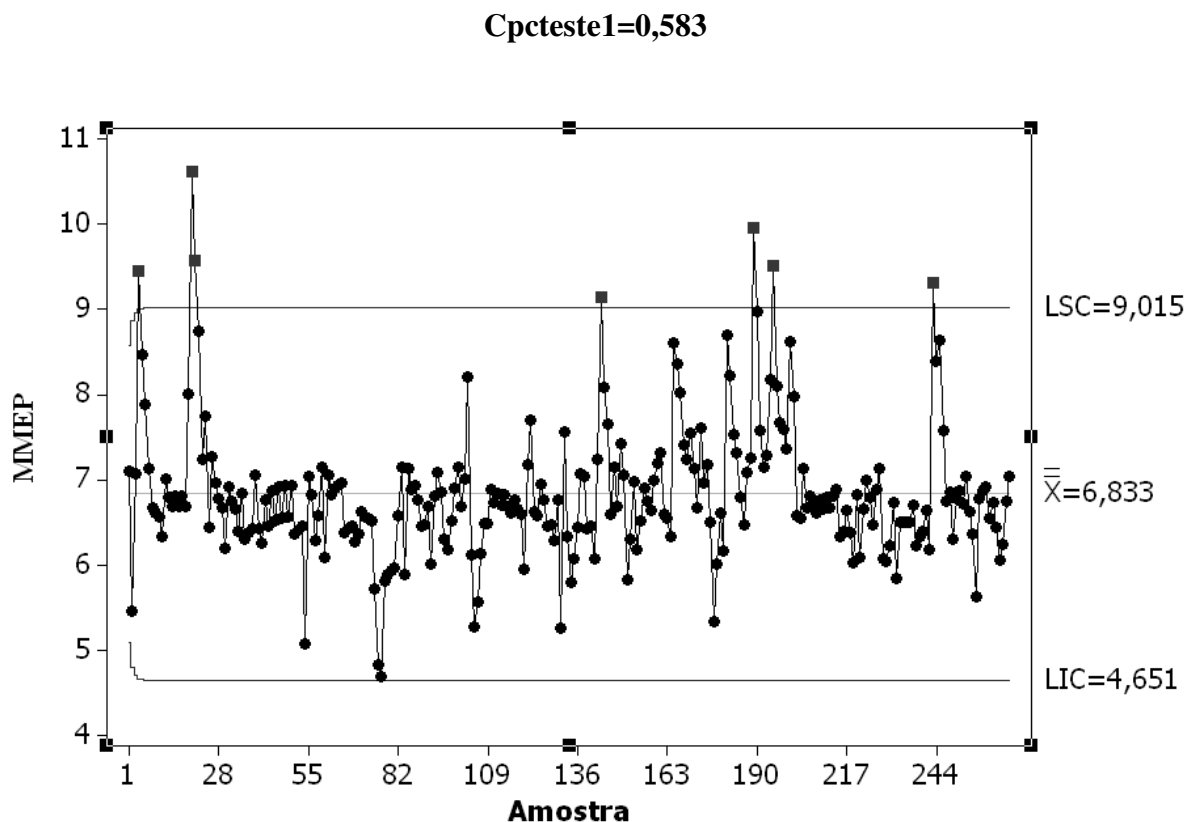


Figura 38. Gráfico da média móvel exponencialmente ponderada do espaçamento entre sementes do teste 2.

Cpcteste2=0,831

Pelos gráficos MMEP verifica-se que o processo ainda tem pontos fora dos limites de controle o que indica instabilidade no processo, mas a variabilidade das amostras caiu em relação aos gráficos de controle normais. Se retirados os pontos fora dos limites, sempre considerando critérios práticos e sustentados pela teoria (BARROS, 2008) tem-se um processo que se pode considerar estável. Sempre deve ser lembrado que todas estas análises se limitam à variabilidade em torno da média, mas para análise de precisão de semeadura, Mialhe (1996) determina uma faixa de espaçamentos aceitáveis, neste aspecto a semeadura foi adequada, pois superou a expectativa atingindo índices de semeadoras pneumáticas. Ao se analisar o Cpc verifica-se que o processo é adequado, pois no teste 1 em função da Tabela 13, obteve taxa de falha de 1 em 11 amostras o que perfaz 9,07%, já o teste 2 obteve taxa de falha de 1 em 80, 1,25%, o que deveras é bom para semeaduras o que indica um processo adequado e capaz.

4.2 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA SEMEADORA

Para caracterização inicial da área de testes as seguintes variáveis foram avaliadas: densidade do solo, umidade do solo e índice de cone do solo de toda área, os dados brutos destas variáveis são apresentados no Anexo 8.4.

Tabela 18. Sumário Estatístico densidade e umidade do solo no início do experimento.

	Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)
Observações	13	13
Média	0,21	1,25
Variância	0,00034	0,093
Desvio Padrão	0,018	0,093
Coefficiente de Variação	8,5%	7,44%
Máximo	0,25	1,39
Mínimo	0,19	1,1
Amplitude	0,06	0,29
Simetria	1,85	-0,40
Curtose	0,60	-0,82

A umidade média do solo teve média de 21%. A densidade média do solo foi de 1,25 g/cm³ indicando um solo não compactado.

AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE CONE

Para avaliar a compactação do sulco de semeadura foram obtidos os valores do índice de cone em 16 pontos ao longo das linhas de caracterização: antes da operação, depois da operação sem a roda compactadora e depois da operação com a roda compactadora.

Tabela 19. Sumário Estatístico Índice de Cone Antes (ICA), Índice de Cone Depois com Roda Compactadora (ICDCR), regulada com força de compressão de 235 N e Índice de Cone Depois Sem Compactação (ICDSR).

	ICA	ICDSR	ICDCR
	(kPa)	(kPa)	(kPa)
Observações	15	15	15
Média	862,5	9,5	51,8
Variância	85026,7	11,3	106,6
Desvio Padrão	291,5	3,3	10,3
Coeficiente de Variação	33%	34%	20%
Máximo	1569	13	72
Mínimo	523	6,5	39
Amplitude	1046	6,5	33
Simetria	1,87	0,23	0,39
Curtose	0,73	-1,82	-0,61

Segundo Silva (2002) e Modolo (2006) a compactação do sulco de semeadura após a operação é essencial para que haja um bom desempenho de emergência. Estudos realizados por Silva (2004) demonstraram que pressões das rodas compactadoras com 235 N de força prensora têm-se os melhores resultados em emergência e produtividade. Verifica-se pelo sumário estatístico que sem a operação de compactação o índice de cone é muito pequeno, pois chega a valores próximos zero que significa um baixo contato semente/solo o que prejudica a germinação e a emergência. Após a operação de compactação o índice de cone do sulco aumenta e o coeficiente de variação abaixa o que subentende uma melhor homogeneização do contato solo semente que possibilita assim uma melhor emergência de plântulas, pois se cumpre a função de pressionar o solo sobre e lateralmente à semente para facilitar que estas absorvam água (Casão Jr. et al. 2006). Nas linhas experimentais não houve selamento superficial, indicando que a pressão da roda compactadora foi adequada para o teor de água do solo no momento da semeadura. Foi seguida recomendação de Casão Jr. (2006) de se realizar a semeadura no ponto de friabilidade do solo. Outra questão pertinente levantada por Schaefer et al. (2002) foi em relação ao selamento superficial decorrente da destruição dos

agregados pela chuva, pois as partículas menores em suspensão (produto dos agregados atingidos pelas gotas da chuva) penetram e obstruem os poros do solo o que diminui a permeabilidade formando um selamento superficial que evita a infiltração de água no solo o que gera erosão. Neste experimento este efeito também foi avaliado, pois as constantes irrigações na área após a semeadura simularam condições de chuva. Ambos os tipos de selamento superficial mostraram-se nulos em relação à operação da NSMC. Este fato pode ser explicado tanto devido à cobertura superficial de palha deixada pela máquina, como pelo DMP do solo, após a operação do “paraplow” rotativo.

Os testes de normalidade do índice de cone antes da operação são apresentados na Figura 39 e na Figura 40.

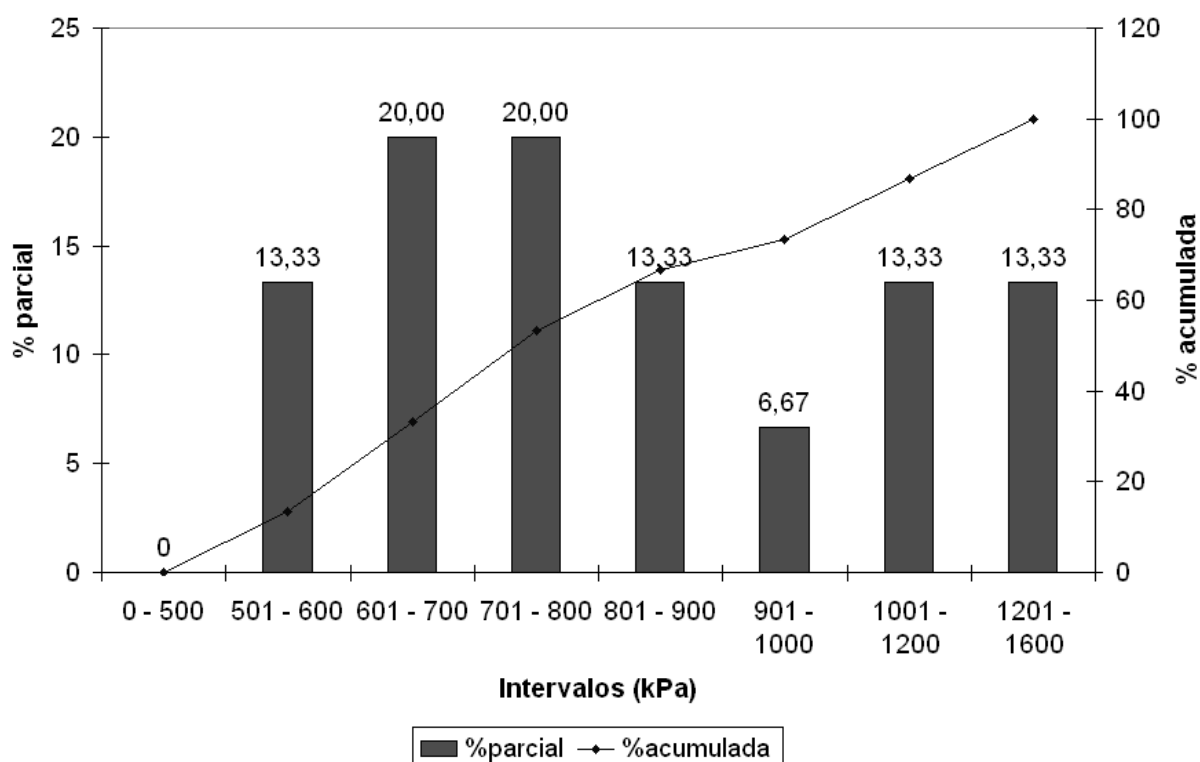


Figura 39. Histograma do índice de cone antes da operação.

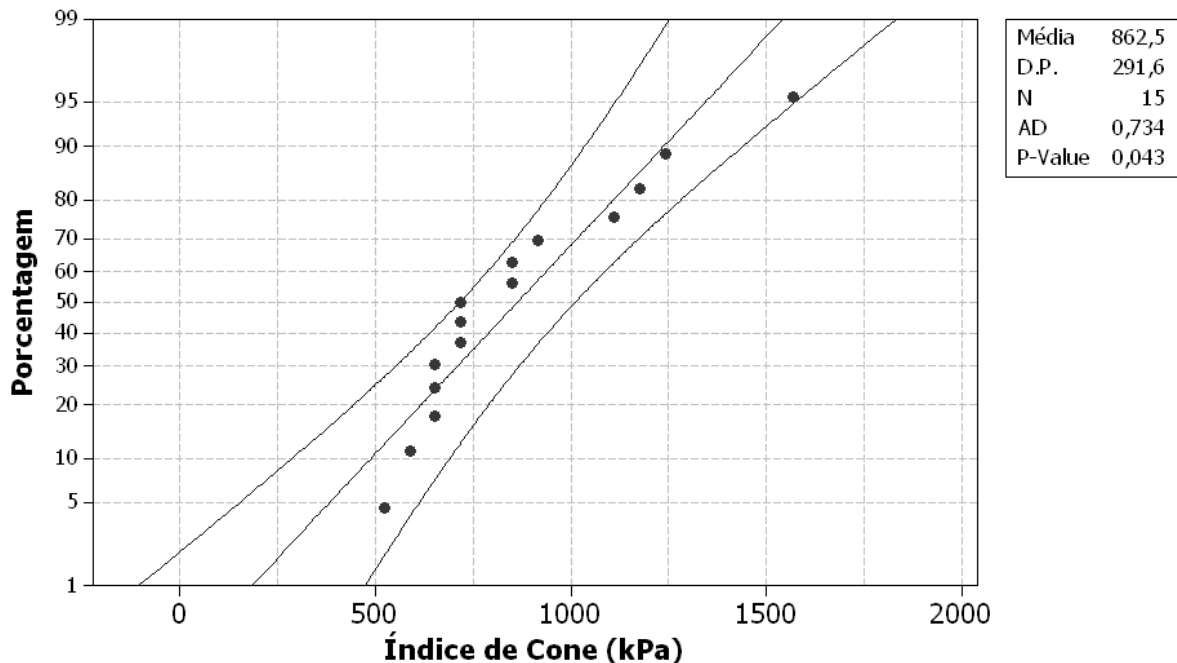


Figura 40. Gráfico de probabilidade normal do índice de cone antes da operação, intervalo de confiança de 95%.

Pela observação dos coeficientes de curtose e simetria poder-se-ia considerar que os dados relativos ao índice de cone antes da operação respeitam uma distribuição normal, pois estão dentro do intervalo entre -2 e 2 o que indica alguma simetria, embora o valor de $1,87$ do coeficiente de simetria indique uma maior quantidade de dados do lado direito da média, além de uma distribuição de valores próximos à média com característica de forma de uma curva normal (curtose); o histograma da Figura 39 mostra este fato e apresenta cauda um pouco deformada em relação a distribuição normal padrão. O gráfico de probabilidade normal mostrado na Figura 40 se apresenta com pontos muito próximos dos limites de confiança de 95% e os pontos não se comportam linearmente. O teste de Anderson-Darling (A.D.) tem valores grandes, muito distantes de zero e o valor p é menor do que a significância de 5% ($0,05$), portanto é aceita a hipótese nula de normalidade. Poder-se-ia considerar que estes dados têm normalidade devido aos testes de curtose, simetria e histograma, mas existe não normalidade em função do gráfico de probabilidade normal e teste A.D, assim neste trabalho foi decidido que os dados não respeitam inteiramente uma curva normal e o desvio padrão não é uma medida totalmente confiável para análise da variabilidade dos dados o que torna não tão preciso os gráficos de controle e os índices C_p e C_{pk} .

O gráfico de controle do índice de cone antes da operação é apresentado na Figura 41.

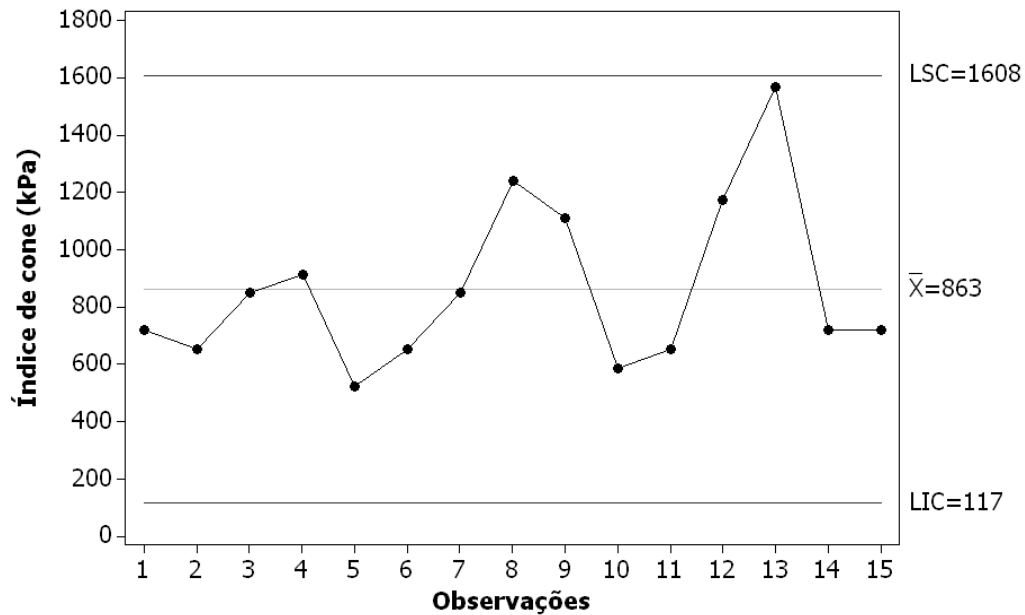


Figura 41. Gráfico de controle do índice de cone antes da operação.

Pela Figura 41, verifica-se que existe um aumento da variabilidade das medidas, este fato pode ser explicado devido a uma tendência de aumento de índice de cone dentro da área de testes, no entanto ainda assim o processo está sob controle com a ressalva que o gráfico de controle neste caso perdeu parte de sua confiabilidade devido a não normalidade detectada em alguns testes.

A análise do processo do índice de cone antes da operação é apresentada na Figura 42.

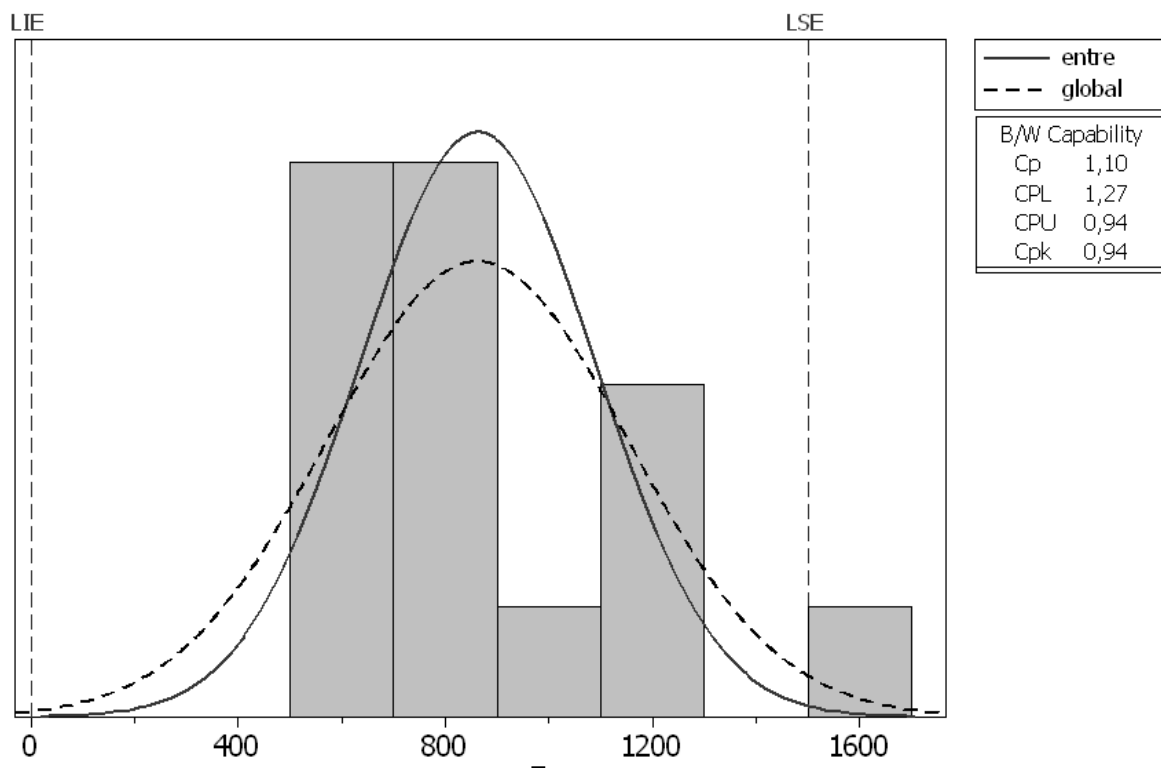


Figura 42. Análise da capacidade do processo do índice de cone antes da operação.

Pelos dados obtidos tem-se um processo com $C_p=1,10$, e $C_{pk}=0,94$, estes valores significam uma taxa de falha menor do que 1 em 305 (Tabela 13). A Figura 42 mostra que a distribuição de dados não está centrada e existem medidas fora do limite de especificação (definido pela ASAE, 1997) como $LSE=1500$ kPa e $LIE=0$) o que é comprovado pelos valores de C_p e C_{pk} que possuem amplitude entre si de 0,16.

O gráfico da média móvel exponencialmente ponderada do índice de cone antes da operação é apresentado na Figura 43.

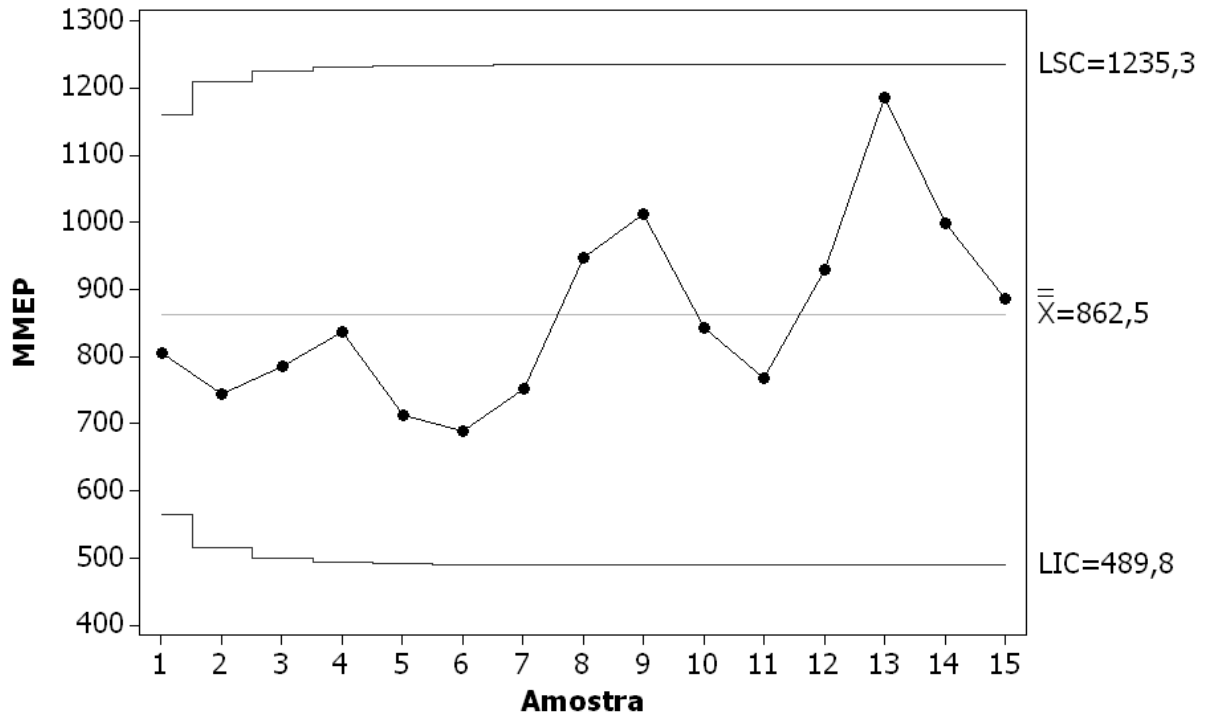


Figura 43. Gráfico da Média móvel exponencialmente ponderada do índice de cone antes da operação.

$$C_{pc}=0,828$$

Pelo gráfico MMEP verifica-se que o processo ainda tem um aumento de variabilidade, que confirma índices de cone diferentes em sua extensão, no entanto este aumento não acarretou em instabilidade do processo. Ao se analisar o C_{pc} verifica-se que o processo é adequado, pois em função da Tabela 13 obteve taxa de falha de 1 em 80 amostras. Questão de destaque é a diferença entre proporções de falha entre a análise do processo considerando normalidade (C_{pk}) e o C_{pc} . Embora ambos tenham detectado um processo capaz e adequado verifica-se que o índice C_{pc} foi muito mais conservador.

Os testes de normalidade do índice de cone depois da operação sem a roda compactadora são apresentados na Figura 44 e na Figura 45.

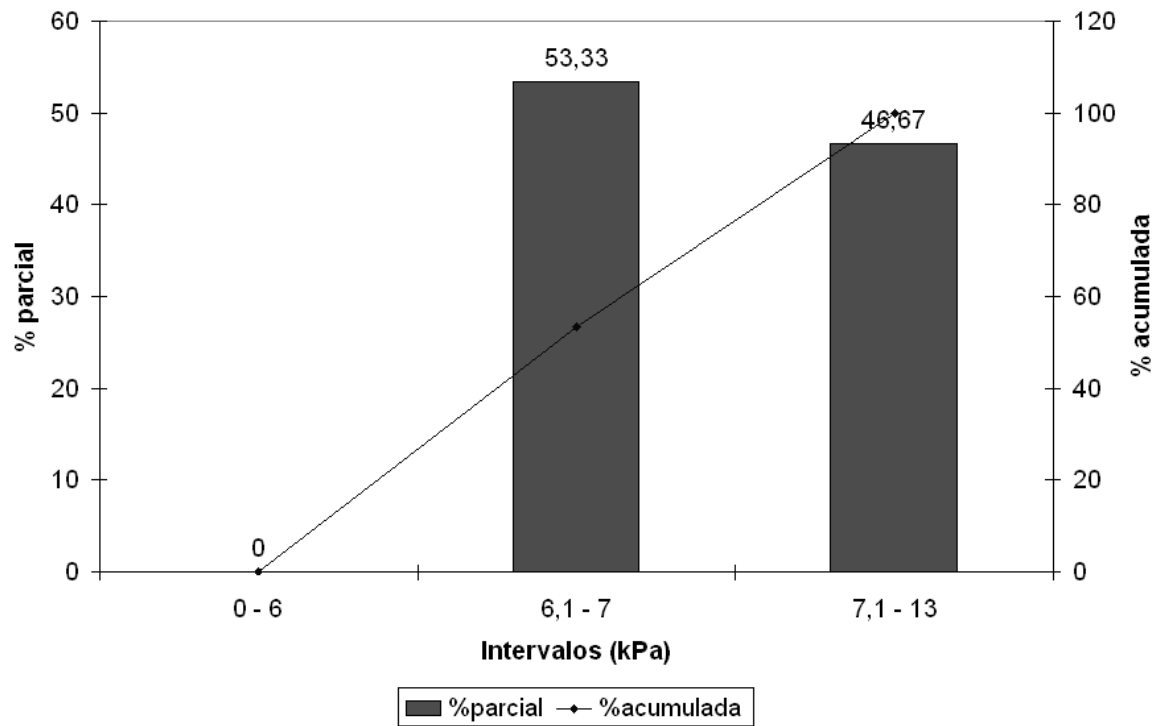


Figura 44. Histograma do índice de cone depois da operação sem a roda compactadora.

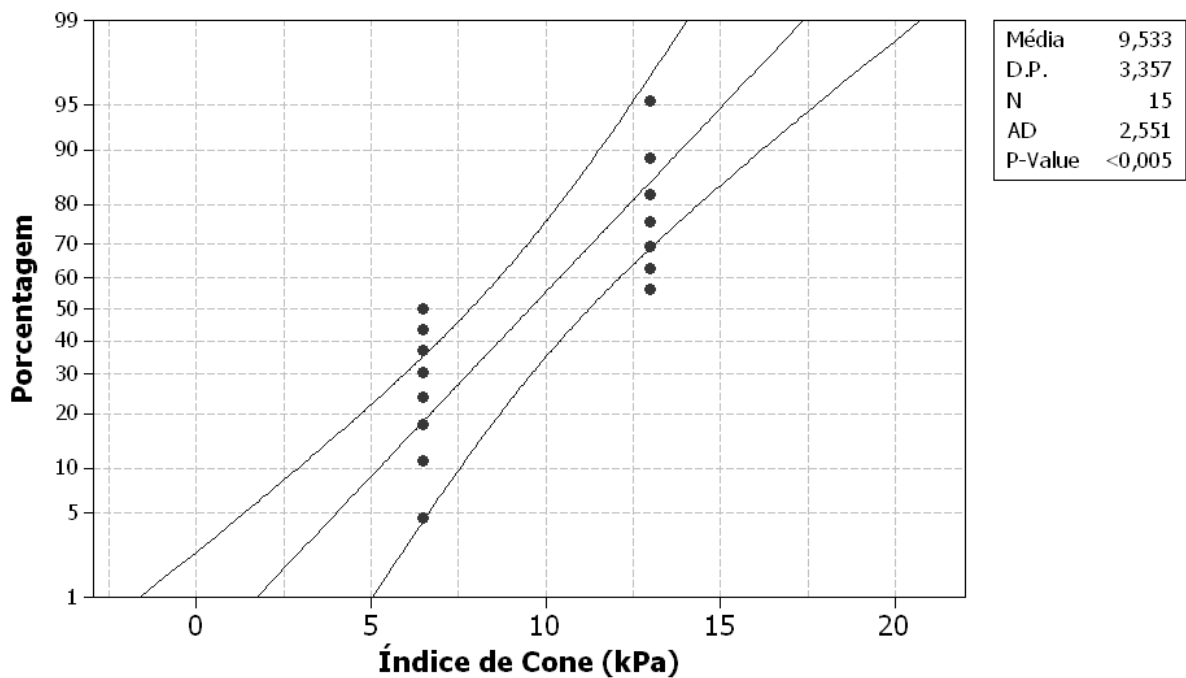


Figura 45. Gráfico de probabilidade normal do índice de cone depois da operação sem a roda compactadora, intervalo de confiança de 95%.

Pela observação dos coeficientes de curtose e simetria poder-se-ia considerar que os dados relativos ao índice de cone antes da operação respeitam uma distribuição normal, pois estão dentro do intervalo entre -2 e 2 , o valor de $-1,82$ de curtose indica um achatamento da distribuição e o índice de simetria demonstra simetria em torno da média, no entanto o histograma da Figura 44 demonstra uma total inadequação com uma curva normal, pois os dados se comportam essencialmente como duas curvas impulso: limitadas e definidas. O gráfico de probabilidade normal da Figura 45 não possui características de linearidade e poucos pontos estão dentro dos limites de confiança de 95%. O teste de Anderson-Darling (A.D.) tem valores excessivamente grandes, muito distantes de zero e o valor p é menor do que a significância de 5% ($0,05$), portanto é aceita a hipótese nula de normalidade. O desvio padrão de forma alguma é uma medida confiável para análise da variabilidade dos dados o que torna totalmente imprecisos os gráficos de controle e os índices C_p e C_{pk} .

O gráfico de controle do índice de cone depois da operação sem roda compactadora é apresentado na Figura 46.

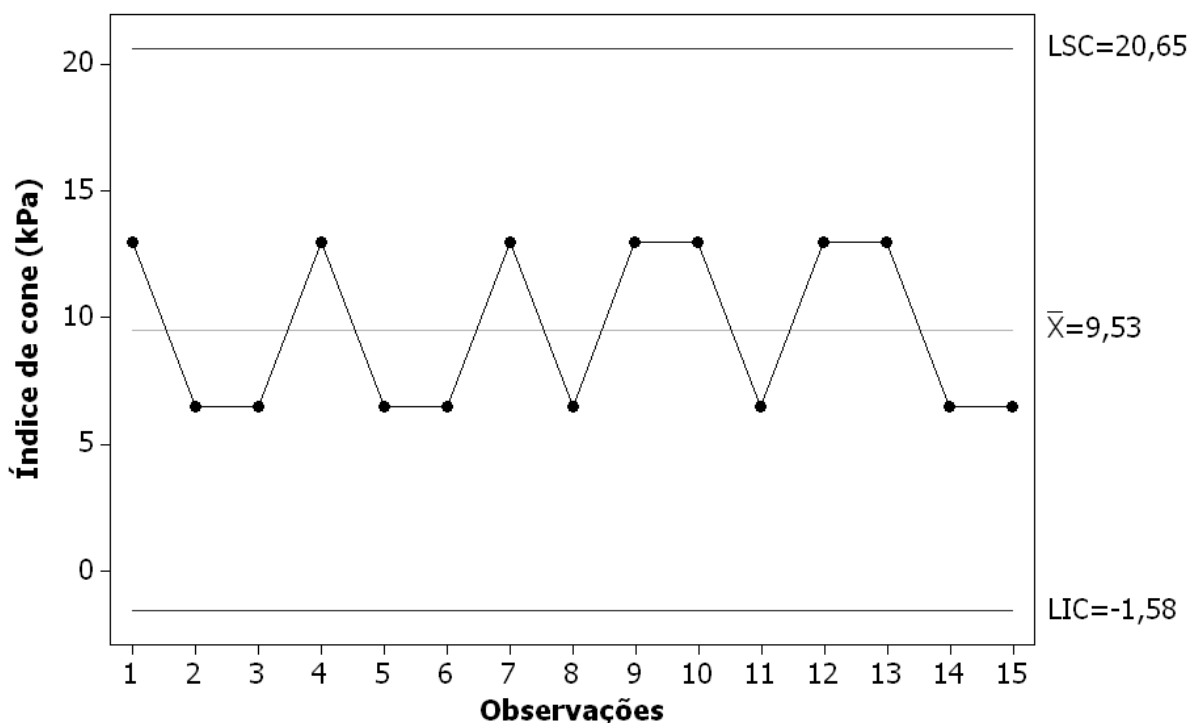


Figura 46. Gráfico de controle do índice de cone depois da operação sem a roda compactadora.

Pela Figura 46 verifica-se que existe extrema regularidade na variabilidade das medidas, assim como pequena amplitude, este fato pode ser explicado segundo Albiero (2006) devido a ação cíclica do “Paraplow” rotativo.

A análise do processo do índice de cone depois da operação sem roda compactadora é apresentada na Figura 47.

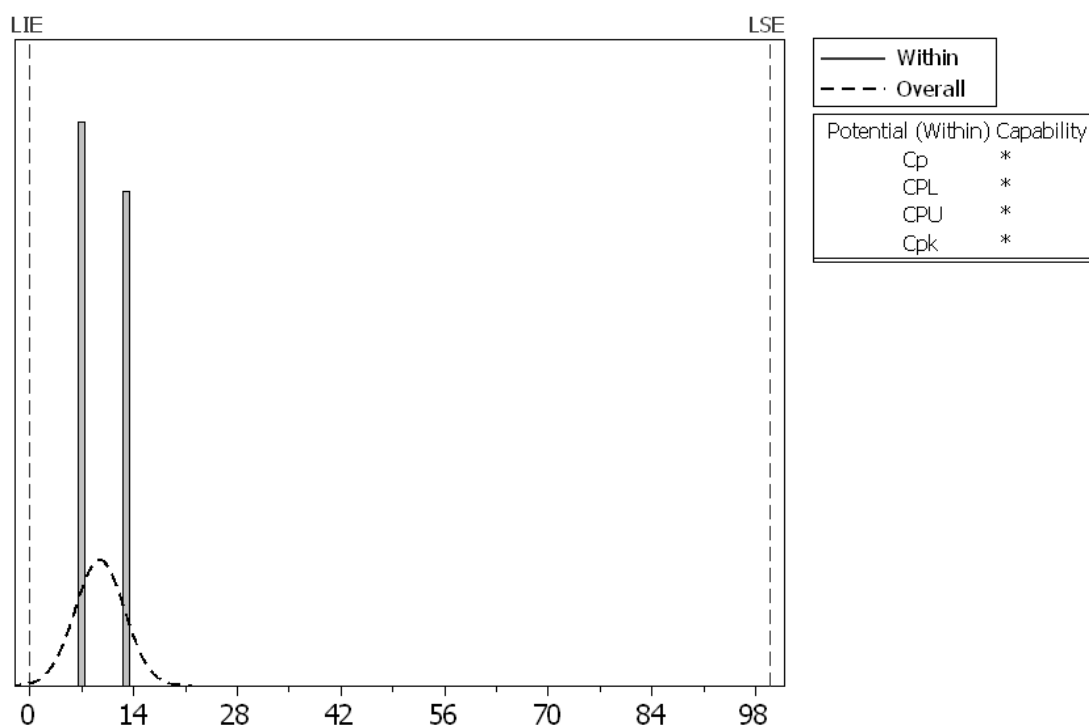


Figura 47. Análise da capacidade do processo do índice de cone depois da operação sem a roda compactadora.

O gráfico de capacidade do processo neste contexto de anormalidade não tem significado, assim como os índices Cp e Cpk. Pela Figura 47 verifica-se que os dados se encontram próximos ao limite inferior de especificação (LIE=0), ou seja, compactação quase nula.

O gráfico da média móvel exponencialmente ponderada do índice de cone depois da operação sem roda compactadora é apresentado na Figura 48.

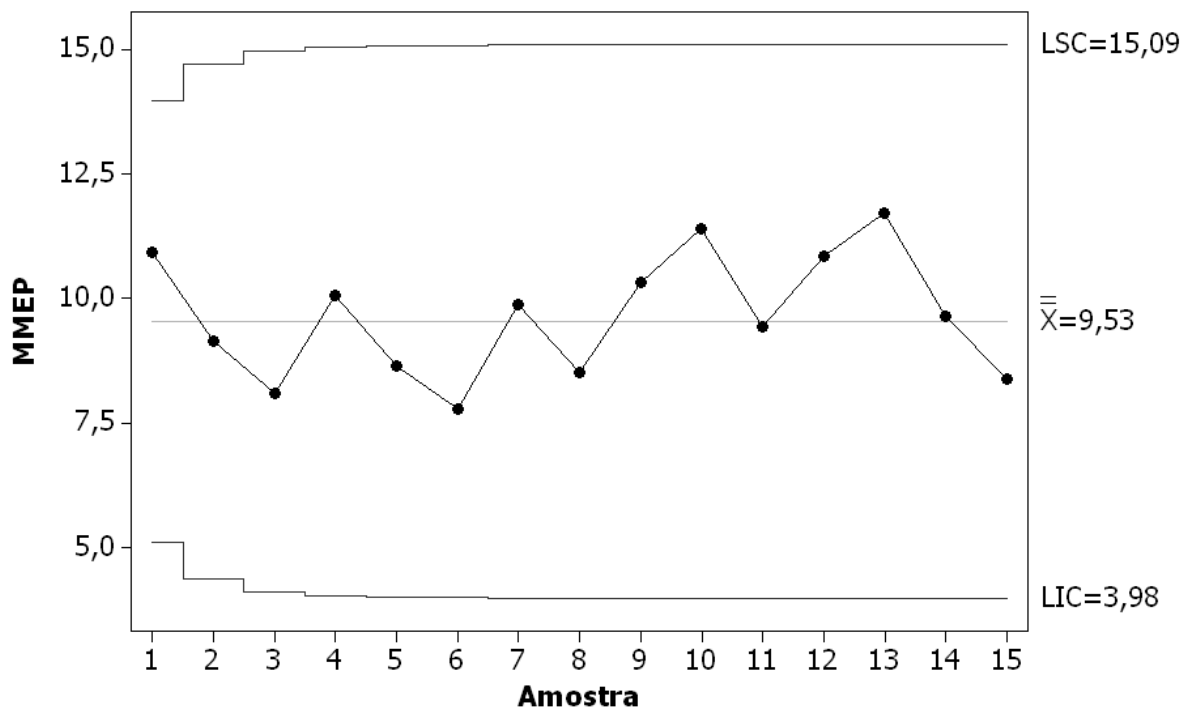


Figura 48. Gráfico da média móvel exponencialmente ponderada do índice de cone depois da operação sem a roda compactadora.

$$C_{pc}=0,330$$

Pelo gráfico MMEP verifica-se que o processo ainda exibe baixíssima variabilidade e grande regularidade o que indica total estabilidade do processo. Ao se analisar o C_{pc} verifica-se que o processo possui taxa de falha muito elevada: maior do que 1 para 2, o que é prova da inadequação deste índice também. Pelo gráfico MMEP tem-se um processo estável e pela Figura 47 dentro dos limites de especificação o que leva a conclusão que em termos de análise de qualidade é de veras difícil estudar um processo com estas características.

Os testes de normalidade do índice de cone depois da operação com a roda compactadora são apresentados na Figura 49 e na Figura 50.

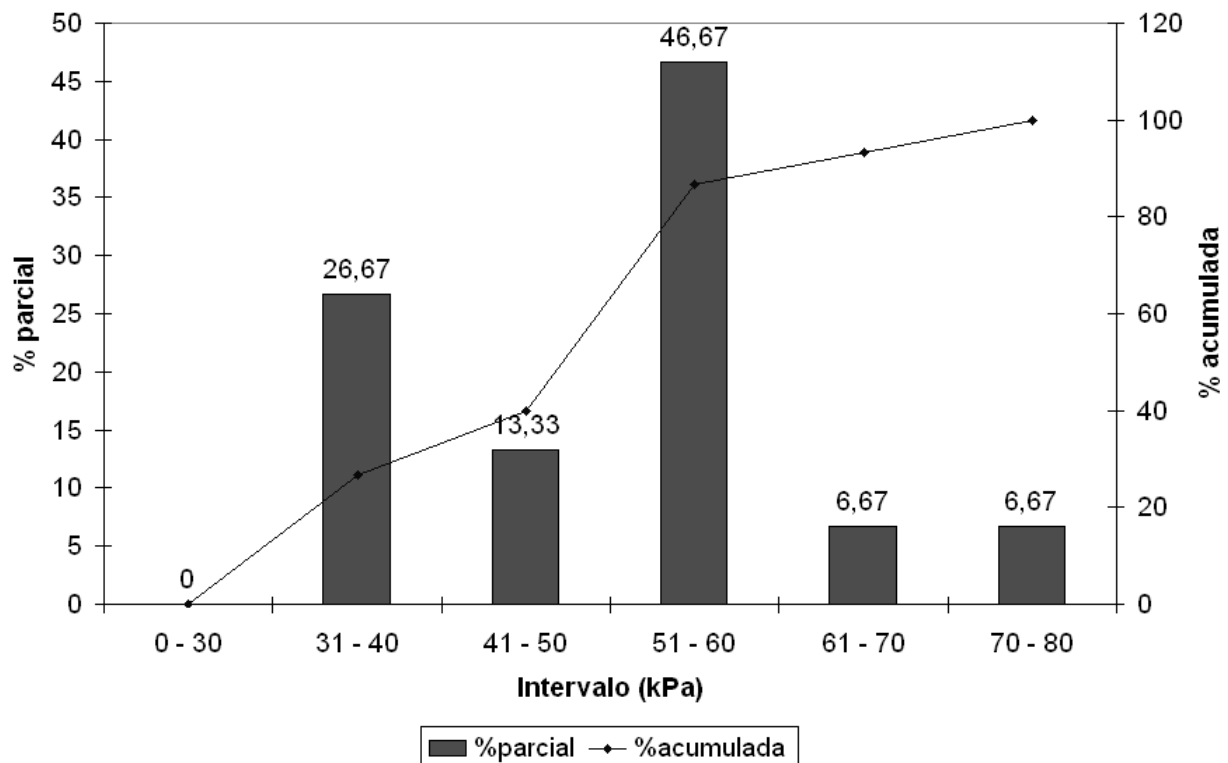


Figura 49. Histograma do índice de cone depois da operação com a roda compactadora.

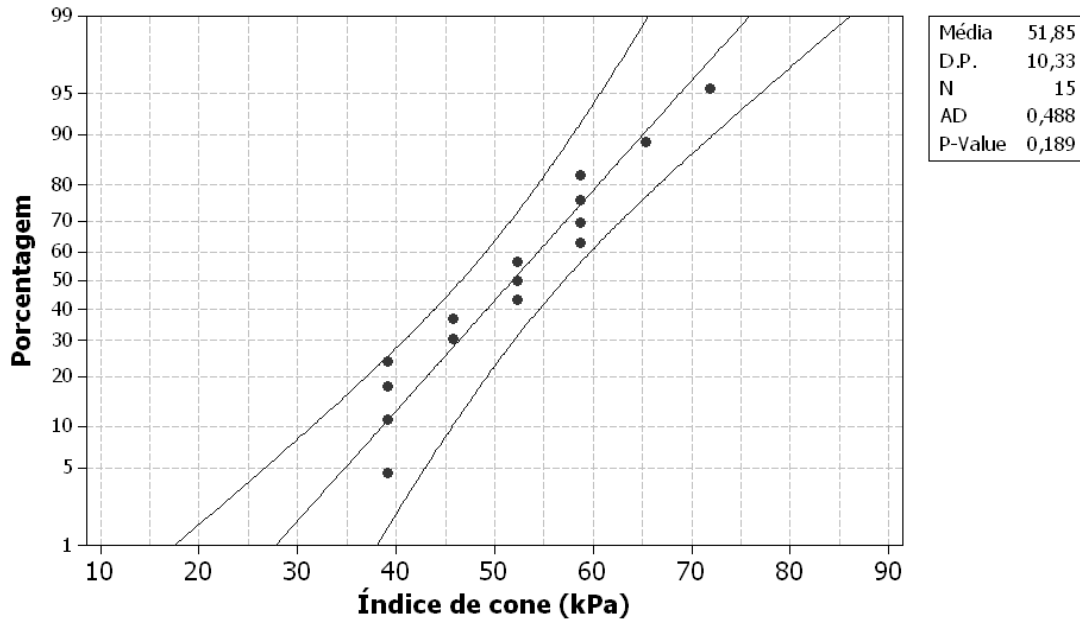


Figura 50. Gráfico de probabilidade normal do índice de cone depois da operação com a roda compactadora, intervalo de confiança de 95%.

Os dados do índice de cone depois da operação com roda compactadora tem uma distribuição normal. Nos testes de curtose e simetria, Tabela 19 , tem-se valores entre 2 e -2;

na Figura 49 o histograma de frequências apresenta uma distribuição acumulada condizente com as distribuições normais; no gráfico de probabilidade normal da Figura 50 os pontos encontram-se dentro dos intervalos de confiança de 95% e tem comportamento linear; o teste Anderson-Darling tem valor pequeno, próximo a zero e o valor p é maior do que a significância de 5% (0,05), portanto não é aceita a hipótese nula de normalidade, assim o desvio padrão é uma medida de adequado alcance estatístico para este conjunto de dados o que valida o gráfico de controle e a análise de capacidade do processo através dos índices Cp e Cpk. Fato interessante notado é a ação da roda compactadora de “normalizar” a compactação do sulco em relação ao índice de cone da operação sem a roda compactadora, isto pode se explicado pela diferença da estruturação do solo onde a roda compactadora atuou. Certamente havia regiões onde o solo estava mais susceptível a receber uma ação compressora (solo desagregado) do que em outras (solo com torrões).

O gráfico de controle do índice de cone depois da operação com roda compactadora é apresentado na Figura 51.

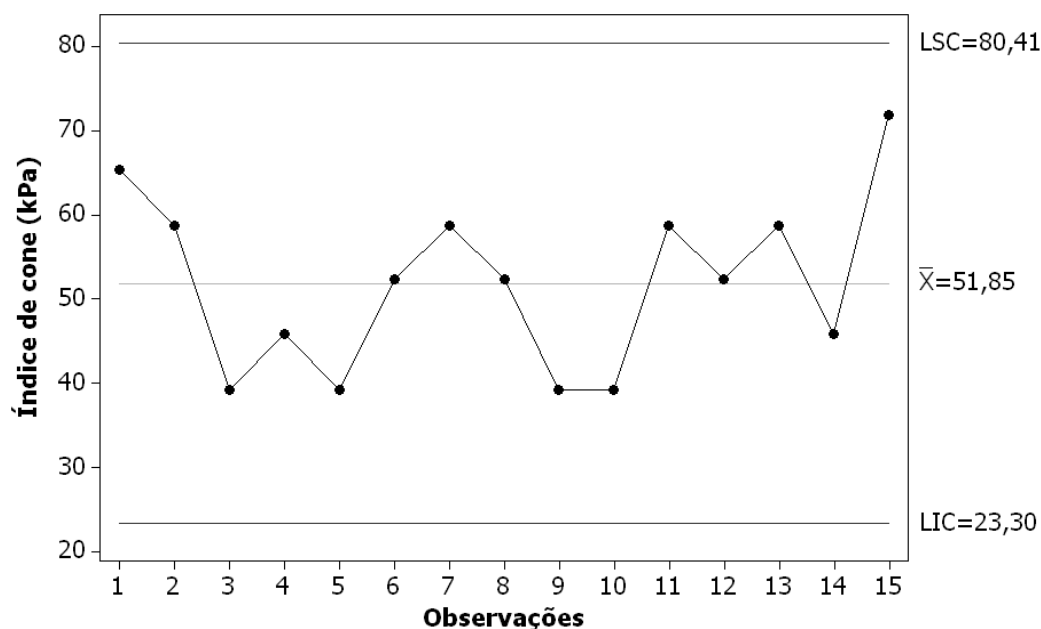


Figura 51. Gráfico de controle do índice de cone depois da operação com a roda compactadora.

Pelo gráfico de controle apresentado na Figura 51 verifica-se que a compactação do solo após a operação de semeadura através da roda compactadora é estável e tem pouca variabilidade o que caracteriza uma compactação homogênea na área de semeadura

possibilitando segundo Casão Jr. e Campos (2004) um adequado contato semente/solo levando as sementes às condições ideais para germinação.

A análise do processo do índice de cone depois da operação com roda compactadora é apresentada na Figura 52.

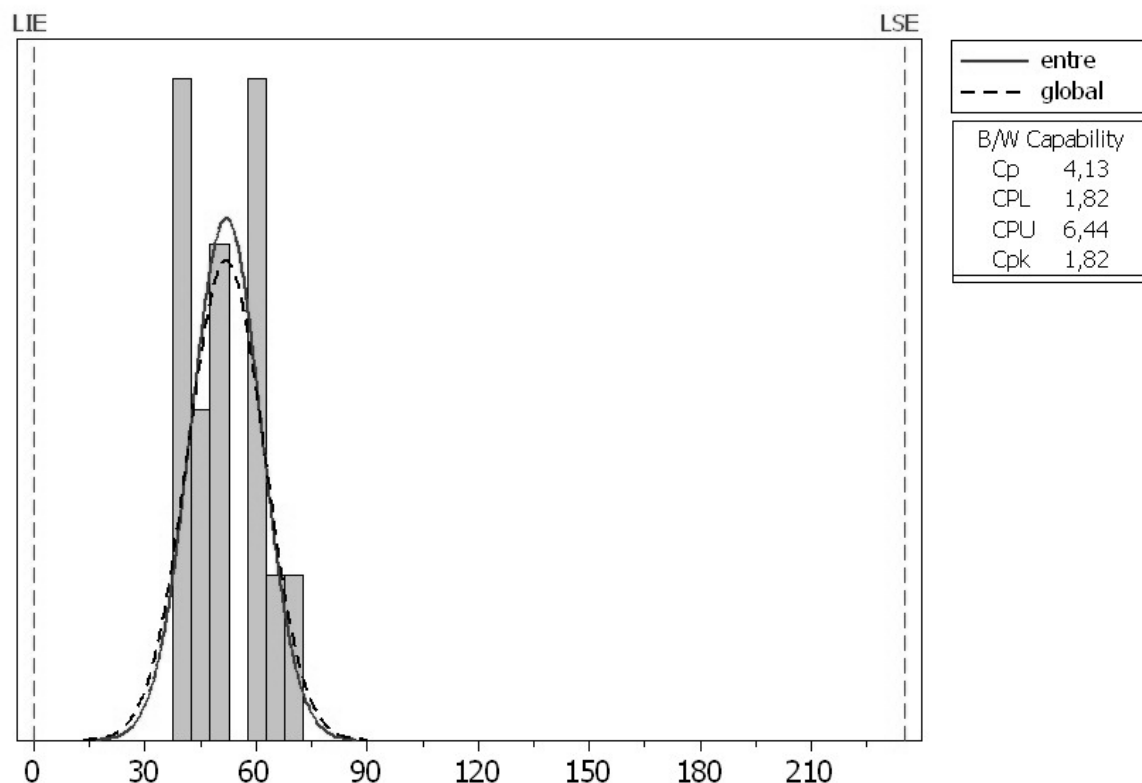


Figura 52. Análise do processo do índice de cone depois da operação com a roda compactadora.

Pelos dados obtidos tem-se um processo com capacidade adequada, $C_p=1,76$, e capacidade efetiva $Capaz$, $C_{pk}=1,83$, o que significa uma taxa de falha menor do que 1 em 1.500.000 amostras (Tabela 13) em função do limite superior de especificação calculado. O trabalho de Silva (2004) encontrou as melhores emergências de plântulas e produtividades para a soja, em função de forças de compressão do solo em torno de 235 N nas rodas compactadoras. Analisando o rodado da roda compactadora da NSMC foi encontrado que esta força era impressa no solo preparado em uma área de contato de 10 cm^2 o que caracterizou

uma tensão sobre o solo de 235 kPa, portanto foi considerado este limite de especificação superior. A Figura 52 mostra que a distribuição de dados não está centrada, mas entre os limites de especificação o que é comprovado pelos valores de C_p e C_{pk} que possuem amplitude entre si maior do que 2, no entanto o processo é identificando um processo capaz e adequado para a compactação do solo.

DESEMPENHO OPERACIONAL

Para avaliar o desempenho operacional foram feitos 10 tiros de 30 metros com cada linha de semeadura espaçada em 0,5 m o que soma um total de 150 m². A eficiência de campo efetiva da NSMC foi estimada considerando as perdas de tempo relativas a: manobras; estimativa para enchimento dos reservatórios de sementes e fertilizante; ajuste de profundidade; ajustes gerais da máquina; e estimativa de tempo para lubrificação e reabastecimento de combustível. Os dados brutos destas avaliações são apresentados no Anexo 8.5.

O tempo de manobras foi obtido experimentalmente e é de 23,6 s por tiro, se considerarmos a capacidade de campo teórica de 0,038 ha/h, em um turno de trabalho de 10 horas tem-se um total de 0,38 ha semeados, portanto tem-se um total de 76 tiros, assim o tempo total de manobras em um dia de trabalho é de 1793,6 s, ou aproximadamente 30 minutos. Sob uma recomendação de aplicação de 250 kg de fertilizantes por hectare, na área de 0,38 ha são necessários 95 kg, considerando que o reservatório tem capacidade de 50 kg são necessários dois enchimentos do reservatório de fertilizantes, estimando-se um tempo necessário para cada enchimento de 30 s, o tempo total de enchimento de reservatório de fertilizante é de 1 minuto por dia de trabalho. Considerando uma distribuição de 15 sementes/metro para efeito de cálculo, para 0,38 ha são necessárias 114.000 sementes, o reservatório de sementes tem capacidade para 15 litros de volume, considerando a porosidade existente entre grãos de soja acondicionados em um recipiente (ASAE, 1997) de 33,8%, tem-se um volume ocupado pelos grãos de 66,2%, portanto 9,9 litros o que subentende aproximadamente 99.000 sementes, portanto para um turno de 10 horas são necessários dois enchimentos do reservatório, considerando-se um tempo necessário de 30 segundos para cada enchimento são precisos 1 minuto para o reabastecimento de sementes. O ajuste de

profundidade é realizado hidráulicamente e é feito para cada tiro, estima-se um tempo de 10 segundo para cada ajuste/tiro, considerando 76 tiros, tem-se 760 s, ou 12,6 minutos. Os ajustes gerais da máquina devem ser feitos 1 vez a cada turno e demandam aproximadamente 15 minutos. Para lubrificar demanda-se 5 minutos, uma única vez por turno. Para o reabastecimento de combustível, considerando-se o consumo de 1,5 litro de diesel/hora do motocultor Bertolini 318, para um turno de 10 horas tem-se um consumo de 15 litros, o tanque de combustível do motocultor acomoda 15 litros, portanto é necessário apenas um reabastecimento por dia, com um gasto de tempo de aproximadamente 5 minutos por dia. Seguindo a metodologia descrita por ASAE (1997) a eficiência de campo da NSMC é de 88,5%. Portanto a Capacidade de campo efetiva média da NSMC é 0,034 ha/h.

Tabela 20. Sumário Estatístico da Capacidade de Campo Efetiva.

	Capacidade de Campo Efetiva (ha/h)
Observações	10
Média	0,0337
Variância	0,00000156
Desvio Padrão	0,00125
Coeficiente de Variação	3,7%
Máximo	0,032
Mínimo	0,035
Amplitude	0,003
Simetria	-0,186
Curtose	-1,144

Pelos dados apresentados verifica-se que a patinagem da roda motora do motocultor é no sentido de aumentar o número de revoluções necessárias para se percorrer o trajeto, isto se deve à resistência fornecida pela semeadora ao avanço do conjunto, o valor médio de 17,5 % é maior do que o valor recomendado pela ASAE (1997), isto ocorreu devido à falta de lastro do

motocultor que é demasiado leve, tal problema é facilmente corrigido através da adoção de lastros sólidos e líquidos na máquina.

Já em relação à patinagem da roda motora da semeadora o valor médio de 12% subentende modificação na taxa de aplicação de adubos e na dosagem de sementes, tal problema pode ser facilmente solucionado ao se aumentar a pressão da roda motora sobre o solo. Esta regulagem na NSMC é feita através de uma haste reguladora com furos de espaçamento específico de 5 cm, para se aumentar a pressão de contato da roda motora com o solo é preciso colocar o eixo desta em orifícios de cota inferior, como a regulagem é realizada de 5 em 5 cm ao se tentar imprimir maior pressão na roda a mesma elevava o chassi da semeadora em 5 cm de forma que a estrutura era solicitada excessivamente. Este fato foi detectado somente durante os experimentos de caracterização da semeadora. Para facilitar as contagens no experimento de emergência a dosagem de sementes foi regulada para 12 sementes por metro, através da utilização de disco específico de 12 furos, assim com a patinagem de 12% foi obtida uma dosagem de 10 sementes por metro. Em relação à taxa de adubação foi selecionada outra combinação de engrenagens que possibilitou a aplicação da taxa correta de fertilizantes. A configuração inicial era: engrenagem motora Y que é acoplada a semeadora e a engrenagem Z do câmbio de adubo que fornece uma relação de transmissão de valor $i=0,154$ o que significa 6,48 revoluções da adubadora para cada revolução da roda motora, como há uma patinagem de 12%, para que haja a mesma aplicação de adubos são necessárias 7,25 revoluções da adubadora para cada revolução (com patinagem) da roda motora. Assim a relação ideal seria 0,138, foi escolhida a combinação de engrenagens Y/W que fornece uma relação 0,122.

A capacidade de campo da nova semeadora está dentro do valor de projeto. A NSMC tem como alvo as pequenas propriedades familiares que em média tem 10 ha. Segundo IBGE (1996) esta categoria de tamanho representa 74% de todas as propriedades familiares brasileiras. O valor da capacidade de campo efetiva possibilita preparar um hectare em 29,7 horas, assim uma propriedade (10 ha) pode ser semeada em 297 horas o que resulta num total de 29,7 dias de trabalho, em função de turnos de 10 horas. Em um período de semeadura de 45 dias (VOLPATO, 2001) tem-se a necessidade atendida.



Figura 53. Avaliação operacional da NSMC, Protótipo 2, área de caracterização da semeadura.

Os testes de normalidade da capacidade de campo efetiva da NSMC são apresentados na Figura 54 e na Figura 55.

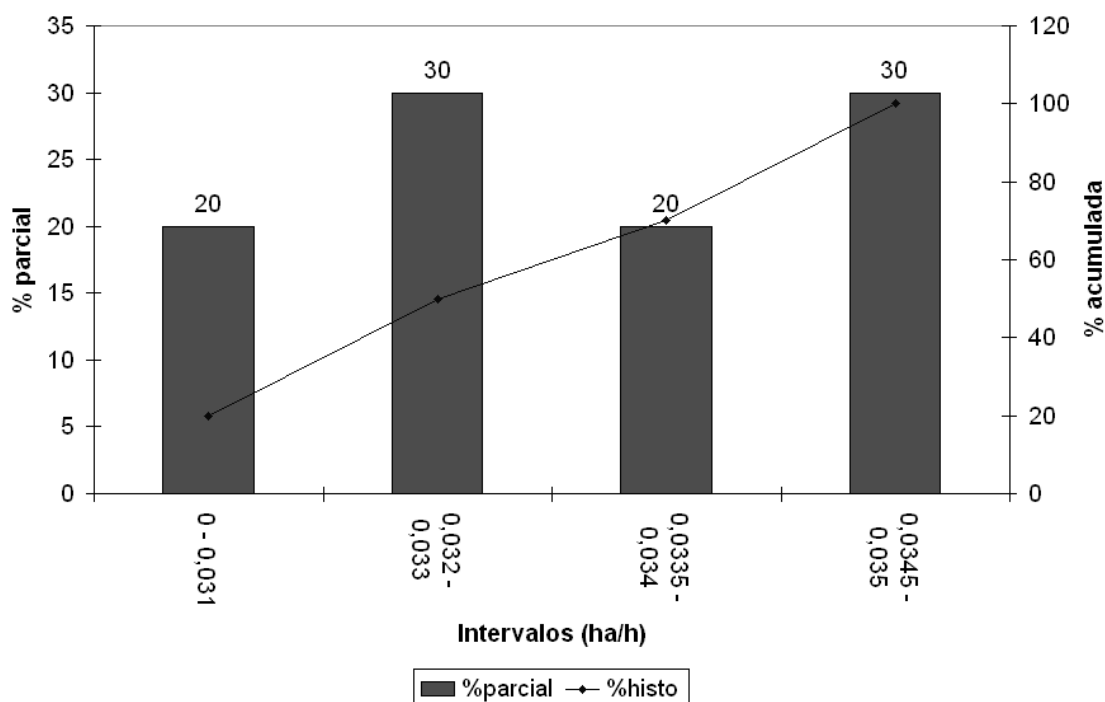


Figura 54. Histograma da avaliação da capacidade de campo efetiva.

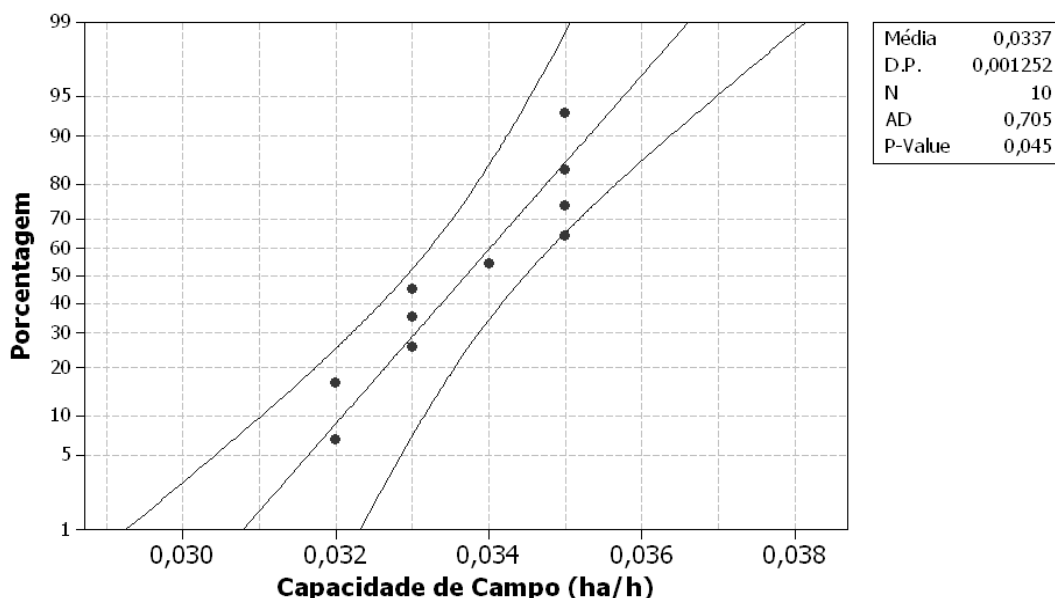


Figura 55. Gráfico de probabilidade normal da capacidade de campo efetiva, intervalo de confiança de 95%.

A observação dos coeficientes de curtose e simetria mostram que a capacidade de campo da NSMC respeita uma distribuição normal, pois estão dentro do intervalo entre -2 e 2 ; a distribuição acumulada do histograma da Figura 54 mostra estes fatos e apresenta-se um pouco deformado em relação a distribuição normal padrão. O gráfico de probabilidade normal mostrado na Figura 55 se apresenta com pontos muito próximos dos limites de confiança de 95%, inclusive com um ponto fora deste limite, além dos pontos não se comportarem linearmente. O teste de Anderson-Darling (A.D.) tem valores grandes, muito distantes de zero e o valor p é menor do que a significância de 5% (0,05), portanto é aceita a hipótese nula de normalidade. Poderia-se considerar que estes dados têm normalidade devido aos testes de curtose, simetria e histograma, mas não normalidade em função do gráfico de probabilidade normal e teste A.D, como estes últimos testes são mais poderosos foi considerado que os dados não respeitam uma curva normal e o desvio padrão não é uma medida totalmente confiável para análise da variabilidade dos dados o que torna os gráficos de controle e os índices C_p e C_{pk} não inteiramente confiáveis.

O gráfico de controle da capacidade de campo efetiva é apresentado na Figura 56.

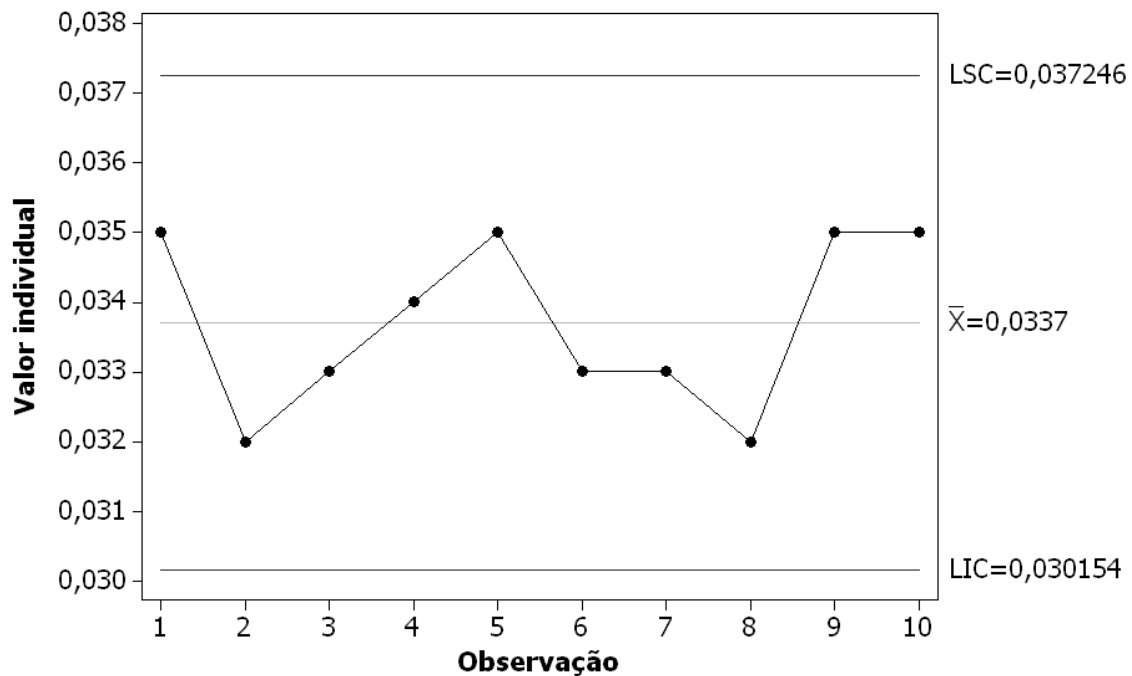


Figura 56. Gráfico de controle da capacidade de campo efetiva.

Pela Figura 56 tem-se que a capacidade de campo é estável, já que nenhum ponto deixou os limites de controle, a variabilidade se mostrou normal o que indica um processo estabilizado.

A análise do processo da capacidade de campo efetiva da NSMC é apresentada na Figura 57.

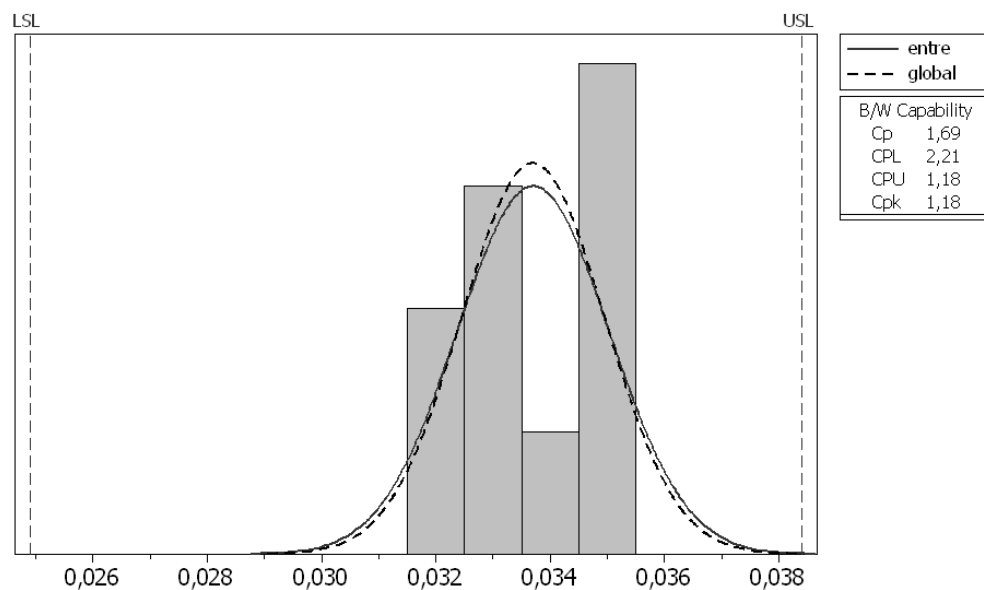


Figura 57. Análise da capacidade do processo da capacidade de campo efetiva.

Pela Figura 57 verifica-se que os valores de capacidade de campo tem média descentrada em relação aos limites de especificação, no entanto esta observação deve ser considerada com cautela pois o limite inferior foi considerado como zero, esta escolha deixou a média do processo muito longe do valor médio entre os limites e interessante próxima a capacidade de campo teórica que é o limite superior (LSE=0,038). Esta descentralização pode ser notada pela diferença entre o C_p e o C_{pk} .

O gráfico da média móvel exponencialmente ponderada da capacidade de campo efetiva da NSMC é apresentado na Figura 58.

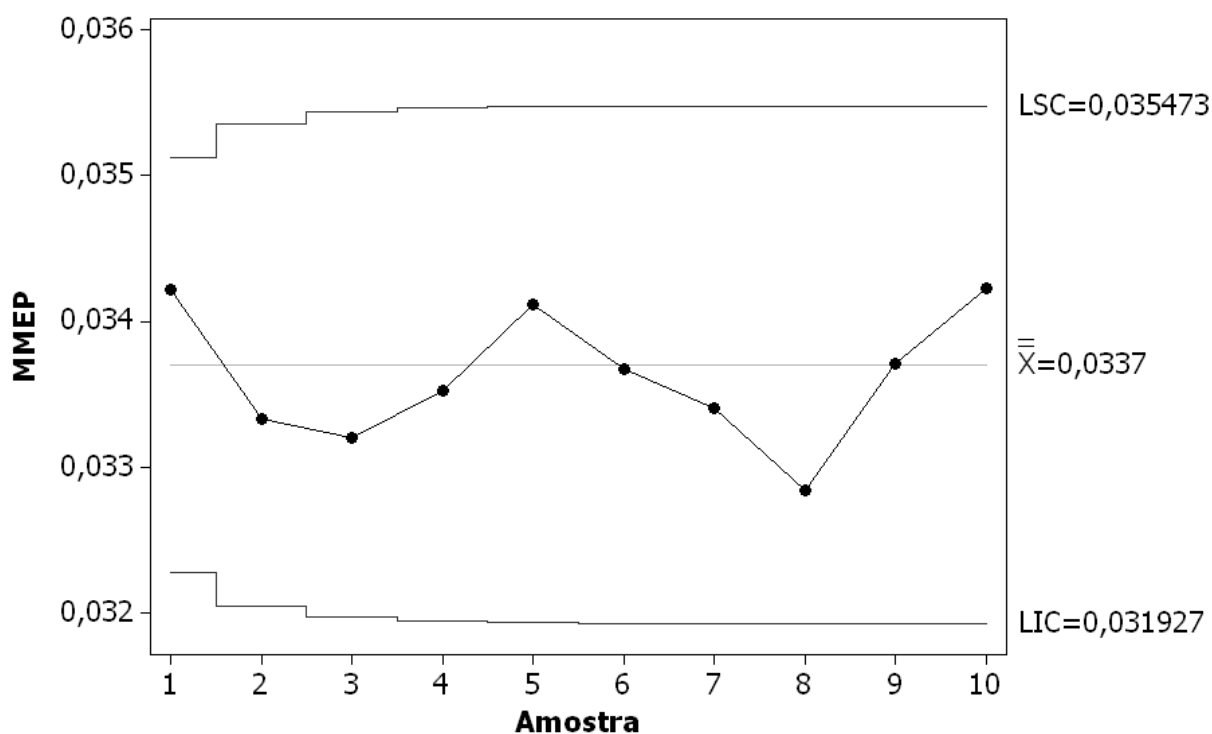


Figura 58. Gráfico da média móvel exponencialmente variável da capacidade de campo.

$$C_{pc}=1,044$$

O gráfico MMEP, Figura 58, apresenta uma menor variabilidade do que o gráfico de controle o que era de se esperar, por se tratar de uma ferramenta adequada para processos não normais, os limites de controle foram respeitados e ao se calcular o C_{pc} encontrou-se uma taxa

de falha de 1 em 400 o que é muito bom em termos de homogeneidade de operação, segundo Mahl (2006) a capacidade de campo efetiva é função direta da velocidade de deslocamento, portanto a NSMC teve pouca variação de velocidade, neste foco apenas 0,25% do processo não está dentro das especificações, no entanto é válido lembrar que o limite inferior de especificação foi considerado zero ao se aproximar este limite de valores com 0,030 estas taxas de falhas diminuirão.

ESPAÇAMENTO E PROFUNDIDADE DE SEMENTES EM CONDIÇÕES REAIS

A distribuição longitudinal de sementes que foram efetivamente semeadas e sua profundidade de semeadura foram obtidas de 6 pontos distintos, em cada ponto foram descobertas 1 metro de linha de semeadura seguindo o delineamento experimental das seqüências A, B, C, D, E e F, Figura 24. Os dados brutos são apresentados no Anexo 8.6.

Tabela 21. Sumário Estatístico Espaçamento e Profundidade das sementes plantadas.

	Profundidade (mm)	Espaçamento entre sementes (mm)
Observações	62	62
Média	50,8	101,6
Variância	121,7	547
Desvio Padrão	11,03	23,4
Coeficiente de Variação	21%	22%
Máximo	80	160
Mínimo	25	55
Amplitude	55	105
Simetria	-0,094	0,89
Curtose	0,789	-0,043

Seguindo as recomendações de Mialhe (1996), tem-se os seguintes limites em termos de espaçamentos:

Duplo= 50 mm > Xi > 150 mm = Falha

Nestas condições, tem-se:

Tabela 22. Avaliação de duplos, falhas e sementes quebradas.

Teste	Quebrada	Duplo	Falha
Porcentagens	0 (0%)	0 (0%)	5 (8,06%)

Verifica-se pelos dados apresentados que a influência da patinação de 12% da roda motora na distribuição longitudinal de sementes foi sentida, pois a dosagem regulada de 10 sementes por metro ocorreu, o espaçamento médio foi de 100 mm como o esperado. O problema da patinação foi corrigido pela troca do disco de sementes o que compensou a diferença de 12% em rotação. Dado interessante apresentado pelo sumário estatístico é o pequeno coeficiente de variação tanto para o espaçamento como para a profundidade o que caracteriza uma semeadura de precisão, outro dado importante é a média da profundidade de semeadura que está dentro da faixa regulada entre 50 mm.



Figura 59. Espaços entre sementes dosadas pelo Protótipo 2, notar as elipses amarelas.

Os teste de normalidade do espaçamento entre sementes em operação real é apresentado na Figura 60 e Figura 61.

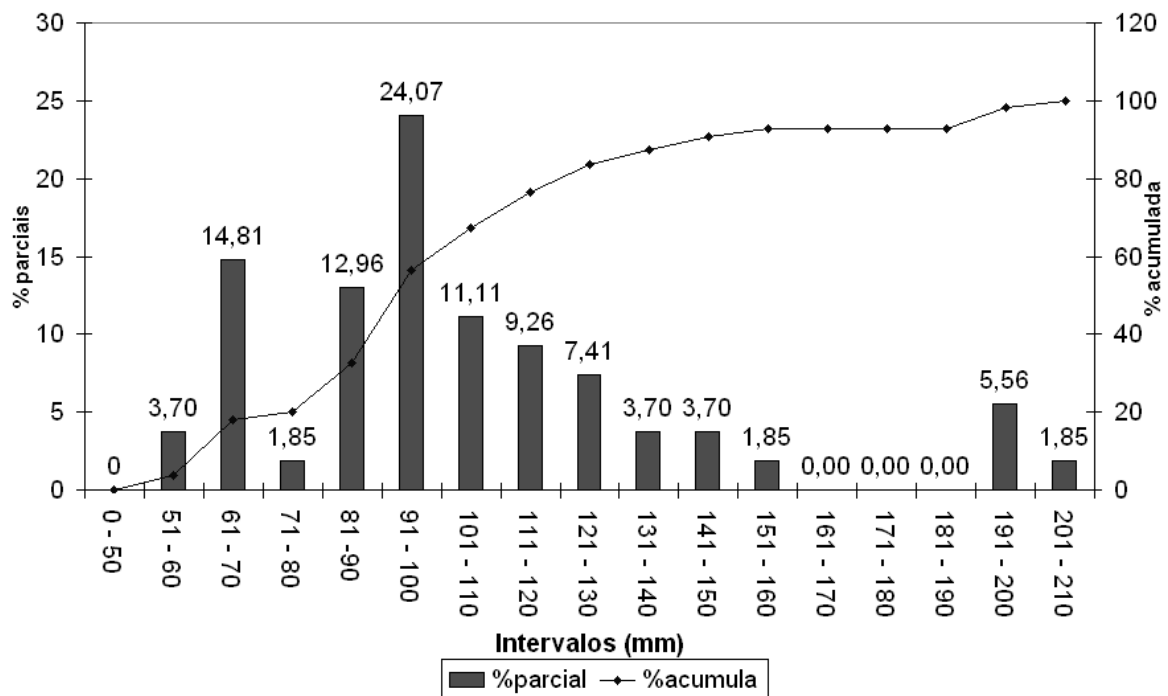


Figura 60. Histograma dos espaçamentos entre sementes em operação real.

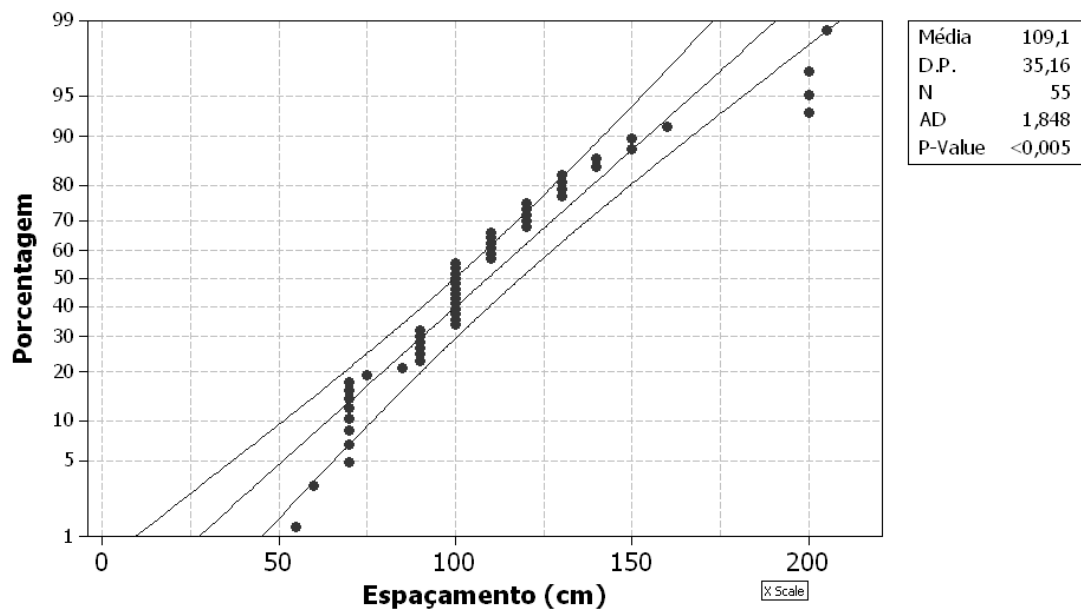


Figura 61. Gráfico de probabilidade normal dos espaçamentos entre sementes operacionais, intervalo de confiança de 95%.

A observação tanto dos coeficientes de curtose como de simetria mostra que o espaçamento operacional de sementes distribuídas pela NSMC respeita uma distribuição

normal, pois estão dentro do intervalo entre -2 e 2 ; a distribuição acumulada do histogramas na Figura 60 é diversa de uma distribuição normal padrão. O gráfico de probabilidade normal mostrado na Figura 61 tem pontos fora dos limites de confiança de 95%, além de não se comportarem linearmente. O teste de Anderson-Darling (A.D.) tem valores grandes, muito distantes de zero e o valor p é menor do que a significância de 5% (0,05), portanto é aceita a hipótese nula de normalidade. O desvio padrão não é uma medida confiável para análise da variabilidade dos dados o que torna os gráficos de controle e os índices C_p e C_{pk} , não confiáveis.

O gráfico de controle do espaçamento entre sementes em operação real é apresentado na Figura 62.

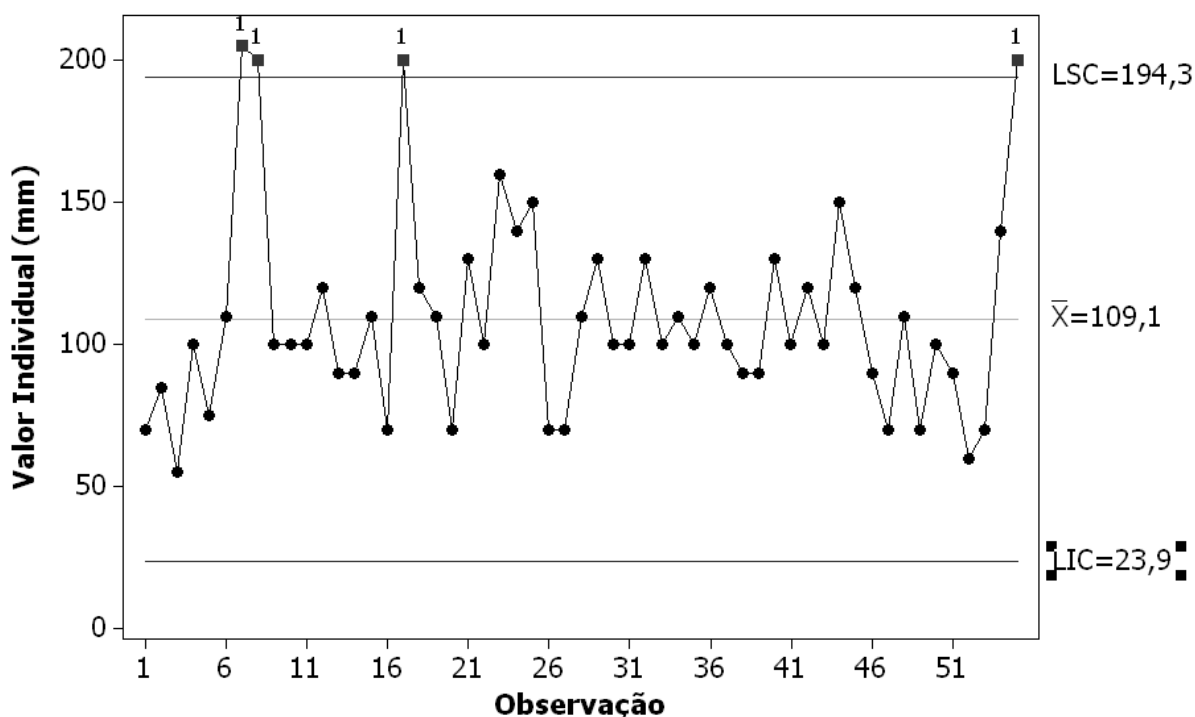


Figura 62. Gráfico de controle do espaçamento entre sementes em operação real.

Pelo gráfico de controle apresentados na Figura 62 verifica-se que a distribuição de sementes pelo mecanismo de anel interno rotativo tem muita variabilidade e os 3 pontos fora

do limite superior de controle indicam um processo instável. No entanto ao se retirar os pontos fora dos limites de controle verifica-se que o processo de semeadura é menos variável.

A análise do processo do espaçamento entre sementes em operação real é apresentado na Figura 63.

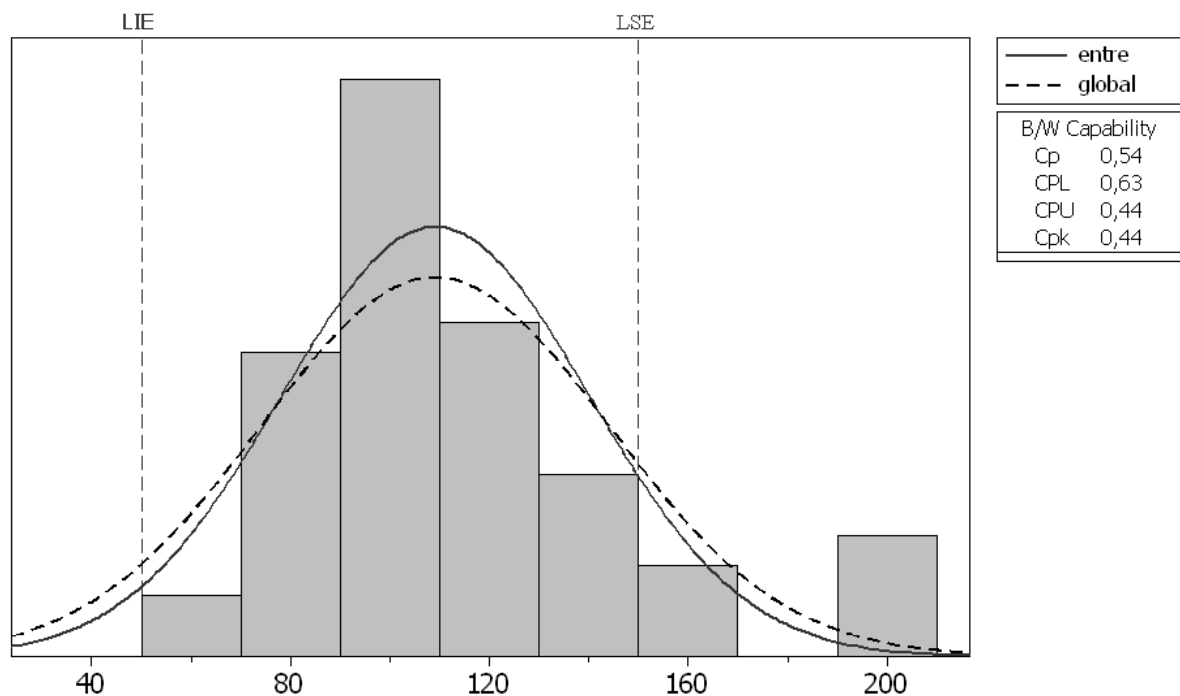


Figura 63. Análise da capacidade do processo de espaçamentos entre sementes real.

Embora os índices Cp e Cpk não sejam adequados para análise do processo pode-se observar na Figura 63 pela amplitude das diferenças entre eles que os processos estão descentrados em relação aos limites de especificação (LIE=50 mm e LSE=150 mm), além de haver dados fora do limite superior de especificação o que indica um processo não adequado e incapaz “em termos “industriais”, no entanto em condições agrícolas estes índices devem ser considerados a luz da realidade de campo.

O gráfico da média móvel exponencialmente ponderada do espaçamento entre sementes em operação real é apresentado na Figura 64.

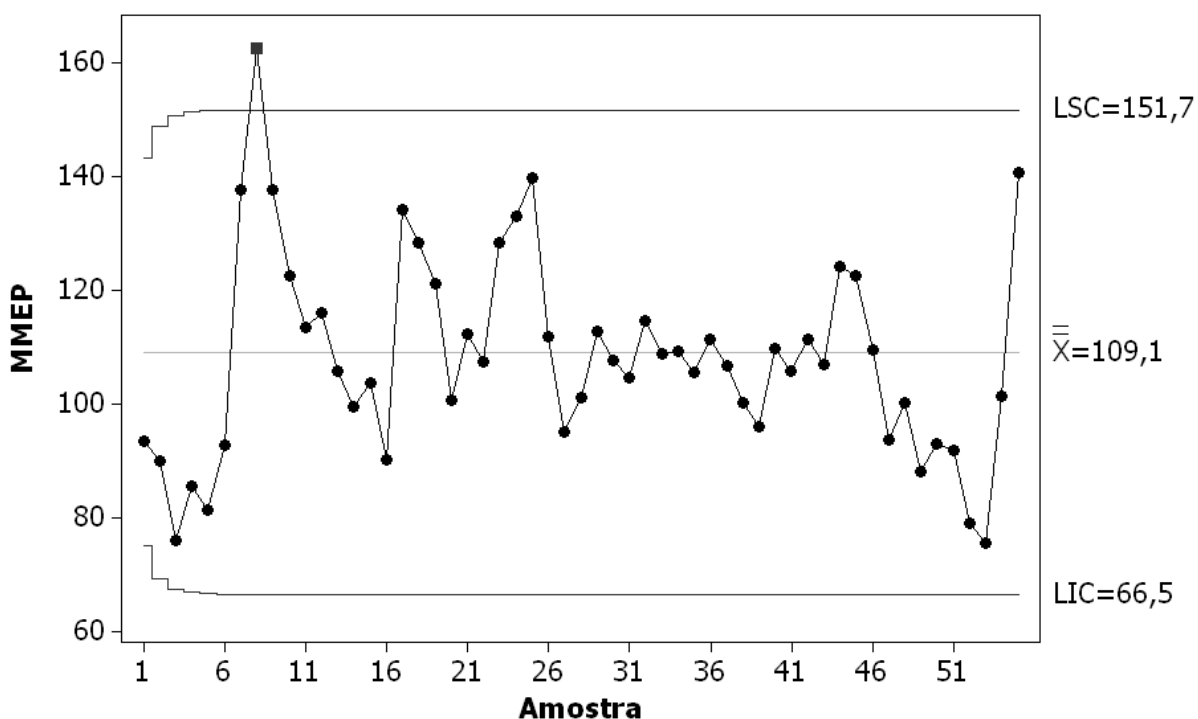


Figura 64. Gráfico da média móvel exponencialmente ponderada do espaçamento entre sementes em operação real.

$$C_{pc}=0,585$$

Pelo gráfico MMEP verifica-se que o processo tem uma variabilidade expressiva, mas está muito mais estável em relação ao gráfico de controle, principalmente se considerarmos a retirada do único ponto fora do limite de especificação superior. Ao se analisar o C_{pc} verifica-se que o processo é adequado, pois em função da Tabela 13, obteve taxa de falha de 1 em 11 amostras o que perfaz 9,09% de falhas, valor considerado bom para semeaduras, isto indica que o processo é adequado e capaz, “dentro de especificações para semeadoras pneumáticas”, ou seja 90% de precisão (MIALHE, 1996).

Os testes de normalidade de profundidade de semeadura em operação real são apresentados na Figura 65 e na Figura 66.

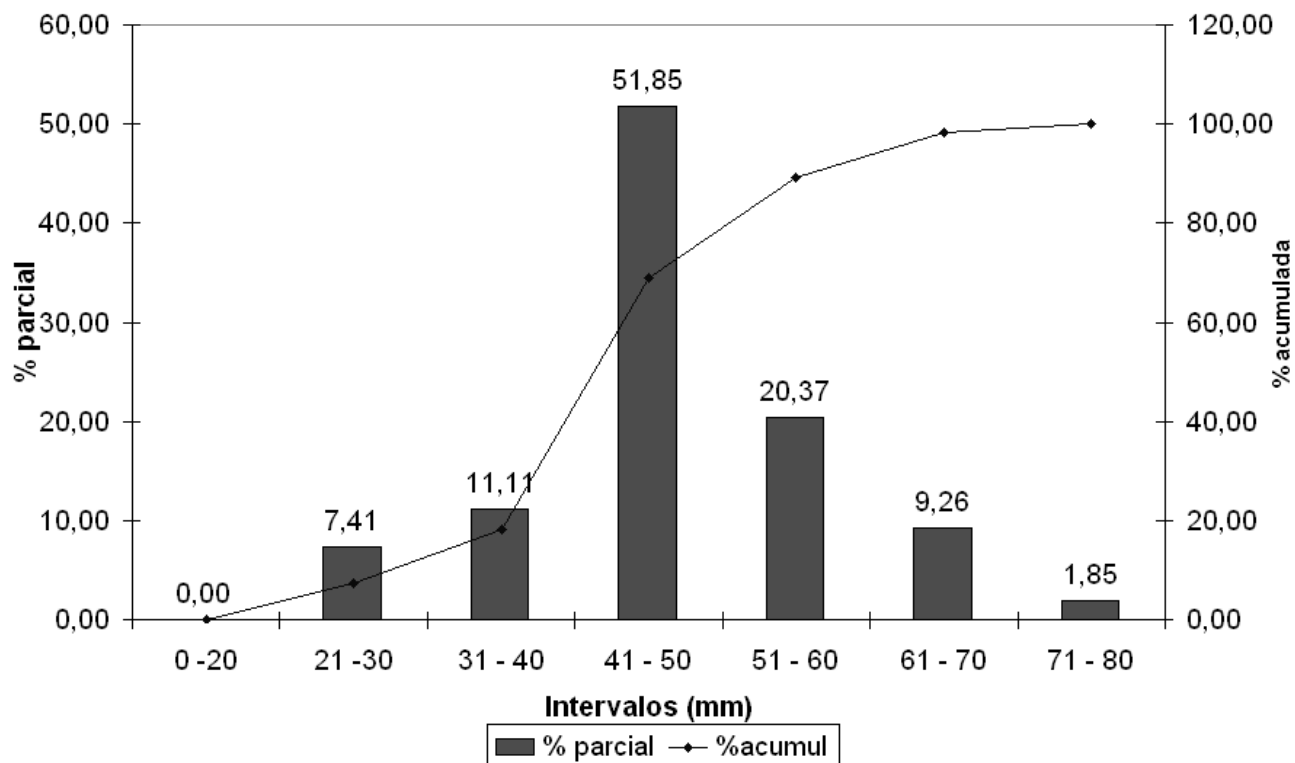


Figura 65. Histograma da Profundidade de sementes em operação real.

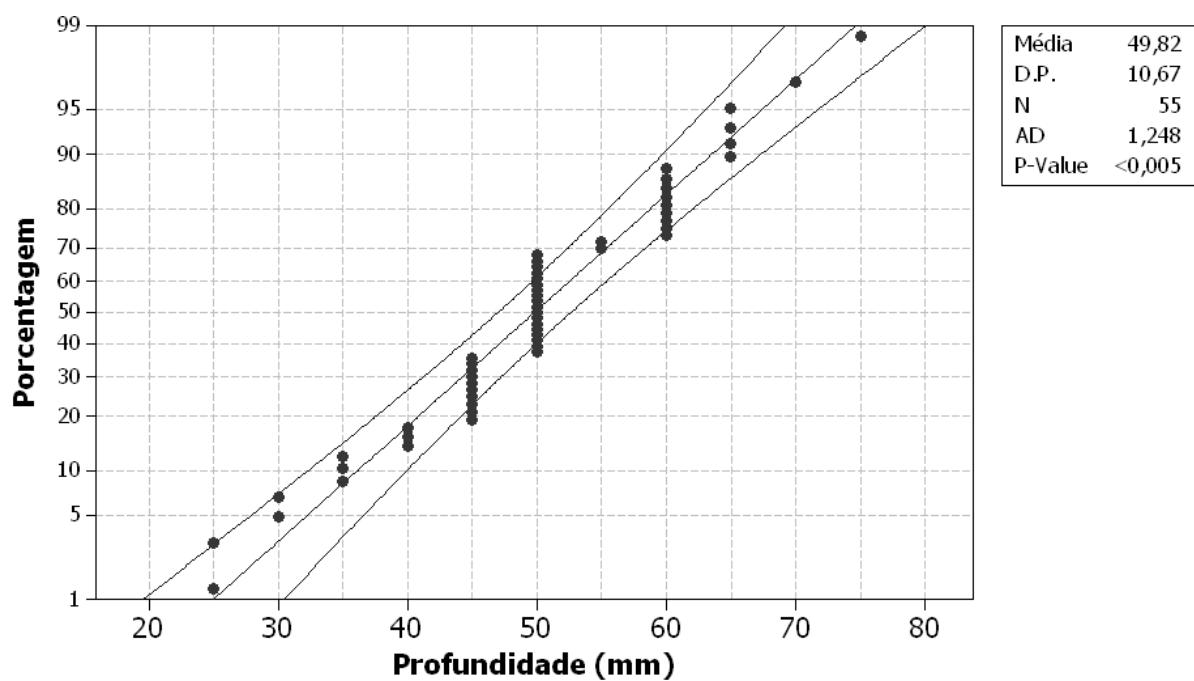


Figura 66. Gráfico de probabilidade normal da profundidade de sementes, intervalo de confiança de 95%.

A observação tanto dos coeficientes de curtose como de simetria mostra que a profundidade de semeadura respeita uma distribuição normal, pois estão dentro do intervalo entre -2 e 2 , no entanto a distribuição acumulada do histogramas na Figura 65, não é de uma distribuição normal padrão. O gráfico de probabilidade normal mostrado na Figura 66 tem pontos fora dos limites de confiança de 95%, além de não se comportarem linearmente. O teste de Anderson-Darling (A.D.) tem valores grandes, muito distantes de zero e o valor p é menor do que a significância de 5% (0,05), portanto é aceita a hipótese nula de normalidade. Também na profundidade o desvio padrão não é uma medida confiável para análise da variabilidade dos dados o que torna os gráficos de controle e os índices C_p e C_{pk} , não confiáveis.

O gráfico de controle da profundidade de semeadura em operação real é apresentado na Figura 67.

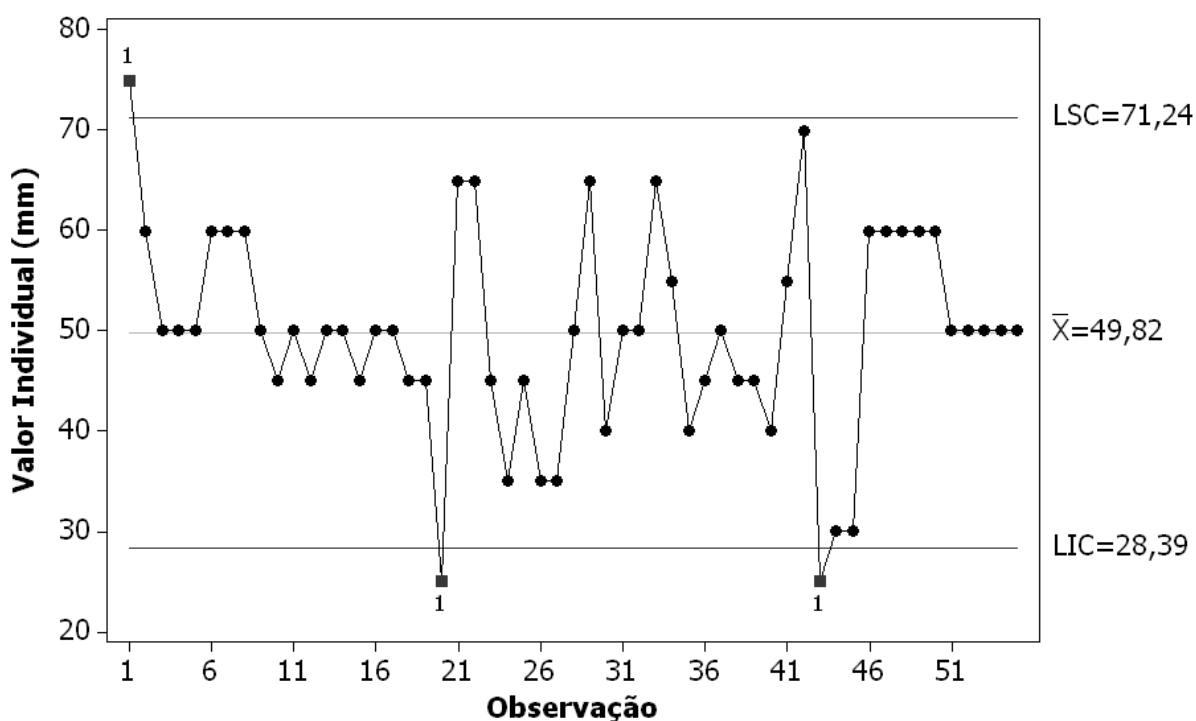


Figura 67. Gráfico de controle da profundidade de sementes.

Pelo gráfico de controle apresentado na Figura 67 verifica-se que profundidade das sementes depositadas pelo sistema de sulcador de sementes teve muita variabilidade e que 2 pontos estão fora do limite inferior de controle e 1 fora do limite superior de controle o que indica um processo instável. Estes fatos podem ser explicados pela inexistência de um sistema seguidor de terreno para o sulcador de sementes, ou pelo deslocamento de torrões ou agregados maiores presentes no interior do solo mobilizado. No entanto ao se retirar os pontos fora dos limites de controle verificam-se que o processo de semeadura é menos variável.

A análise do processo da profundidade de semeadura em operação real é apresentada na Figura 68.

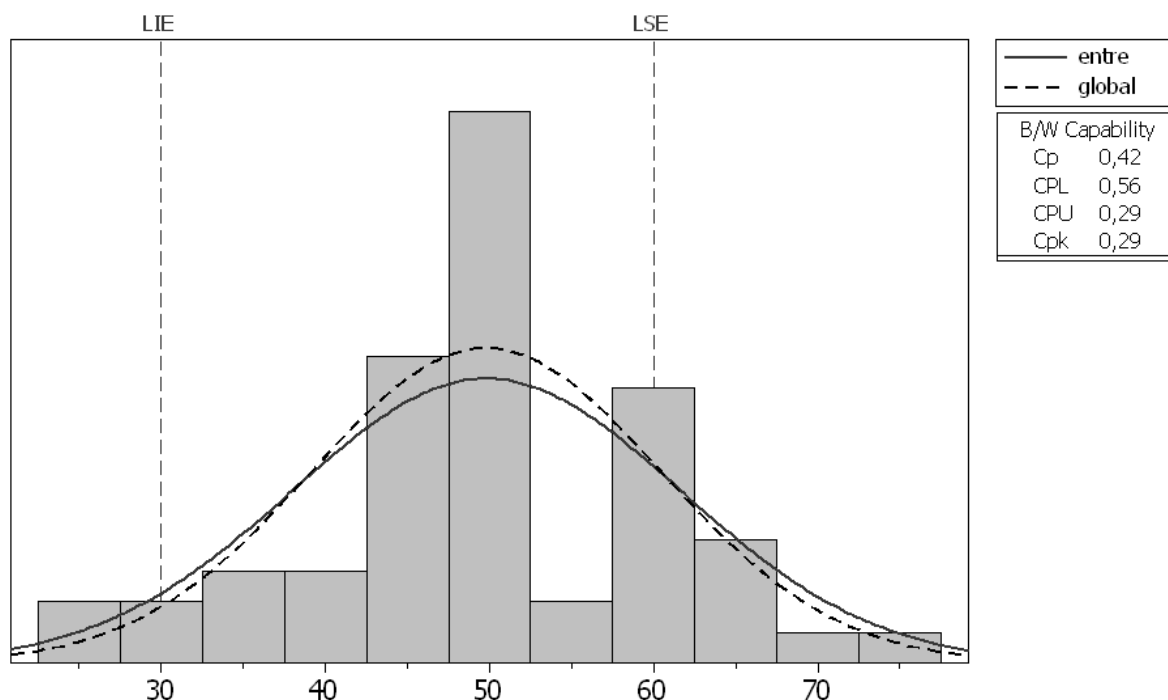


Figura 68. Análise da capacidade do processo de profundidades de sementes.

Pode-se observar na Figura 68 e pela amplitude das diferenças entre o Cp e Cpk que o processo está descentrado em relação aos limites de especificação (LSE=60 mm e LIE=30 mm, definidos por CÂMARA, 2000), além de haver dados fora dos limites de especificação, indicando um processo não adequado e incapaz, principalmente em relação à observação de

Mahl (2006) que afirma haver a influência significativa e direta da variação da profundidade de semeadura no índice de emergência e número médio de dias para emergência.

O gráfico da média móvel exponencialmente ponderada da profundidade de semeadura em operação real é apresentado na Figura 69.

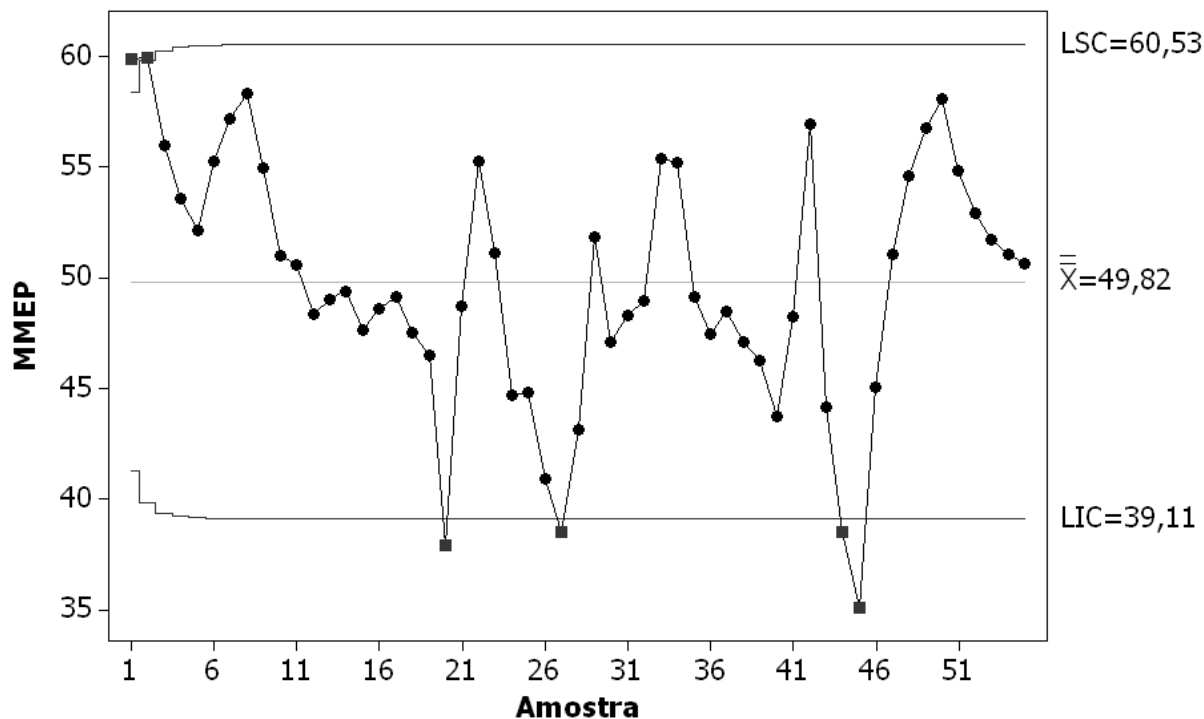


Figura 69. Gráfico da média móvel exponencialmente ponderável da profundidade de sementes.

$$Cpc=0,703$$

Pelo gráfico MMEP verifica-se que o processo tem uma variabilidade expressiva e inclusive está mais variável que no gráfico de controle o que prova a inadequação do gráfico de controle para processos não normais, este fato pode incorrer em mascaramento dos dados, caso se confie inteiramente no gráfico de controle. No entanto ao se analisar o Cpc verifica-se que o processo é adequado, pois em função da Tabela 13, obteve taxa de falha de 1 em 20 amostras o que perfaz 5% de falhas, portanto um desempenho aceitável. Uma possível razão para esta variação da profundidade pode ser uma atuação dos agregados de maior tamanho que

aos serem movimentados pelo “paraplow” rotativo permaneciam em um equilíbrio instável na parede do sulco preparado, no intervalo de tempo entre a ejeção da semente pelo mecanismo semeador e a queda pelo tubo até o solo, estes agregados maiores caíam ou se movimentavam no sulco, assim a semente depositava-se em um local não apropriado.

PERFIL DO SULCO PREPARADO PELO “PARAPLOW” ROTATIVO

O perfil do sulco preparado foi obtido seguindo o delineamento experimental, através da coleta de um ponto no centro das seguintes parcelas: A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M e N. Os dados brutos são apresentados no Anexo 8.7.

Tabela 23. Sumário Estatístico das características geométricas do sulco.

	Largura Superior (mm)	Largura Inferior (mm)	Largura Fissuras (mm)	Profundidade Sulco (mm)
Observações	14	14	14	14
Média	115,71	205,71	428,57	111,43
Variância	180,22	222,53	4536,26	59,34
Desvio Padrão	13,42	14,92	67,35	7,70
C. V. (%)	11,60	7,25	15,72	6,91
Máximo	90,00	190,00	300,00	100,00
Mínimo	130,00	235,00	580,00	130,00
Amplitude	40,00	45,00	280,00	30,00
Simetria	-1,29	1,43	0,60	1,40
Curtose	0,08	0,31	0,97	1,42

Pela Tabela 39 verifica-se nitidamente a caracterização trapezoidal do sulco de semeadura, assim como a grande largura de fissuras nas laterais do sulco (ALBIERO, 2006), a largura média das fissuras de 430 mm resulta em uma escarificação em praticamente toda a área de semeadura que não foi preparada, pois se considerarmos o espaçamento entre linhas de 500 mm tem-se que cada linha de semeadura preparada pelo paraplow atinge uma largura de

escarificação de 215 cm, se for considerado a linha parceira tem-se um total de 430 mm de escarificação na entre linha, ou seja 86% de toda a área de entre linhas é escarificada. Outro dado interessante é a profundidade do sulco preparado que tem um valor médio de 110 mm, apesar de ter sido regulado para 120 mm, se for considerado a profundidade que a semente e que o adubo é depositado pelo tubo central do paraplow tem-se um desnível entre o adubo e a semente de 60 mm que é considerado ideal por Casão Jr. e Siqueira (2003). A ação do “paraplow” rotativo não permite o espelhamento do sulco, pois o mesmo tem uma ação de escarificação volumétrica em termos de forças de cisalhamento vetoriais sobre o corpo do solo, atuando ortogonalmente em relação à direção de rotação da ferramenta (ALBIERO, 2006), assim o solo não sofre a ação de “polimento” de sua superfície no sentido de ocorrer um alinhamento das partículas e diminuição da rugosidade da parede o que formaria a parede espelhada.

Os testes de normalidade da largura superior do sulco preparado pelo “paraplow” rotativo são apresentados nas Figura 70 e Figura 71.

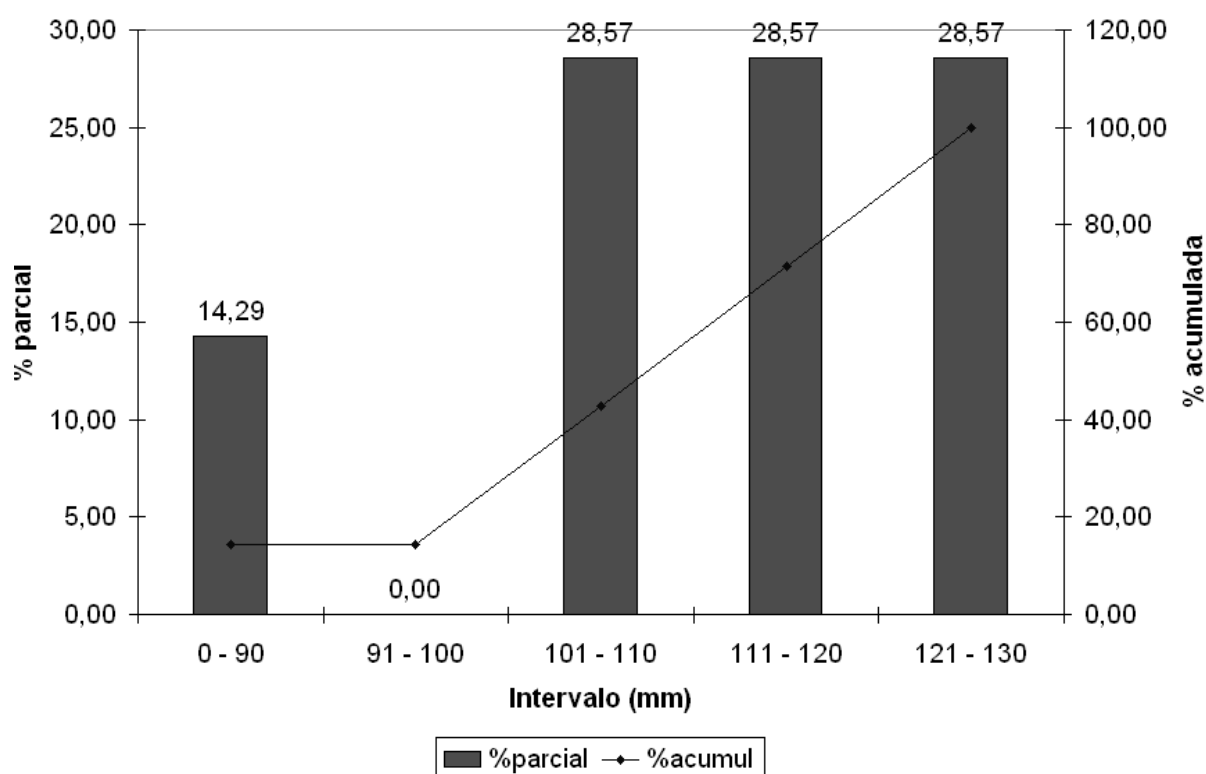


Figura 70. Histograma da Largura superior do sulco.

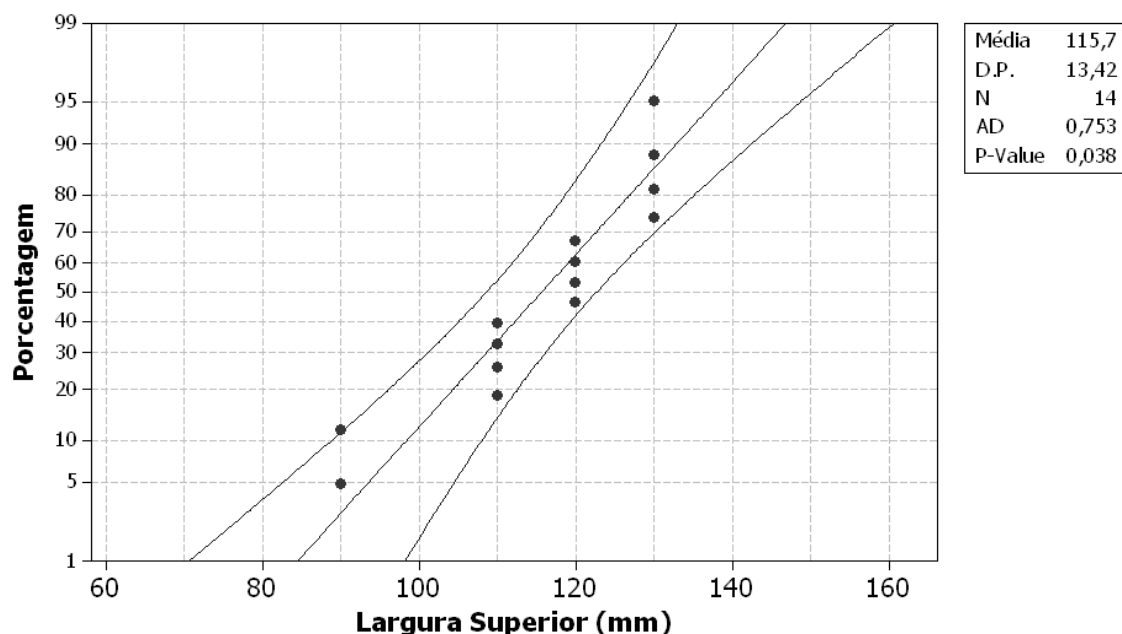


Figura 71. Gráfico de probabilidade normal da largura superior do sulco, intervalo de confiança de 95%.

Os coeficientes de curtose e simetria mostram que a largura superior do sulco preparado pelo “paraplow” rotativo respeita uma distribuição normal, pois estão dentro do intervalo entre -2 e 2 ; já a distribuição acumulada do histogramas na Figura 70 é diferente do padrão normal. O gráfico de probabilidade normal mostrado na Figura 71 tem um ponto fora dos limites de confiança de 95%, além dos pontos não se comportarem linearmente. O teste de Anderson-Darling (A.D.) tem valores grandes, muito distantes de zero e o valor p é menor do que a significância de 5% (0,05), portanto é aceita a hipótese nula de normalidade. Assim para a largura superior do sulco o desvio padrão não é uma medida confiável para análise da variabilidade dos dados o que torna os gráficos de controle e os índices C_p e C_{pk} não confiáveis.

O gráfico de controle da largura superior do sulco preparado pelo “paraplow” rotativo é apresentado na Figura 72.

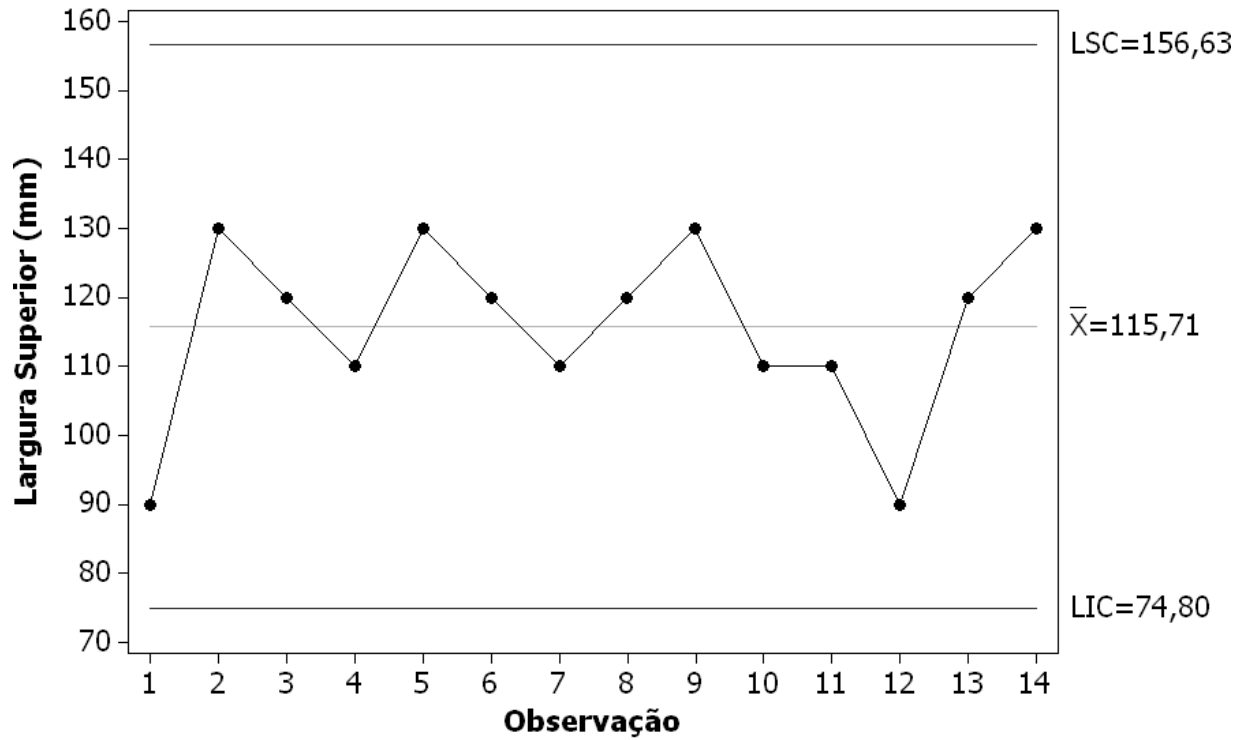


Figura 72. Gráfico de controle da largura superior do sulco.

Pela Figura 72 tem-se uma largura superior do sulco estável, já que nenhum ponto deixou os limites de controle, a variabilidade se mostrou normal o que indica um processo estabilizado.

Análise da capacidade do processo da largura superior do sulco preparado pelo “paraplow” rotativo é apresentada na Figura 73.

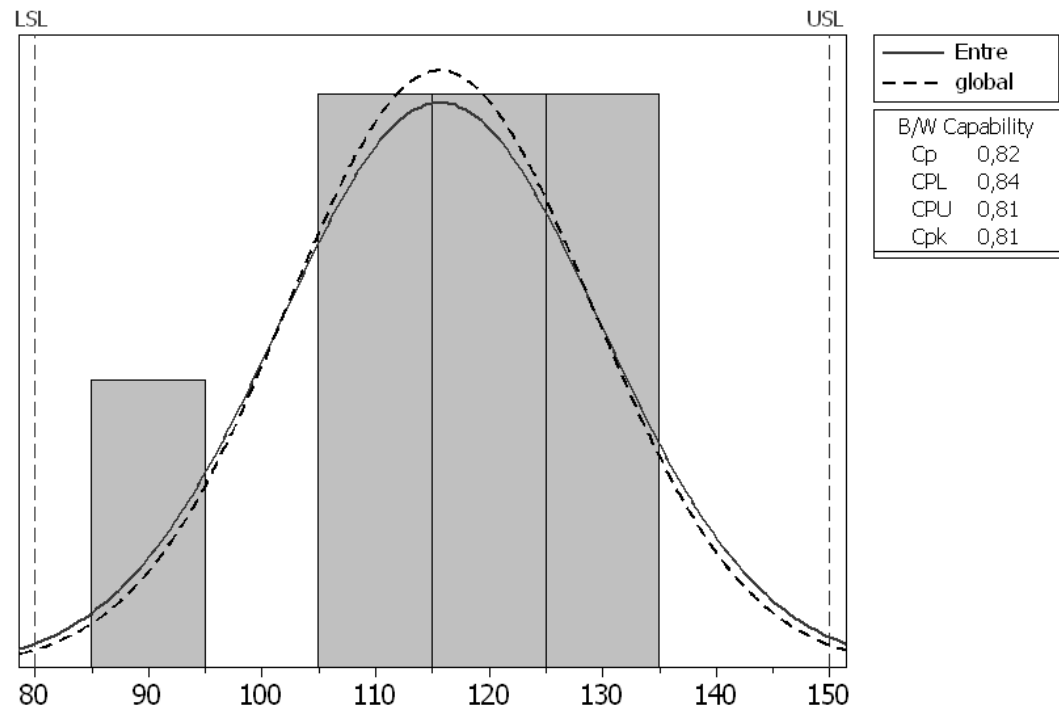


Figura 73. Análise da capacidade do processo da largura superior do sulco.

Pelos dados obtidos tem-se o processo de realização da largura superior do sulco que segue os limites definidos por Albiero (2006) (LIE=80 mm e LSE=150 mm), os dados apresentam uma distribuição centrada e entre os limites de especificação o que é comprovado pelos valores de Cp e Cpk que possuem amplitude entre si de apenas 0,01.

O gráfico da média móvel exponencialmente ponderada da largura superior do sulco preparado pelo “paraplow” rotativo é apresentado na Figura 74.

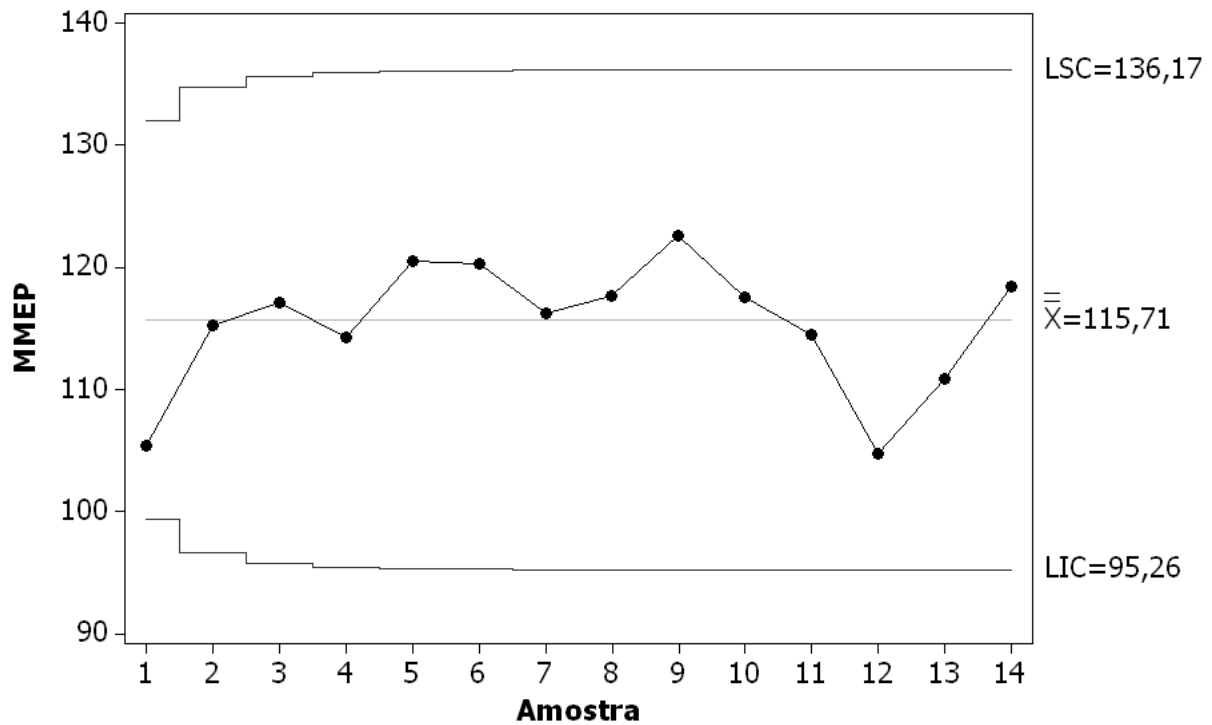


Figura 74. Gráfico da média móvel exponencialmente ponderada da largura superior.

$$Cpc=0,930$$

O gráfico MMEP, Figura 74, apresenta uma menor variabilidade do que o gráfico de controle por se tratar de uma ferramenta adequada para processos não normais, assim considera-se esta variabilidade mais digna de confiança. Os limites de controle foram respeitados e ao se calcular o Cpc encontrou-se uma taxa de falha de 1 em 151 o que indica que o “paraplow” rotativo está cumprindo sua função de realizar pouco revolvimento superficial, diminuindo o potencial de erosão do solo (ALBIERO, 2006).

Os testes de normalidade da largura inferior do sulco preparado são apresentados na Figura 75 e na Figura 76.

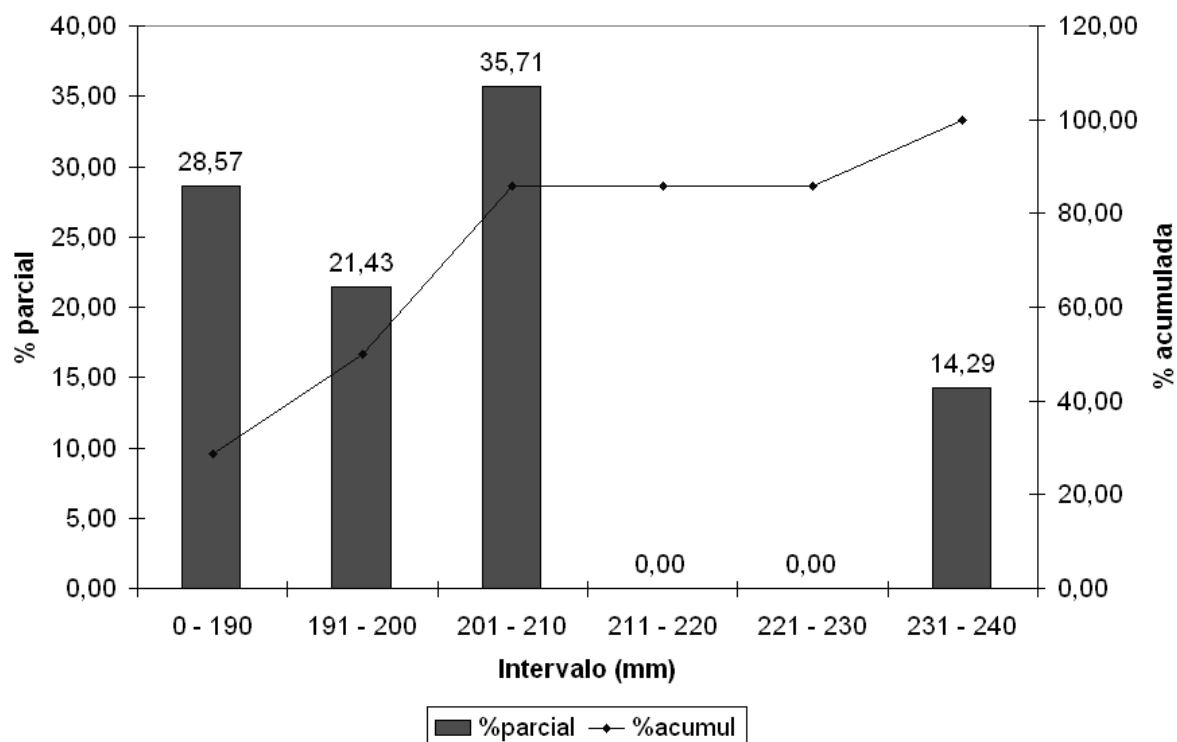


Figura 75. Histograma da largura inferior do sulco.

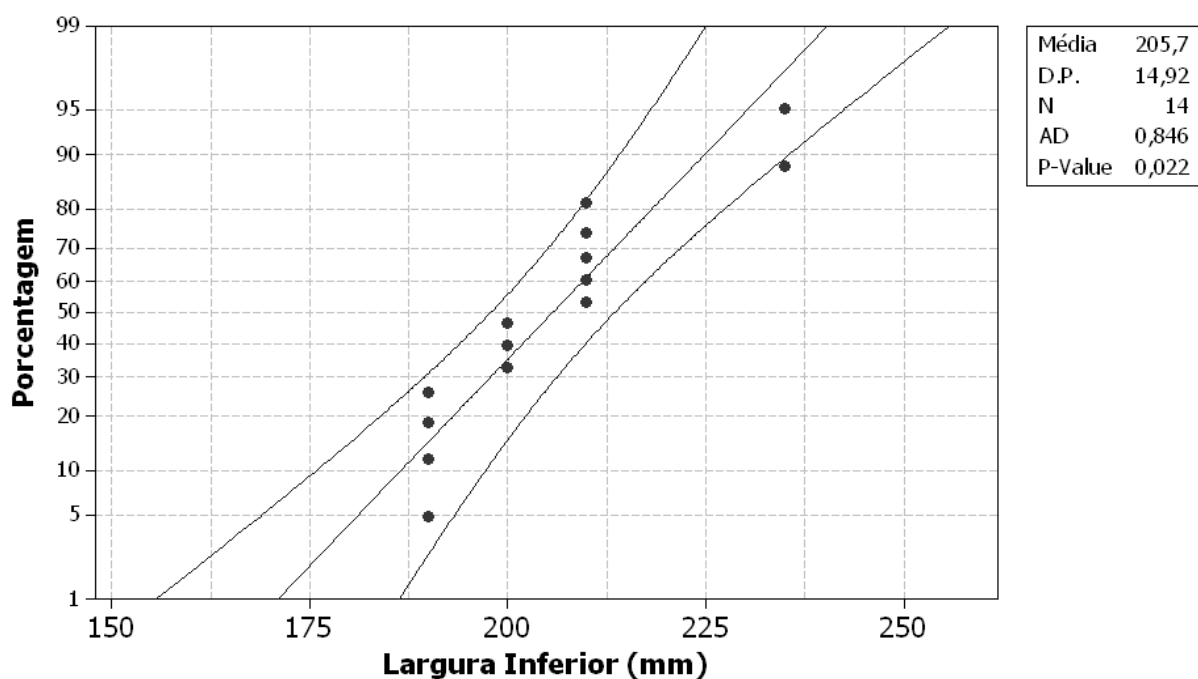


Figura 76. Gráfico de probabilidade normal da largura inferior do sulco, intervalo de confiança de 95%.

Os coeficientes de curtose e simetria mostram que a largura inferior do sulco preparado pelo “paraplow” rotativo respeita uma distribuição normal, pois estão dentro do intervalo entre -2 e 2; já a distribuição acumulada do histograma na Figura 76 mostra-se bem diferente do normal. O gráfico de probabilidade normal mostrado na Figura 77 tem dois pontos fora dos limites de confiança de 95%, além dos pontos não se comportarem linearmente. O teste de Anderson-Darling (A.D.) tem valores grandes, muito distantes de zero e o valor p é menor do que a significância de 5% (0,05), portanto é aceita a hipótese nula de normalidade. Assim para a largura inferior do sulco o desvio padrão não é uma medida confiável para análise da variabilidade dos dados o que torna os gráficos de controle e os índices Cp e Cpk, não confiáveis.

O gráfico de controle da largura inferior do sulco preparado é apresentado na Figura 77.

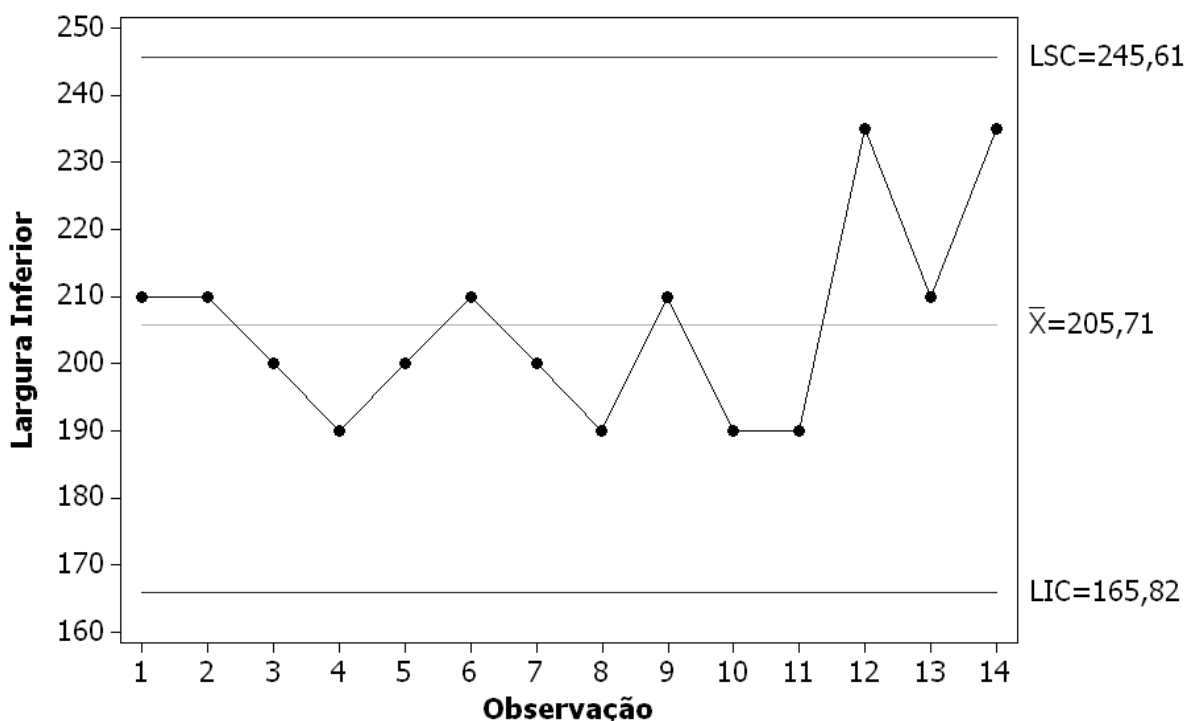


Figura 77. Gráfico de controle da largura inferior do sulco.

Pela Figura 77 tem-se uma largura inferior do sulco estável, já que nenhum ponto deixou os limites de controle, a variabilidade se mostrou normal o que indica um processo estabilizado.

A análise da capacidade do processo da largura inferior do sulco preparado é apresentada na Figura 78.

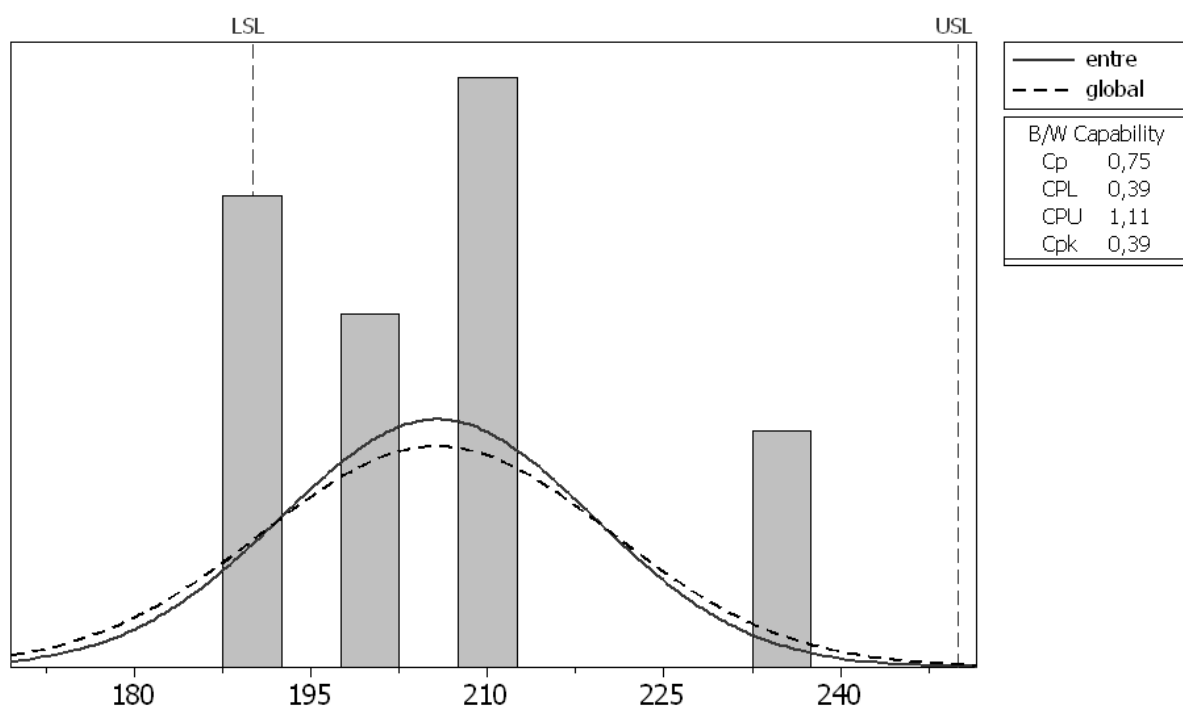


Figura 78. Análise do processo da largura inferior do sulco.

Pelos dados obtidos tem-se o processo de realização da largura inferior do sulco, em função dos limites definidos por Albiero (2006) (LIE=190 mm e LSE=250 mm) com uma distribuição de dados não centrada e alguns pontos fora do limites de especificação inferior o que é comprovado pelos valores de Cp e Cpk que possuem amplitude entre si expressiva.

O gráfico da média móvel exponencialmente ponderada da largura inferior do sulco preparado é apresentado na Figura 79.

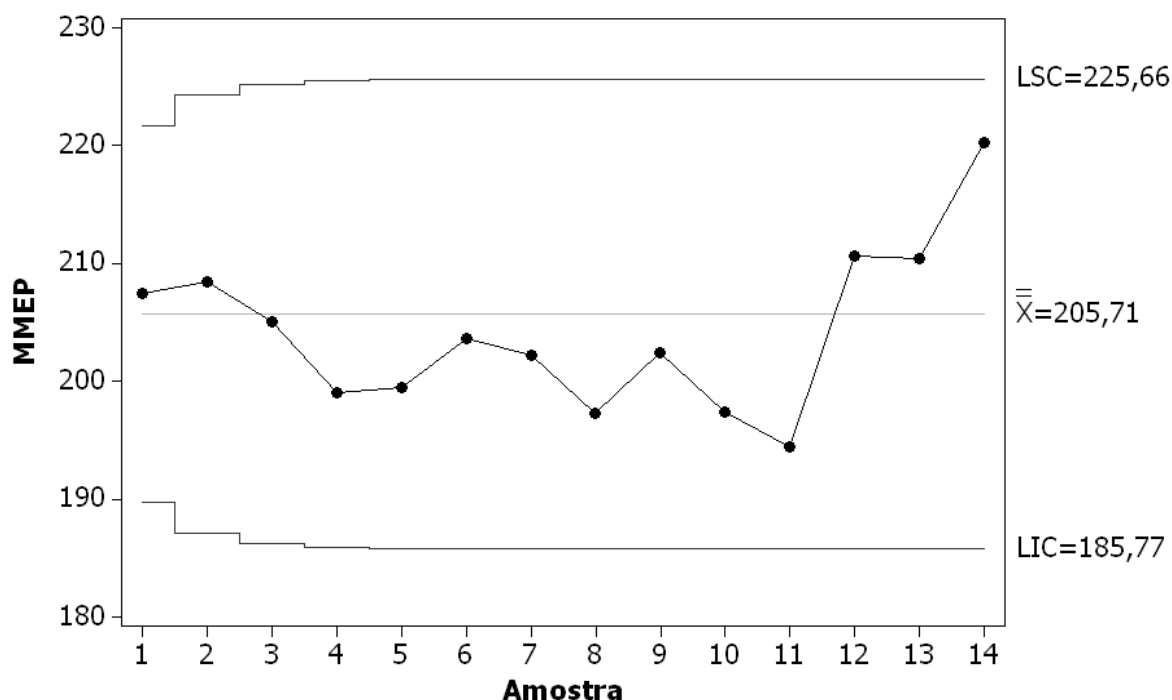


Figura 79. Gráfico da Média móvel exponencialmente ponderada da largura inferior.

$$C_{pc}=0,665$$

O gráfico MMEP, Figura 79, apresenta uma menor variabilidade do que o gráfico de controle, os limites de controle foram respeitados e ao se calcular o C_{pc} encontrou-se uma taxa de falha de 1 em 20 o que indica que o “paraplow” rotativo está cumprindo sua função de realizar maior revolvimento subsuperficial do que revolvimento superficial o que diminui o potencial de erosão do solo (ALBIERO, 2006) e aumenta o volume de solo preparado em condições ideais para as sementes (SALOKHE & RAMALINGAM, 2003).

Os testes de normalidade da profundidade do sulco preparado são apresentados na Figura 80 e na Figura 81.

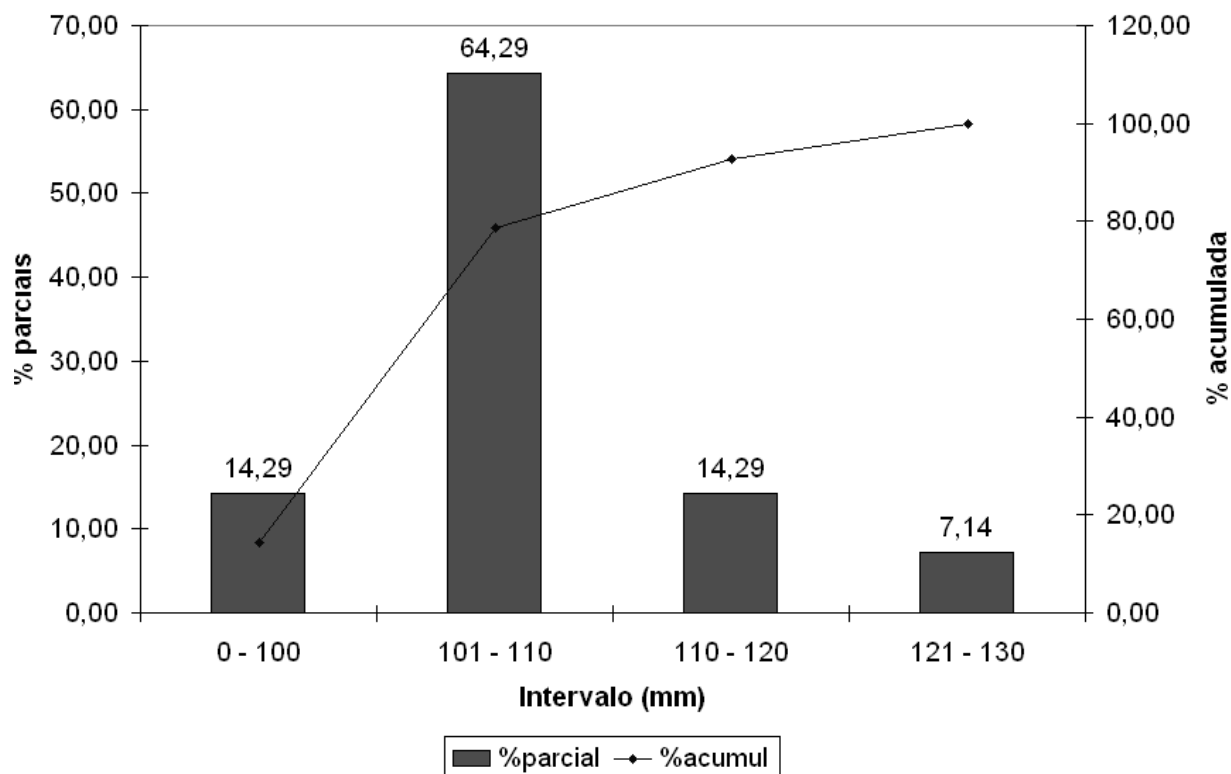


Figura 80. Histograma da Profundidade do sulco.

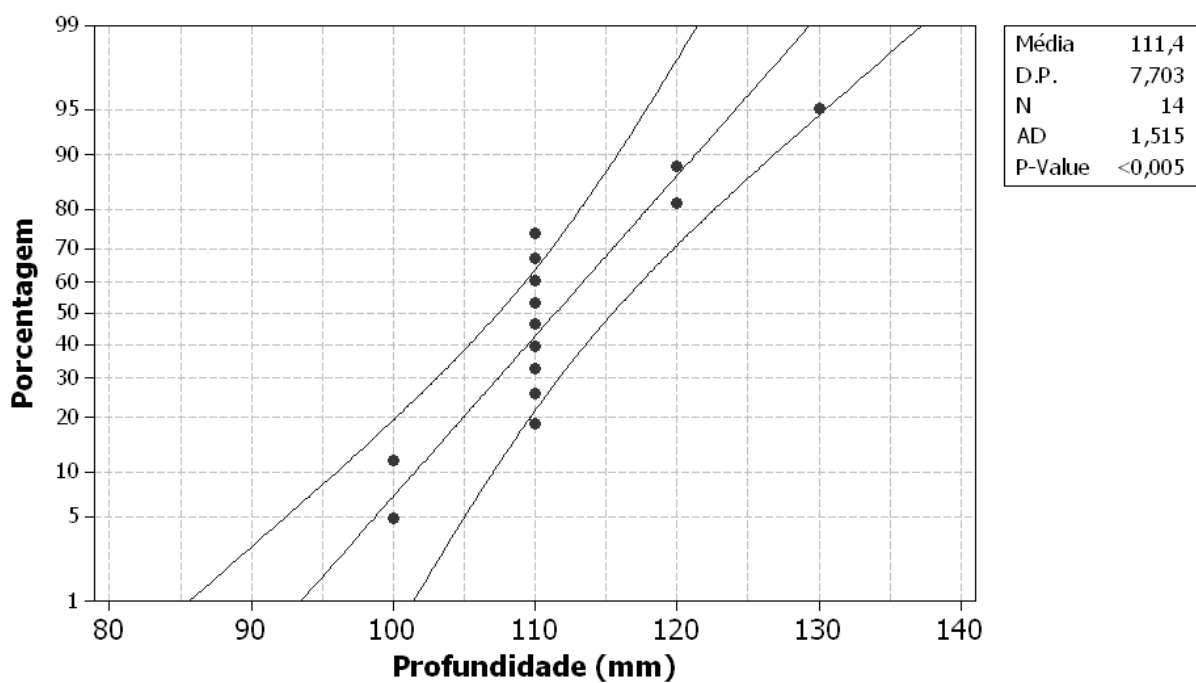


Figura 81. Gráfico de probabilidade normal da profundidade do sulco, intervalo de confiança de 95%.

Os coeficientes de curtose e simetria mostram que a profundidade do sulco preparado pelo “paraplow” rotativo respeita uma distribuição normal, pois estão dentro do intervalo entre -2 e 2 ; já a distribuição acumulada do histogramas na Figura 80 mostra-se bem diferente da distribuição normal. O gráfico de probabilidade normal mostrado na Figura 81 tem dois pontos fora dos limites de confiança de 95%, além dos pontos se comportarem muito diversamente de uma tendência linear. O teste de Anderson-Darling (A.D.) tem valores grandes, muito distantes de zero e o valor p é menor do que a significância de 5% (0,05), portanto é aceita a hipótese nula de normalidade, assim para a profundidade o desvio padrão não é uma medida confiável para análise da variabilidade dos dados o que torna os gráficos de controle e os índices Cp e Cpk, não confiáveis.

O gráfico de controle da profundidade do sulco preparado é apresentado na Figura 82.

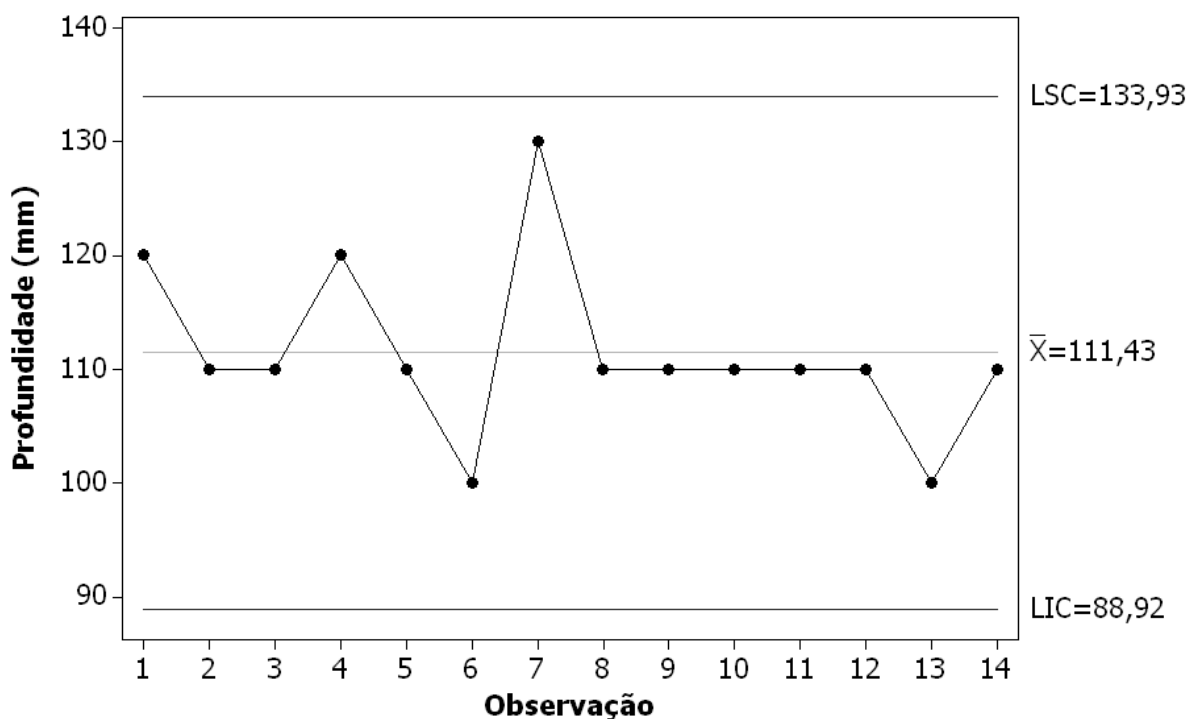


Figura 82. Gráfico de controle da profundidade do sulco.

Pela Figura 82 tem-se uma profundidade de sulco estável, já que nenhum ponto deixou os limites de controle, a variabilidade se mostrou normal o que indica um processo estabilizado.

A análise da capacidade do processo da profundidade do sulco preparado é apresentada na Figura 83.

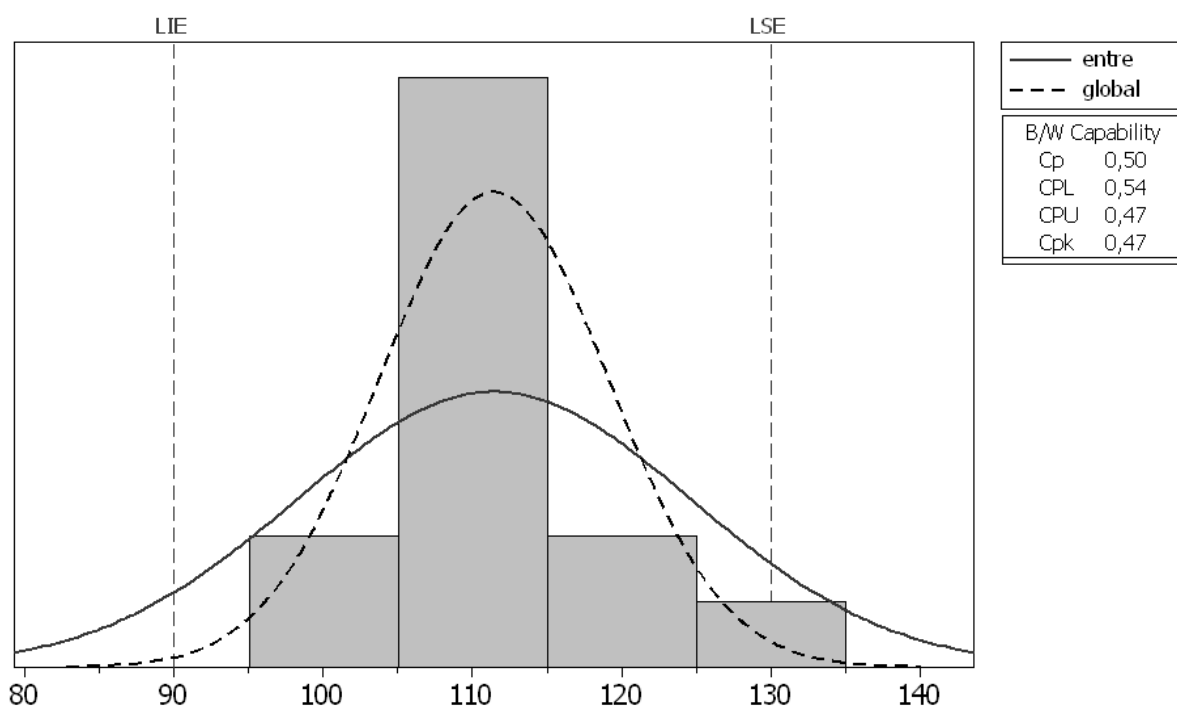


Figura 83. Análise da capacidade do processo da profundidade do sulco.

Pelos dados obtidos tem-se o processo de realização da profundidade do sulco, em função dos limites definidos por Albiero (2006) (LIE=90 mm e LSE=130 mm), com uma distribuição de dados centrada e com alguns pontos fora do limites de especificação superior o que é comprovado pelos valores de Cp e Cpk.

O gráfico da média móvel exponencialmente ponderada da profundidade do sulco preparado é apresentado na Figura 84.

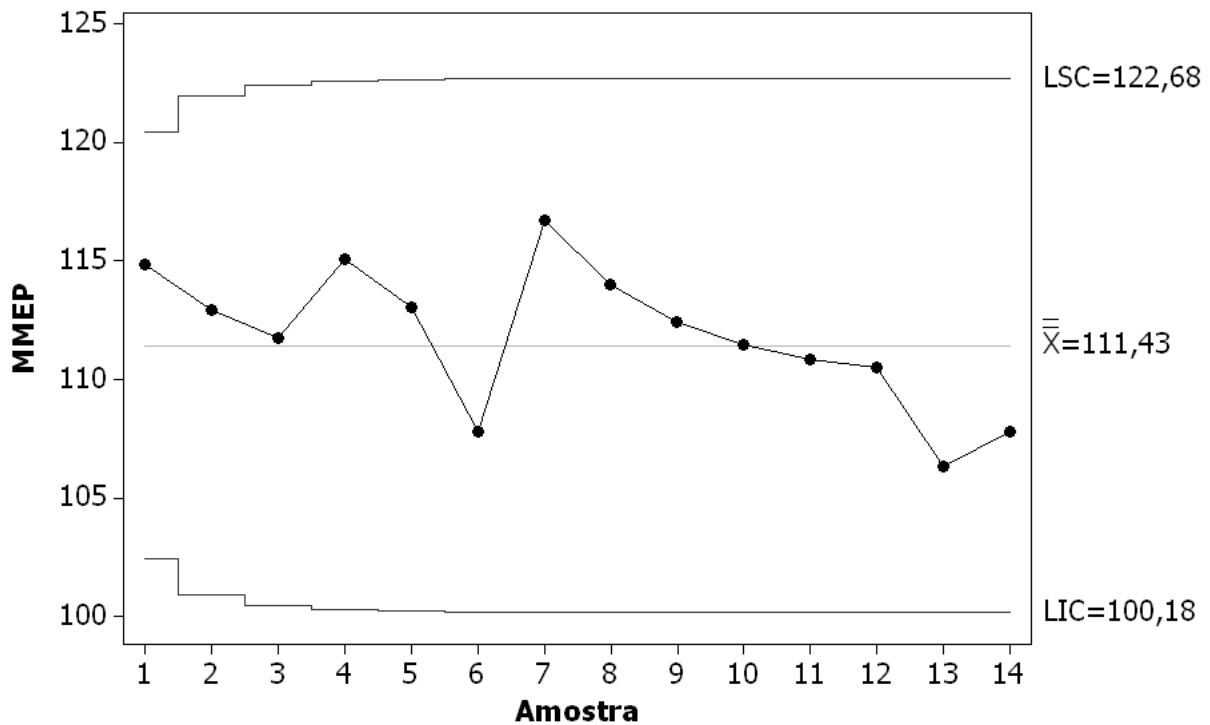


Figura 84. Gráfico da média móvel exponencialmente ponderada da profundidade.

$$C_{pc}=1,329$$

O gráfico MMEP, Figura 84, apresenta uma maior variabilidade do que o gráfico de controle o que indica que o gráfico de controle tende a mascarar os dados em distribuições não normais, os limites de controle foram respeitados e ao se calcular o C_{pc} encontrou-se uma taxa de falha de 1 em 15000 o que é muito bom em termos de homogeneidade de operação, provando que o trabalho do “paraplow” rotativo foi realizado com sucesso.

Os testes de normalidade da largura de fissuras da área lateral ao sulco preparado são apresentados na Figura 85 e na Figura 86.

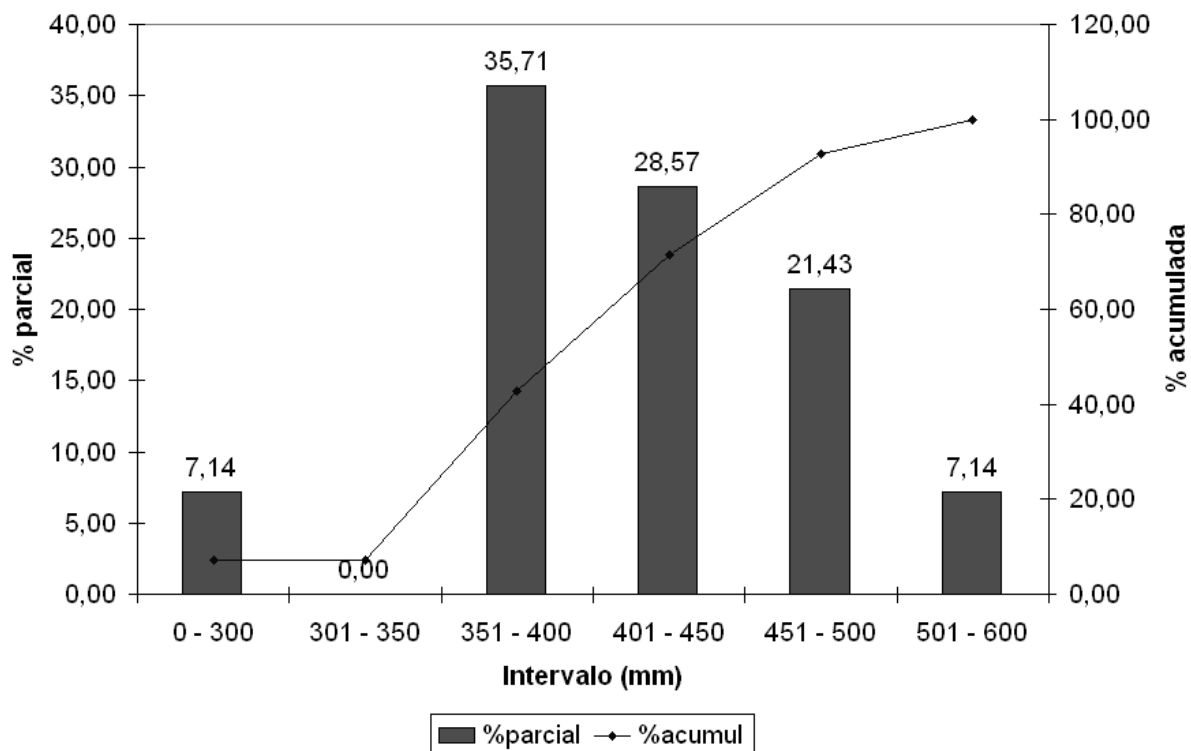


Figura 85. Histograma da largura de fissuras do sulco.

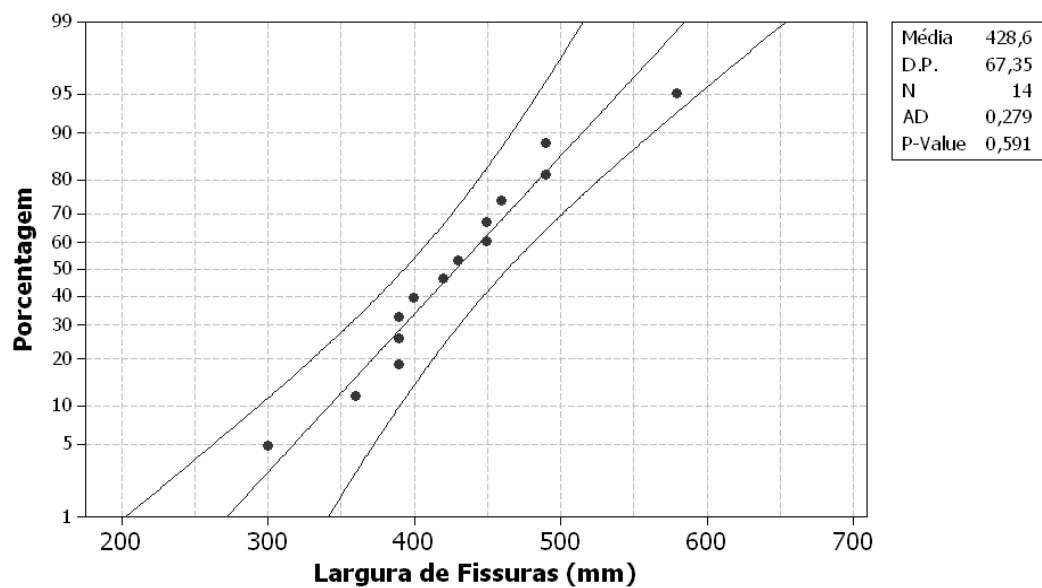


Figura 86. Gráfico de probabilidade normal da largura de fissuras do sulco, intervalo de confiança de 95%.

Os coeficientes de curtose e simetria mostram que a largura de fissuras das laterais do sulco preparado pelo “paraplow” rotativo respeita uma distribuição normal, pois estão dentro do intervalo entre -2 e 2 , embora apresentem forte concentração em torno da média (curtose 1,4) e forte assimetria positiva (simetria 1,4); já a distribuição acumulada do histogramas na Figura 76 mostra-se dentro do padrão de normalidade (com formato da letra s com caudas assintóticas com a abscissa). O gráfico de probabilidade normal mostrado na Figura 85 não tem pontos fora dos limites de confiança de 95%, e os pontos comportam-se linearmente. O teste de Anderson-Darling (A.D.) tem valores pequenos, pouco distantes de zero e o valor p é maior do que a significância de 5% (0,05), portanto não é aceita a hipótese nula de normalidade. Assim para a largura de fissuras o desvio padrão é uma medida confiável para análise da variabilidade dos dados o que torna o gráfico de controle e os índices Cp e Cpk, interessantes.

O gráfico de controle da largura de fissuras da área lateral ao sulco preparado é apresentado na Figura 87.

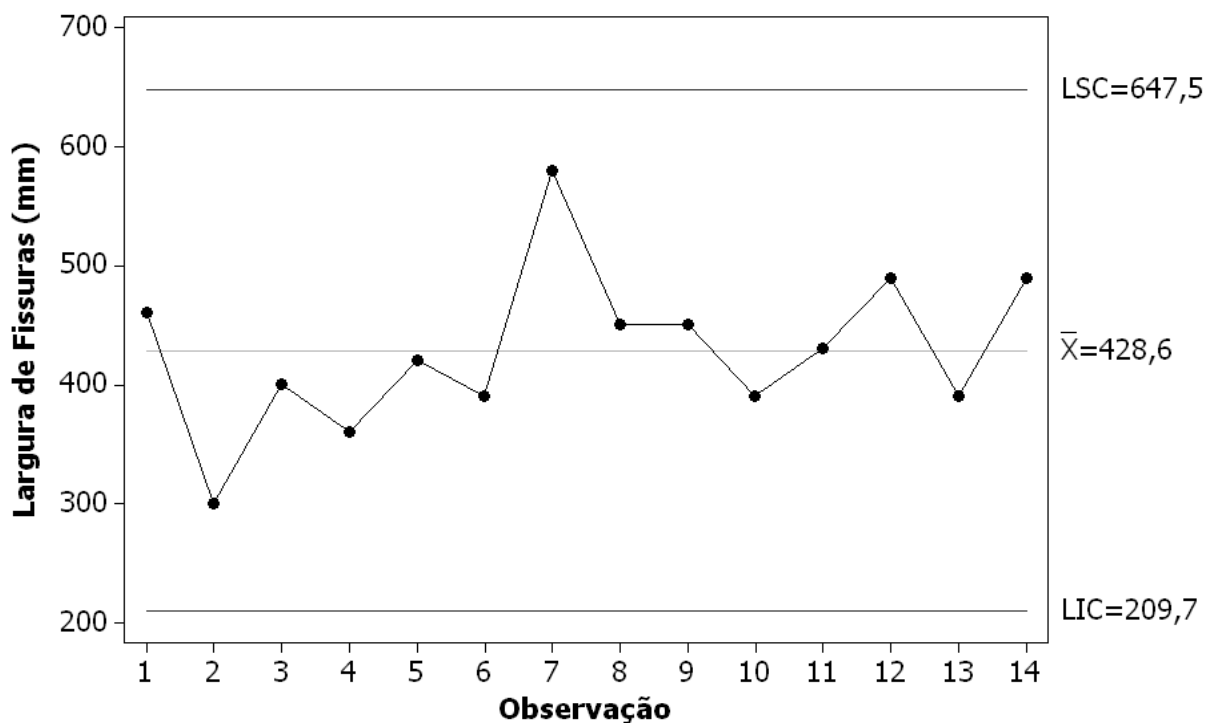


Figura 87. Gráfico de controle da largura de fissuras.

Pelo gráfico de controle apresentado na Figura 87 verifica-se que a largura de fissuras é estável e tem pouca variabilidade o que prefigura uma ação descompactadora homogênea em toda a área de atuação do “paraplow” rotativo, possibilitando segundo Maciel e Albiero (2007) um adequado condicionamento do solo não preparado em termos de fissuras o que aumenta a possibilidade de infiltração de água no solo, evitando-se a erosão.

A análise da capacidade do processo da largura de fissuras da área lateral ao sulco preparado é apresentada na Figura 88.

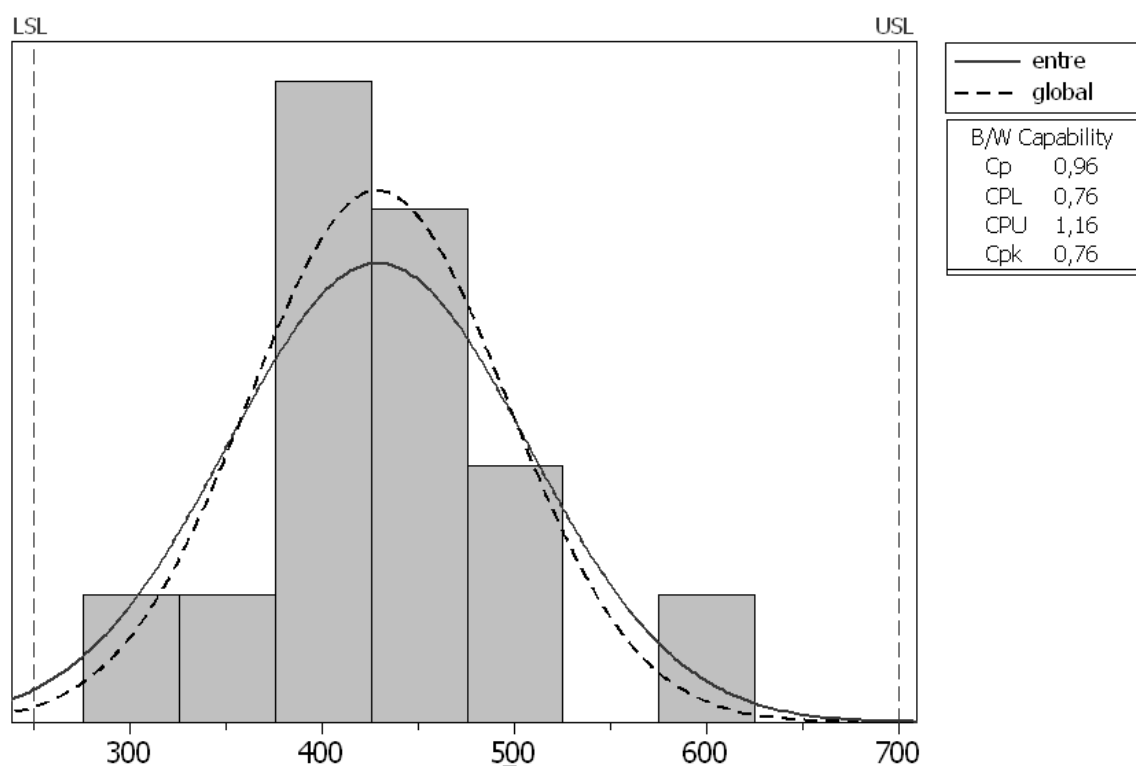


Figura 88. Análise da capacidade do processo da largura de fissuras.

Em função dos limites de especificação determinados por Maciel e Albiero (2007), Limite Superior de Especificação (LSE): 700 mm e Limite Inferior de Especificação (LIE): 250 mm, tem-se um processo com capacidade boa, $C_p=0,97$, e capacidade efetiva parcialmente Capaz, $C_{pk}=0,76$, o que significa uma taxa de falha menor do que 1 em 53 amostras (Tabela 13). A Figura 88 mostra que a distribuição de dados está deslocada para a

esquerda, mas entre os limites de especificação o que é comprovado pelos valores de Cp e Cpk que possuem amplitude entre si de 0,2.

PARÂMETROS DE QUALIDADE DE SEMEDURA

A qualidade de semeadura foi obtida nas 10 linhas de semeadura de 30 metros da área de emergência as variáveis foram analisadas: sementes expostas, sementes encestadas, aterramento do sulco, embuchamento dos elementos de engajamento com o solo e palha sobre o sulco. Os dados brutos dos parâmetros de qualidade são apresentados no Anexo 8.8.

Tabela 24. Sumário Estatístico do Índice de palha na superfície.

	Índice de Palha na Superfície (%)
Observações	20
Média	64,98
Variância	88,79
Desvio Padrão	9,42
Coefficiente de Variação	14,5
Máximo	83,1
Mínimo	45
Amplitude	37,2
Simetria	0,181
Curtose	-0,025

Tabela 25. Variáveis de qualidade de semeadura.

Linha	Sementes Expostas (sementes)	Porcentagem Sementes Expostas (%)	Aterramento falho (mm)	Porcentagem Aterramento Falho (%)	Embuchamento	Sementes Encestadas
1	3	1	0	0	Não Houve	Não Houve
2	1	0,33	100	0,33	Não Houve	Não Houve
3	1	0,33	0	0	Não Houve	Não Houve
4	2	0,67	150	0,5	Não Houve	Não Houve
5	7	2,33	50	0,17	Não Houve	Não Houve
6	0	0	400	1,33	Não Houve	Não Houve
7	7	2,33	300	1	Não Houve	Não Houve
8	1	0,33	180	0,6	Não Houve	Não Houve
9	7	2,33	500	1,67	Não Houve	Não Houve
10	0	0	0	0	Não Houve	Não Houve
Média	2,9	0,97	168	0,56	Não Houve	Não Houve

Casão Jr. et al. (2006) afirmam que sistemas rompedores de solo não adequados possibilitam que a palha seja misturada com o solo da cama de sementes o que aumenta a probabilidade de sementes serem depositadas sobre um “cesto” inutilizando esta semente, pois a mesma fica sem contato com o solo. A ação do “paraplow” rotativo faz com que a palha superficial seja lançada lateralmente o que evita sua incorporação na cama de semente eliminando o perigo de sementes encestadas, outra vantagem é que esta ação de “limpeza” da área evita o embuchamento de palha no sulcador de sementes. Fato interessante notado por Albiero (2006) é que os resíduos lançados lateralmente se depositam sobre o sulco de semeadura anteriormente já feito o que aumenta a cobertura de palha sobre este. Pelos valores médios apresentados a qualidade de semeadura foi adequada segundo avaliação de Casão Jr. e Siqueira (2003), havia pouca palha sobre o solo em algumas regiões o que prejudicou esta avaliação. Em regiões onde havia uma densidade de palha maior a cobertura de palha foi ótima, Figura 90 e Figura 91. Credita-se este efeito a ação dos discos aterradores que segundo Casão Jr. et al. (2006) permitem que a palha existente sobre a superfície do solo permaneça

sobre o mesmo após a passagem da máquina o que evita: o selamento superficial, a perda de água, o aquecimento do solo, erosão e a ocorrência de plantas daninhas.

Cortez (2007) obteve para semeadoras com disco de corte, sulcador de haste e disco duplo desencontrado valores de IPS variando de 50 a 60 %. A NSMC obteve valor médio de 64% demonstrando que possui desempenho na manutenção da palha sobre o sulco similar às semeadoras atuais, no entanto cabe ressaltar que a área onde foi realizado o experimento não possuía boa uniformidade de distribuição de palha, assim houve regiões com muita palha e outras com nenhuma.

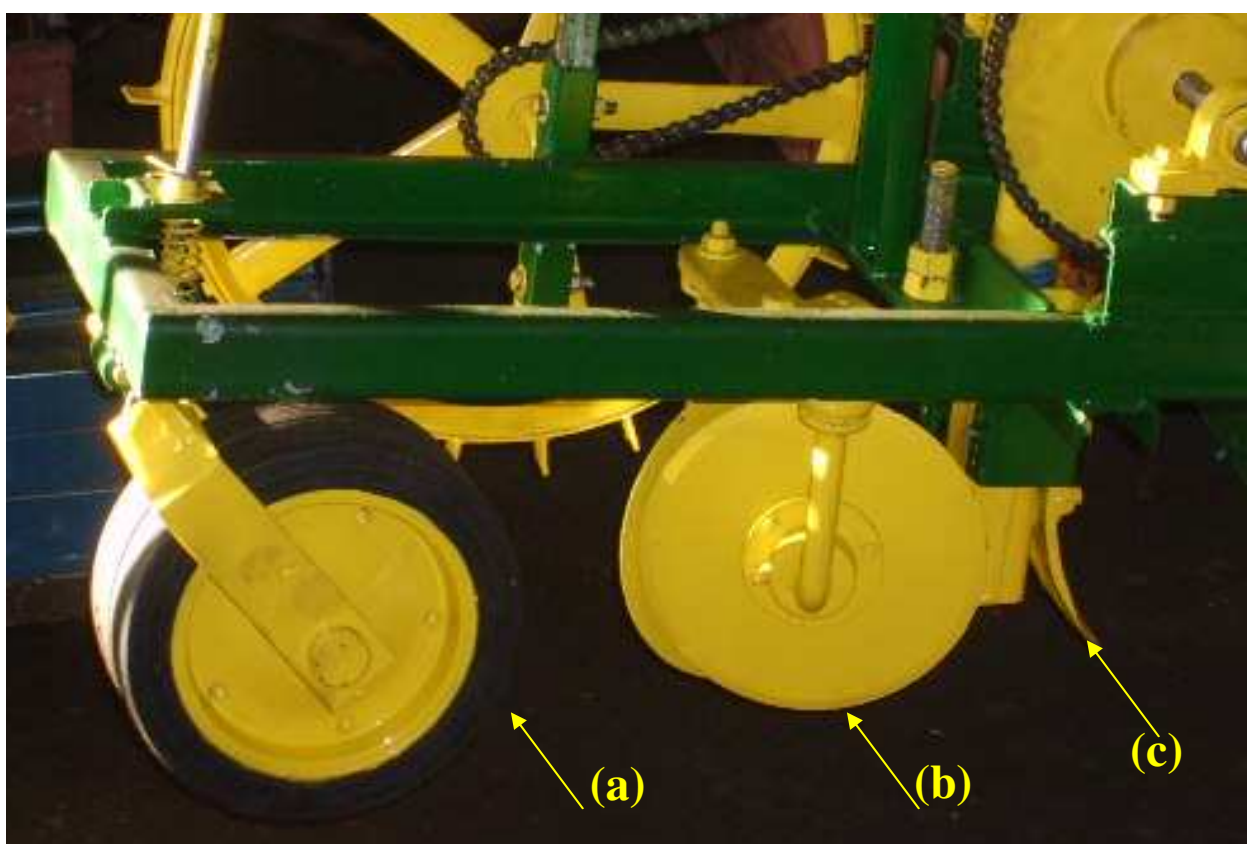


Figura 89. Sistema de acabamento de sulco, (a) roda compactadora, (b) discos aterradores, (c) sulcador de sementes.



Figura 90. Vista da cobertura de palha sobre a superfície semeada pela NSMC.



Figura 91. Sulco de plantio recoberto com palha (marcas amarelas mostram plântulas emergidas, sexto dia).

Os testes de normalidade do índice de palha na superfície são apresentados nas Figura 92 e Figura 93.

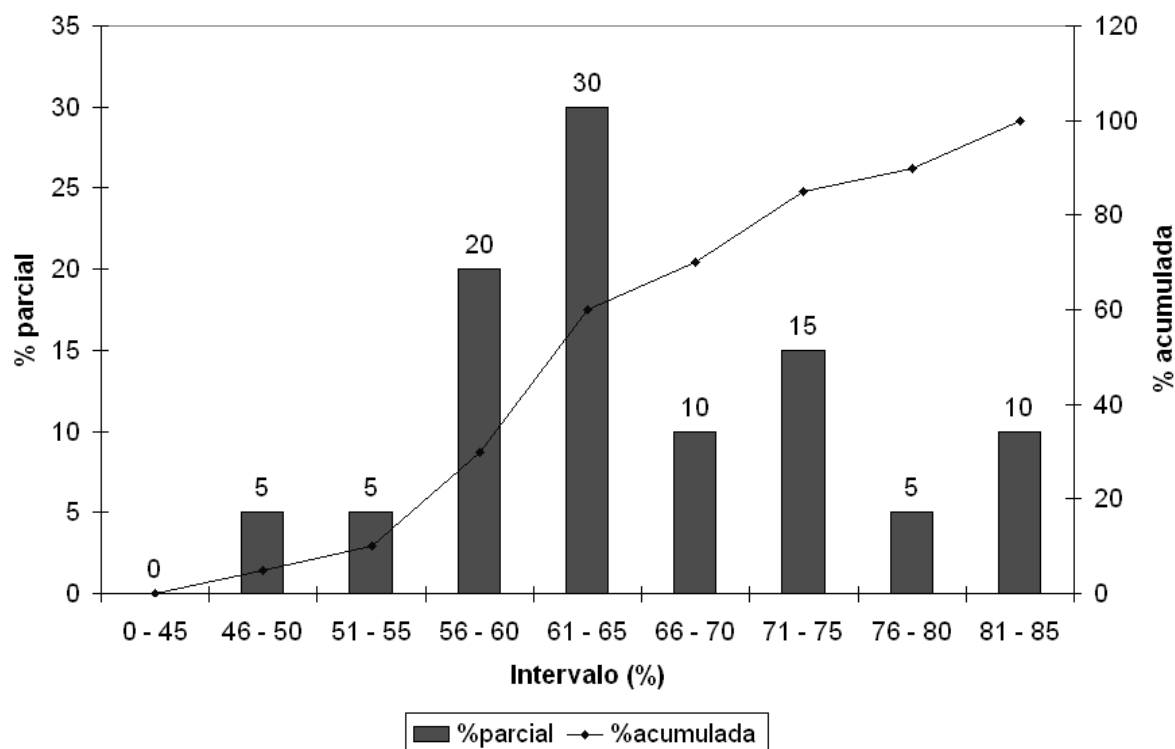


Figura 92. Histograma do índice de palha na superfície.

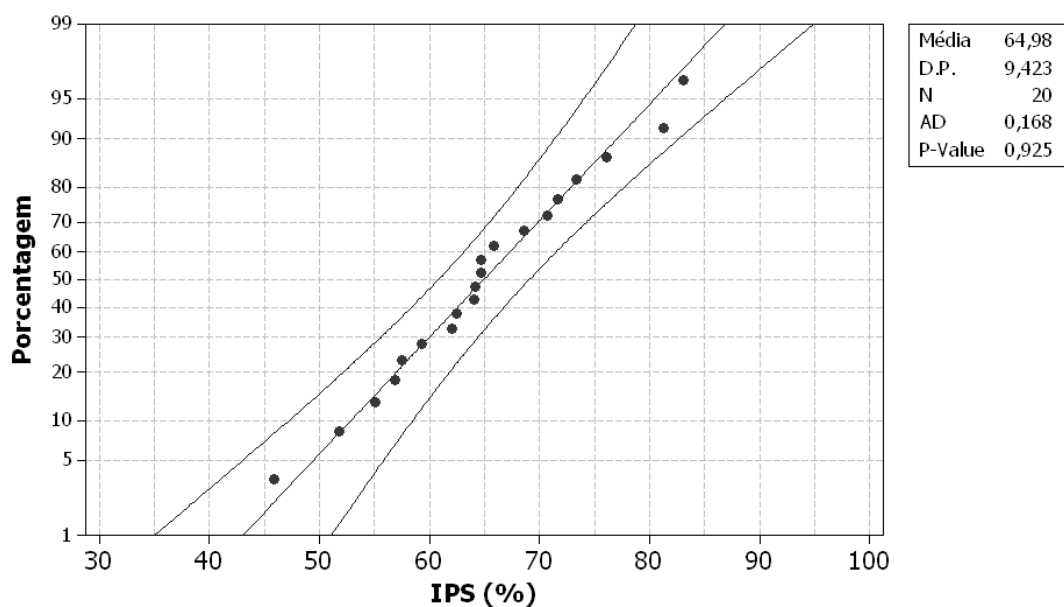


Figura 93. Gráfico de probabilidade normal do índice de palha na superfície, intervalo de confiança de 95%.

Os coeficientes de curtose e simetria mostram que o índice de palha sobre a superfície respeita uma distribuição normal, pois estão dentro do intervalo entre -2 e 2 ; a distribuição acumulada do histograma na Figura 92 mostra-se dentro do padrão de normalidade (formato da letra s com caudas assintóticas com a abscissa). O gráfico de probabilidade normal mostrado na Figura 93 não tem pontos fora dos limites de confiança de 95% e os pontos comportam-se linearmente. O teste de Anderson-Darling (A.D.) tem valores pequenos, pouco distantes de zero e o valor p é maior do que a significância de 5% (0,05), portanto não é aceita a hipótese nula de normalidade, assim para o índice de palha sobre a superfície o desvio padrão é uma medida confiável para análise da variabilidade dos dados o que torna o gráfico de controle e os índices Cp e Cpk interessantes.

O gráfico de controle do índice de palha na superfície é apresentado na Figura 94.

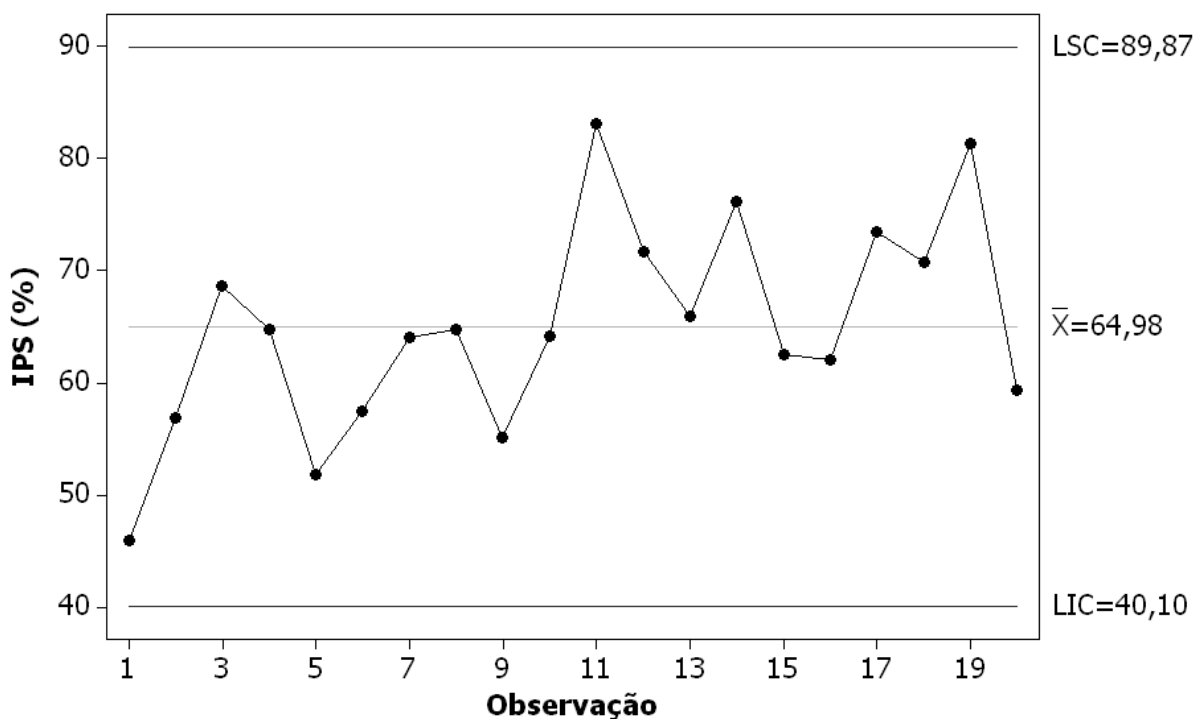


Figura 94. Gráfico de controle do índice de palha na superfície.

Pelo gráfico de controle apresentado na Figura 94 verifica-se que o índice de palha sobre a superfície é estável e tem pouca variabilidade o que prefigura uma ação homogenia em toda a área de atuação do “paraplow” rotativo o que possibilita uma cobertura de palha boa.

A análise da capacidade do processo do índice de palha na superfície é apresentado na Figura 95.

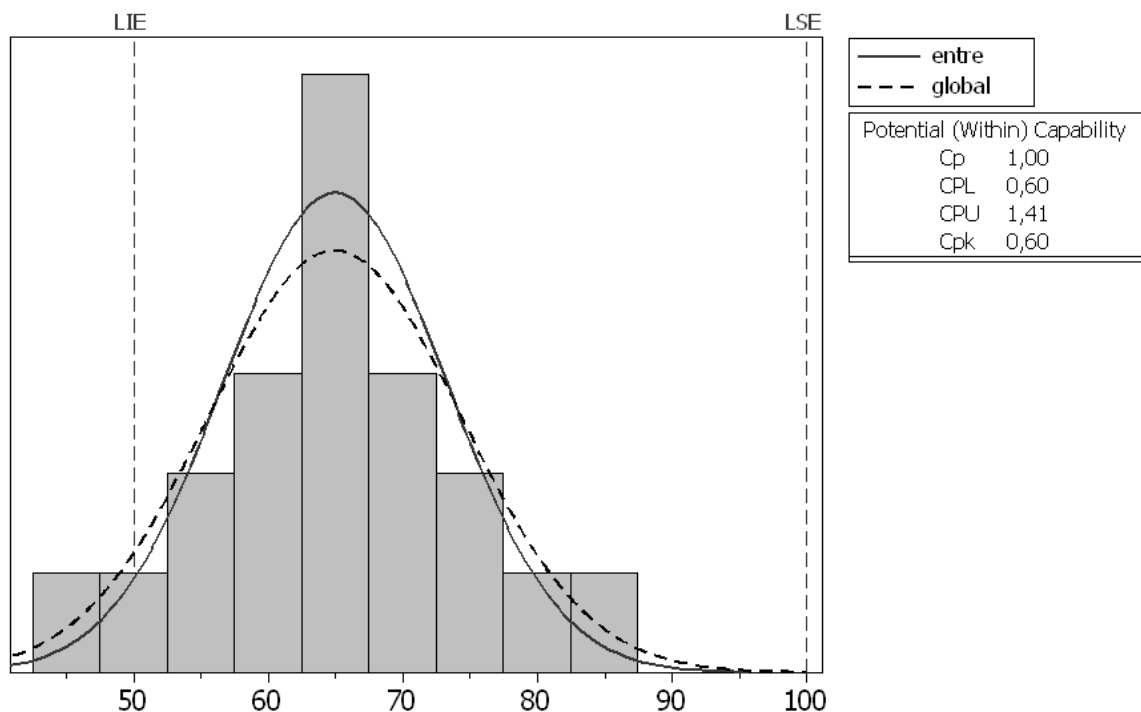


Figura 95. Análise da capacidade do processo do índice de palha na superfície.

Em função dos limites de especificação determinados por Cortez (2007), Limite Superior de Especificação (LSE): 60% e Limite Inferior de Especificação (LIE): 50%, tem-se um processo com capacidade boa, $C_p=1$, e capacidade efetiva parcialmente Capaz, $C_{pk}=0,6$, o que significa uma taxa de falha menor do que 1 em 15 amostras (Tabela 13). A Figura 95 mostra que a distribuição de dados está deslocada para a esquerda e que vários pontos estão fora do limites de especificação inferior, justifica-se este fato pela pouca quantidade de palha pré-existente em algumas áreas do experimento o que é comprovado pelos valores de C_p e C_{pk} que possuem amplitude entre si muito grande, 0,4.

DIÂMETRO MÉDIO PONDERADO DOS AGREGADOS VIA ÚMIDA

O Diâmetro médio Ponderado dos agregados via úmida (DMP) do sulco de semeadura preparado pelo paraplow rotativo foi obtido em 15 pontos sobre as linhas de caracterização seguindo o delineamento experimental. Os dados brutos do DMP são apresentados no Anexo 8.9.

Tabela 26. Sumário Estatístico do Diâmetro Médio Ponderado dos agregados via úmida.

	DMP (mm)
Observações	10
Média	2,217
Variância	0,0428
Desvio Padrão	0,207
Coefficiente de Variação	9,2%
Máximo	2,5
Mínimo	1,96
Amplitude	0,54
Simetria	0,210
Curtose	-0,955

Pela tabela 25 o DMP do sulco de semeadura após a operação do paraplow teve média de 2,2 mm. Lucarelli (1997) afirma que em sistemas de preparo de solo conservacionistas o valor do DMP via úmida se encontram entre 2 a 2,5 mm em horizontes superficiais o que significa um pouco revolvimento do solo, já Barzegar (2003) sugere como cama de sementes ideal que o valor do DMP via úmida esteja entre 1 e 5 mm. (ALBIERO, 2006) obteve para o paraplow rotativo valor de DMP entre 2 e 2,2 mm, portanto neste experimento o paraplow rotativo teve o comportamento previsto e está dentro da faixa de plantio conservacionista. Pinheiro et al. (2004) afirma que entre vários tratamentos feitos em latossolo roxo com altos teores de argila, todos aqueles onde foi aplicado o sistema de plantio direto tiveram DMP maior ou igual a 2 mm o que indicando este valor como índice para um manejo conservacionista, além de possibilitar um bom contato solo/semente.



Figura 96. “Paraplow” Rotativo em ação, notar o solo preparado e não pulverizado.

Os testes de normalidade do diâmetro médio ponderado são apresentados nas Figura 97 e Figura 98.

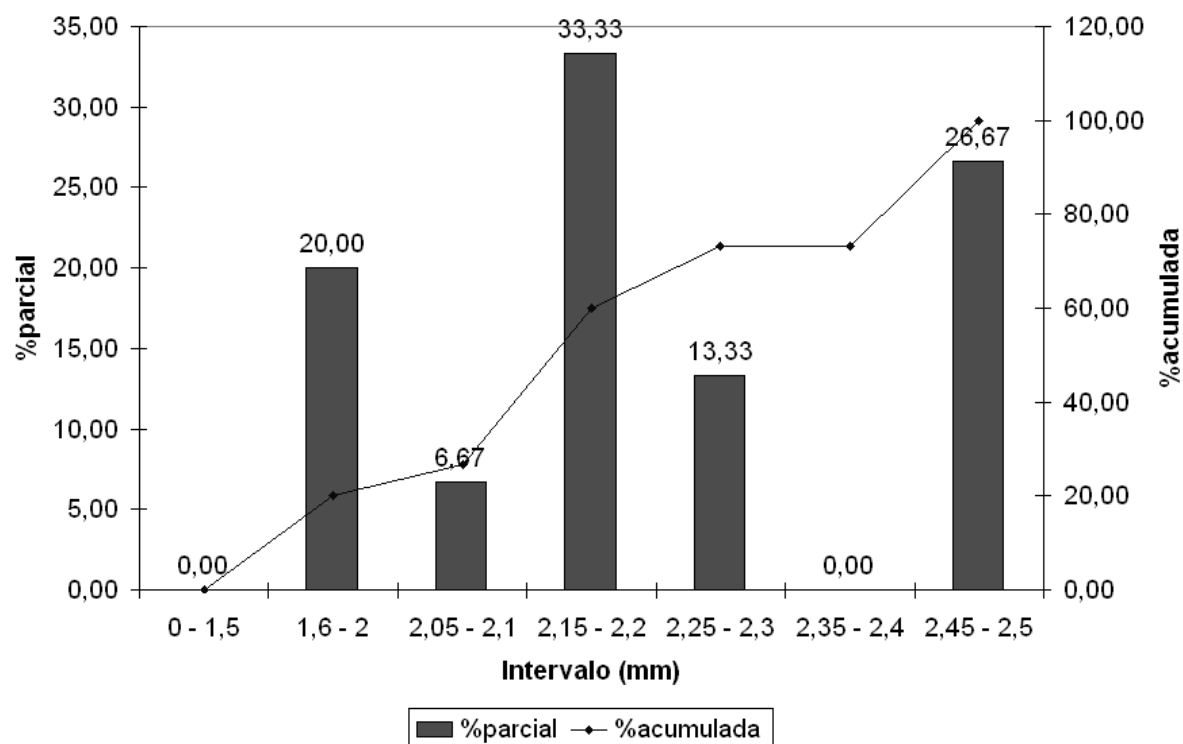


Figura 97. Histograma do diâmetro médio ponderado do solo preparado.

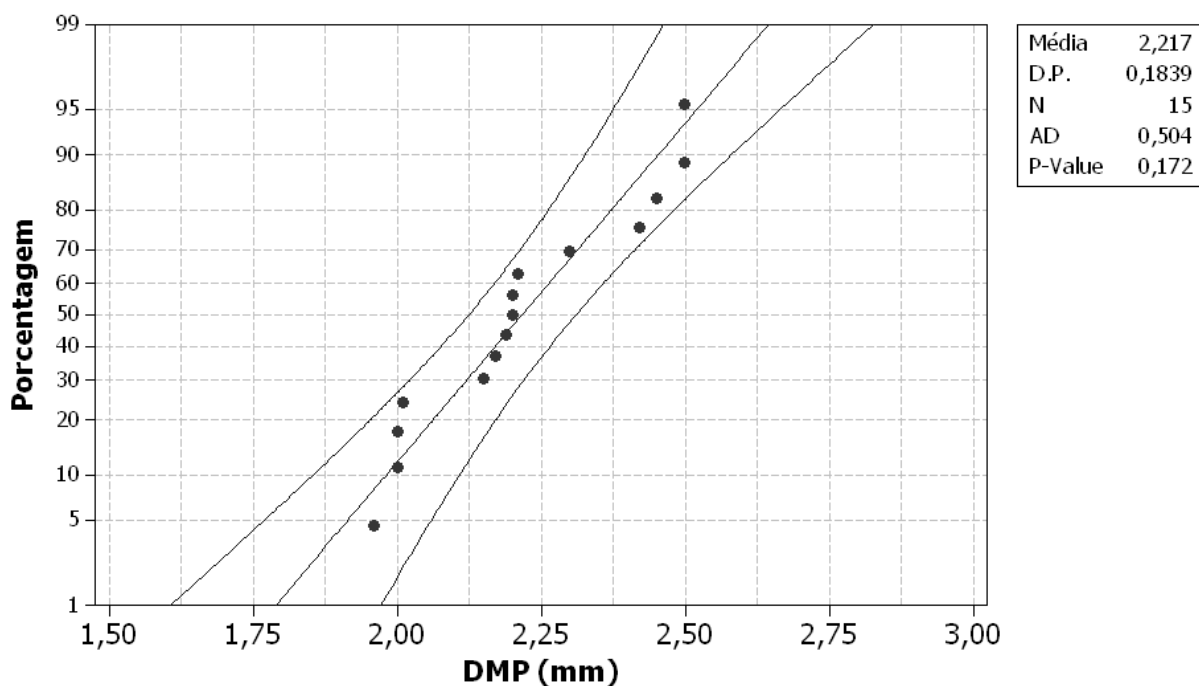


Figura 98. Gráfico de probabilidade normal do diâmetro médio ponderado do solo, intervalo de confiança de 95%.

Os coeficientes de curtose e simetria mostram que o DMP do solo depois da operação da semeadora respeita uma distribuição normal, pois estão dentro do intervalo entre -2 e 2 ; a distribuição acumulada do histograma na Figura 97 mostra-se dentro do padrão de normalidade. O gráfico de probabilidade normal mostrado na Figura 98 não tem pontos fora dos limites de confiança de 95% e os pontos comportam se linearmente. O teste de Anderson-Darling (A.D.) tem valores pequenos, pouco distantes de zero e o valor p é maior do que a significância de 5% (0,05), portanto não é aceita a hipótese nula de normalidade, assim para o índice de palha sobre a superfície o desvio padrão é uma medida confiável para análise da variabilidade dos dados o que torna o gráfico de controle e os índices C_p e C_{pk} interessantes.

O gráfico de controle do DMP é apresentado na Figura 99.

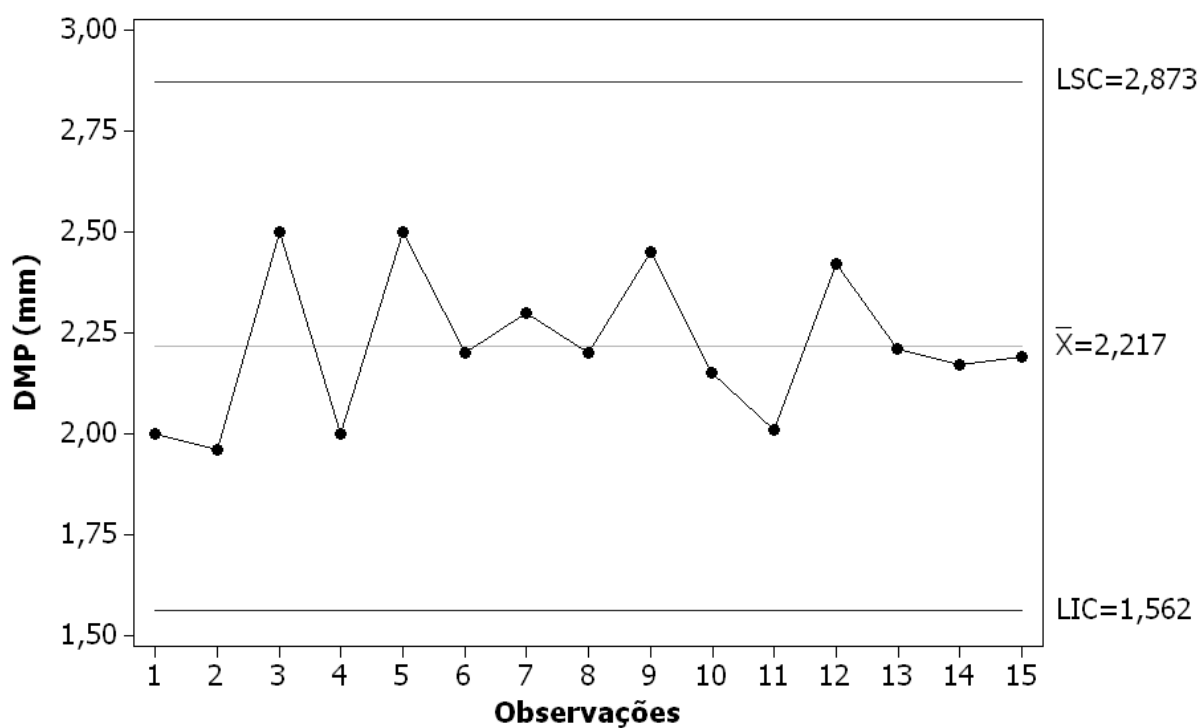


Figura 99. Gráfico de controle do diâmetro médio ponderado do solo preparado.

Pelo gráfico de controle apresentado na Figura 94 verifica-se que o diâmetro médio ponderado do solo após a semeadura é estável e tem pouca variabilidade o que prefigura uma

ação homogênea em toda a área de atuação do “paraplow” rotativo mostrando-se conservacionista.

A análise do processo do DMP é apresentada na Figura 100.

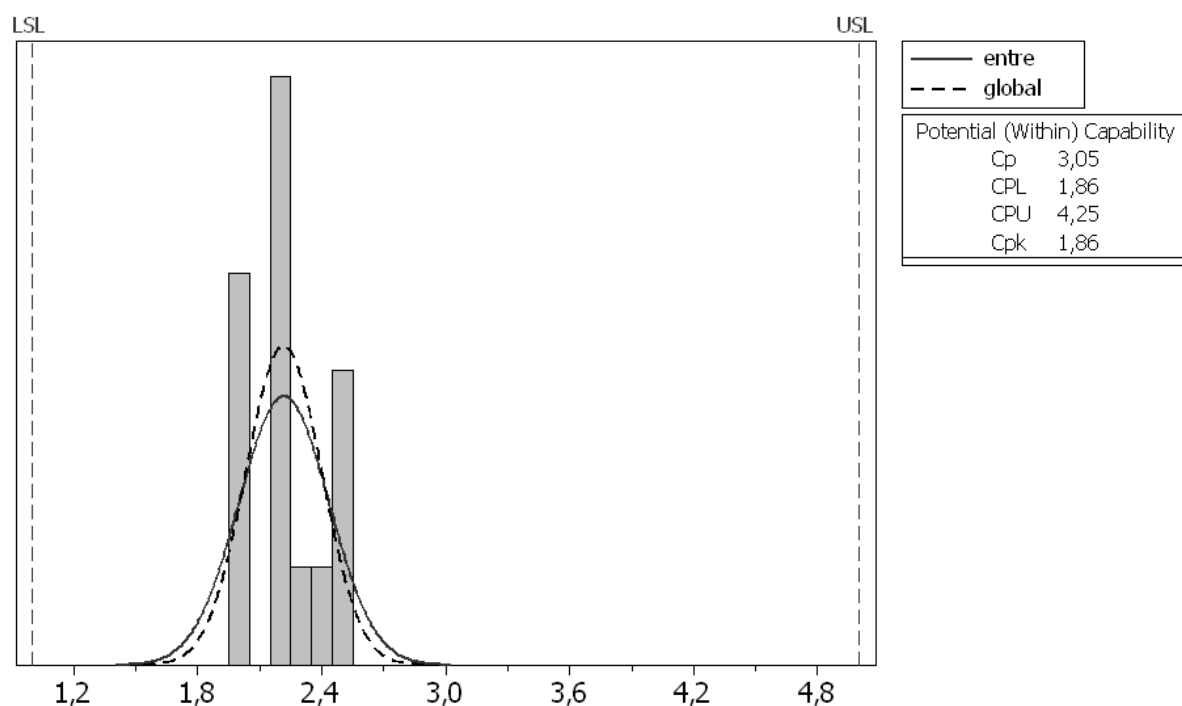


Figura 100. Análise da capacidade do processo do diâmetro médio ponderado do solo.

Em função dos limites de especificação determinados por Barzegar (2003), Limite Superior de Especificação (LSE): 5 mm e Limite Inferior de Especificação (LIE): 1 mm, tem-se um processo com capacidade adequada, $C_p=3,05$, e uma capacidade efetiva C_{paz} , $C_{pk}=1,86$, o que significa uma taxa de falha menor do que 1 em 1.500.000 amostras (Tabela 13). A Figura 100 mostra que a distribuição de dados está deslocada para a esquerda o que é comprovado pelos valores de C_p e C_{pk} que possuem amplitude entre si enorme, 1,19, indicando que o processo está centrado no valor de 2 mm considerado ideal por PINHEIRO (2004).

4.3 AVALIAÇÃO DA EMERGÊNCIA DE PLÂNTULAS

A avaliação de emergência de sementes foi realizada na área específica de 30 m x 5 m, e foram consideradas 3 avaliações principais: emergência total, número médio de dias para emergência de plântulas e o índice de velocidade de emergência de plântulas. Foram semeadas 10 linhas com espaçamento entre linhas de 0,5 m, devido a patinação da roda motora da semeadora a dosagem de sementes foi de 10 sementes/metro o que equivale a 300 sementes em cada linha, ou 3000 sementes em toda a área. Os dados brutos do experimento de emergência são apresentados no Anexo 8.10.

Tabela 27. Emergência total de sementes.

Data	Dia Após o Plantio	Sementes Emergidas	Porcentagem de Emergência	Emergência Teórica
18/mai	0	0	0	80
19/mai	1	0	0,0	80
20/mai	2	0	0,0	80
21/mai	3	0	0,0	80
22/mai	4	0	0,0	80
23/mai	5	10	0,3	80
24/mai	6	200	6,7	80
25/mai	7	945	31,5	80
26/mai	8	1537	51,2	80
27/mai	9	1760	58,7	80
28/mai	10	2029	67,6	80
29/mai	11	2232	74,4	80
30/mai	12	2279	76,0	80
31/mai	13	2286	76,2	80
1/jun	14	2290	76,3	80
2/jun	15	2291	76,4	80
3/jun	16	2291	76,4	80
4/jun	17	2291	76,4	80

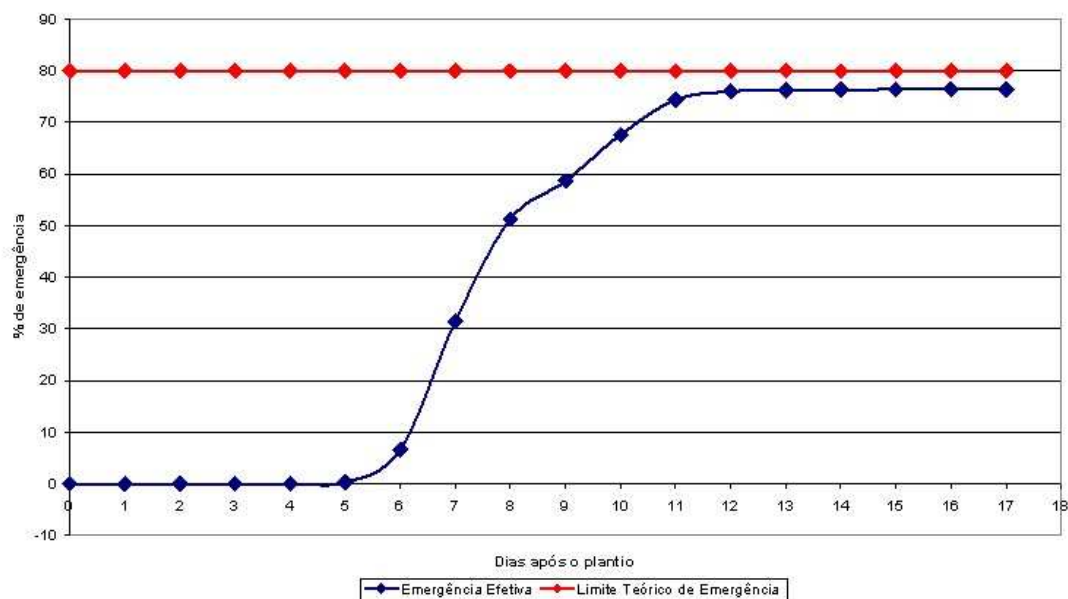


Figura 101. Marcha de emergência de plântulas de soja (valores totais).

Tabela 28. Índice de velocidade e número médio de dias para emergência de plântulas.

Linha	Emergência		Índice de Velocidade de Emergência (IVE) medido em 30 metros (plântulas/dia)	IVE / 10 metros (IVE-30m dividido 3) (plântulas/dia)	Número médio de dias para emergência medido em 30 metros (dias)
	Teórica (%)	Observada (%)			
1	80	84,3	158,51	52,83	10,49
2	80	74,3	145,71	48,56	10,37
3	80	66,7	138,48	46,15	9,74
4	80	77,3	149,54	49,84	10,40
5	80	69	130,48	43,49	9,91
6	80	74,7	147,19	49,06	9,23
7	80	73	147,63	49,20	9,21
8	80	80,3	152,53	50,87	9,90
9	80	71,7	144,00	48	9,27
10	80	86,7	173,50	57,83	9,24
Média	80	76,4	158,51	49,58	9,78

Pelos dados apresentados pelas Tabela 27 e Tabela 28 concluí-se que a nova máquina de semeadura NSMC obteve excelente resultado em relação a emergência. Pela Tabela 28 observa-se que algumas linhas obtiveram emergência superior à registrada pela cooperativa fornecedora da semente, a emergência média foi de 76,4%, em termos relativos de um máximo de 80% (100% relativo) teve-se um índice médio relativo de 95,5%. O início da

emergência ocorreu no quinto dia após a semeadura o que concorda com os dados obtidos por Modolo (2006). Segundo Portela (1997) quanto maior o índice de velocidade de emergência de plântulas melhor é a emergência, Modolo (2006) obteve valores de índice de velocidade de emergência ao redor de 25 para semeadura de soja com 87% de germinação e 98% de pureza à 5 cm de profundidade com dosagem de 25 sementes por metro em latossolo vermelho distroférico, assim verifica-se que pela Tabela 28 que a NSMC teve ótimo índice de velocidade de emergência de plântulas, em média o dobro do índice obtido por Modolo (2006), lembrando que as condições de solo, sementes e regulagens foram muito semelhantes. O número médio de dias para emergência foi de 9,78 dias o que concorda com observações feitas por Silva et al. (2004) que encontrou valores entre 8,38 e 10,1 e Bonato (2008) que encontrou valores em torno de 10 dias.

Helms et al. (1996) afirma que a soja é muito sensível às questões de teor de água e a temperatura no solo, pois as combinações entre estes fatores é que determinam o grau de emergência das plântulas. Neste trabalho o teor de água foi mantido constante pela irrigação, Silva (1990) afirma que a taxa de germinação e a germinação total aumentam quando existe maior área de contato entre a semente e a área líquida do solo, esta afirmação aliada com o resultado obtido da semeadura com a NSMC induz a conclusão de que as sementes tiveram um bom contato com o solo neste experimento. Já a temperatura teve variação. Segundo Câmara (2000) a faixa de temperatura para a soja varia de 20 a 35°C e o intervalo ideal está entre 25 e 30°C, pela Tabela 4, verifica-se que a temperatura média no experimento (19,9°C) manteve-se na faixa recomendada para a soja e que em vários dias, boa parte do período diurno manteve-se na faixa ótima, isto explica a boa emergência verificada, apesar da semeadura ter sido realizada em maio, época não adequada para a soja no Estado de São Paulo, IAC (1998). Apesar disto Silva (1990) afirma que embora a temperatura tenha grande influência no processo bioquímico da germinação, pode haver uma boa germinação em um largo intervalo de temperatura em torno do ótimo.



Figura 102. Emergência das plântulas, sexto dia após o plantio, notar marcas amarelas.

Os testes de normalidade da emergência total de plântula são apresentados na Figura 103 e na Figura 104.

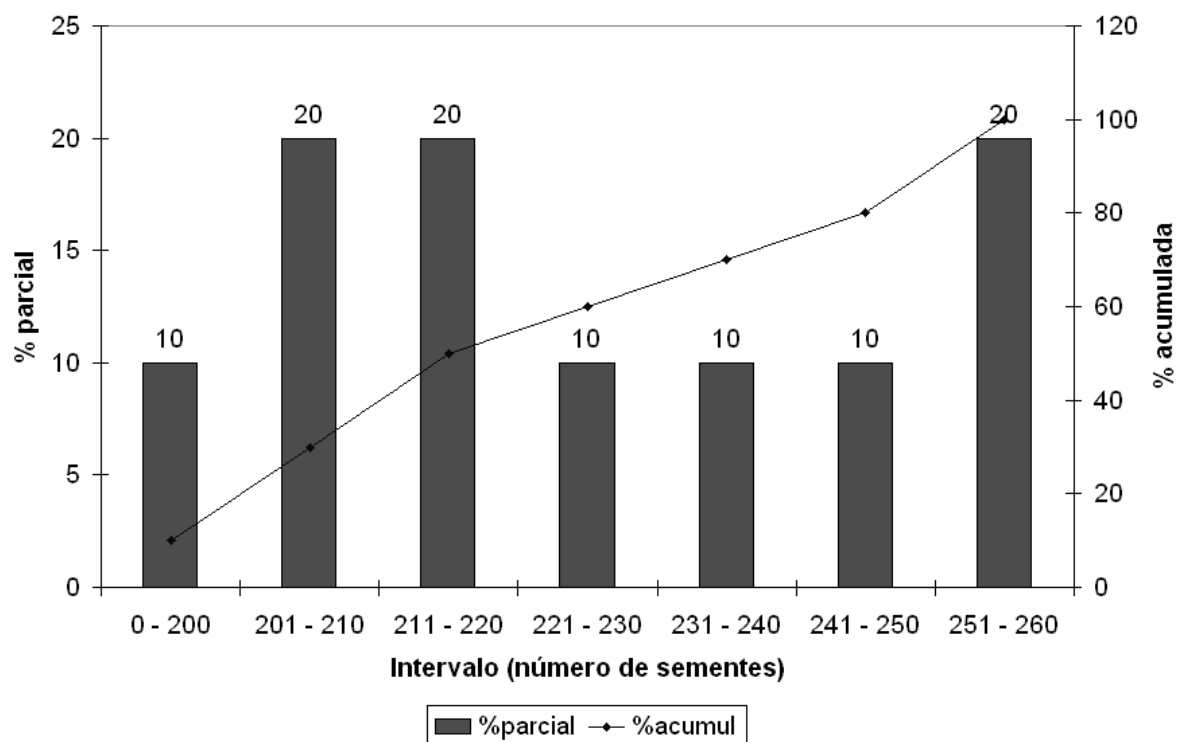


Figura 103. Histograma da emergência de plântulas por linha de semeadura.

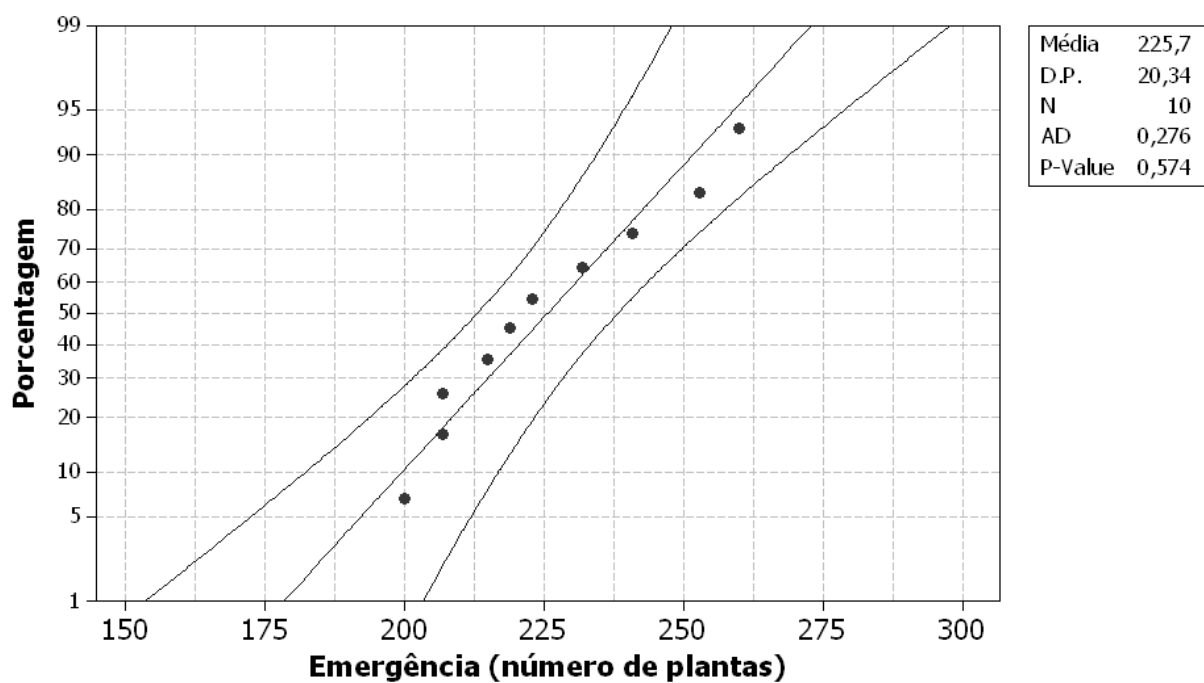


Figura 104. Gráfico de probabilidade normal da emergência de plântulas, intervalo de confiança de 95%.

A distribuição acumulada do histograma da emergência de plântulas por linha de semeadura apresentada na Figura 103 mostra-se dentro do padrão de normalidade (curva s assintótica). O gráfico de probabilidade normal mostrado na Figura 104 não tem pontos fora dos limites de confiança de 95%, e os pontos comportam-se linearmente. O teste de Anderson-Darling (A.D.) tem valores pequenos, pouco distantes de zero e o valor p é maior do que a significância de 5% (0,05), portanto não é aceita a hipótese nula de normalidade, assim para a emergência de plântulas por linha de semeadura o desvio padrão é uma medida confiável para análise da variabilidade dos dados o que torna o gráfico de controle e os índices Cp e Cpk medidas confiáveis.

O gráfico de controle da emergência de plântula é apresentado na Figura 105.

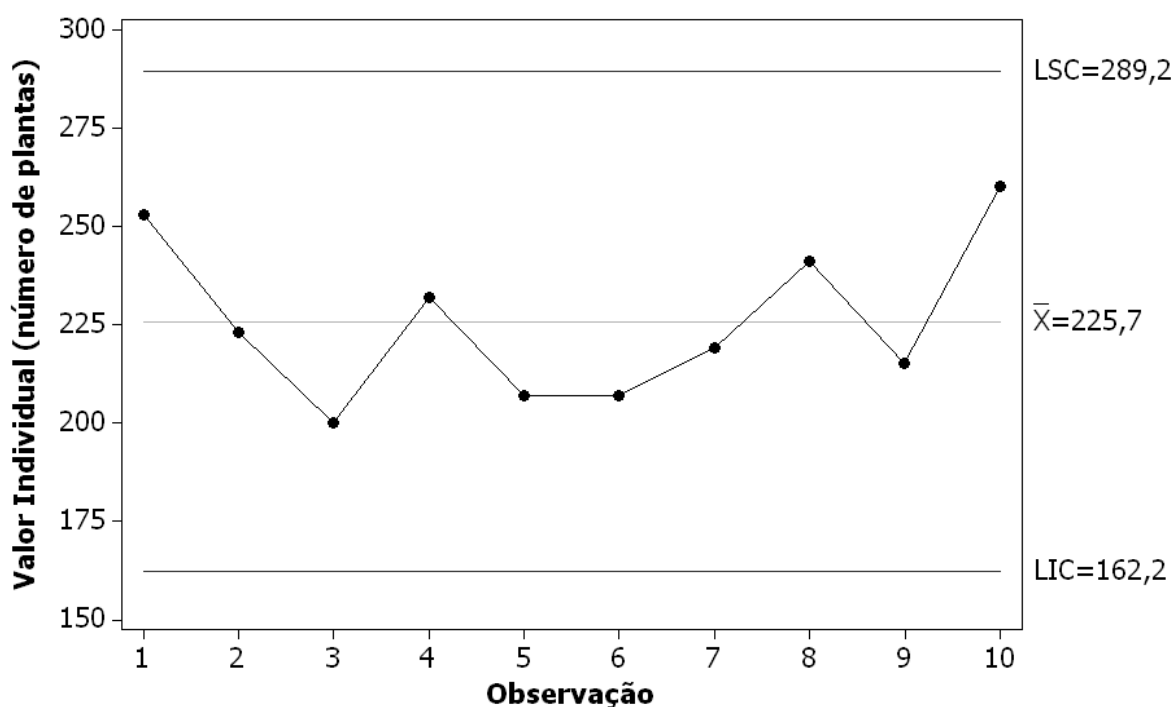


Figura 105. Gráfico de controle da emergência de plântulas por linha de semeadura.

Pelo gráfico de controle apresentado na Figura 105 verifica-se que a emergência de plântulas por linha de semeadura é estável e tem pouca variabilidade, o que prefigura uma ação homogênea em toda a área semeada pela NSMC.

A análise da capacidade do processo da emergência de plântulas é apresentada na Figura 106.

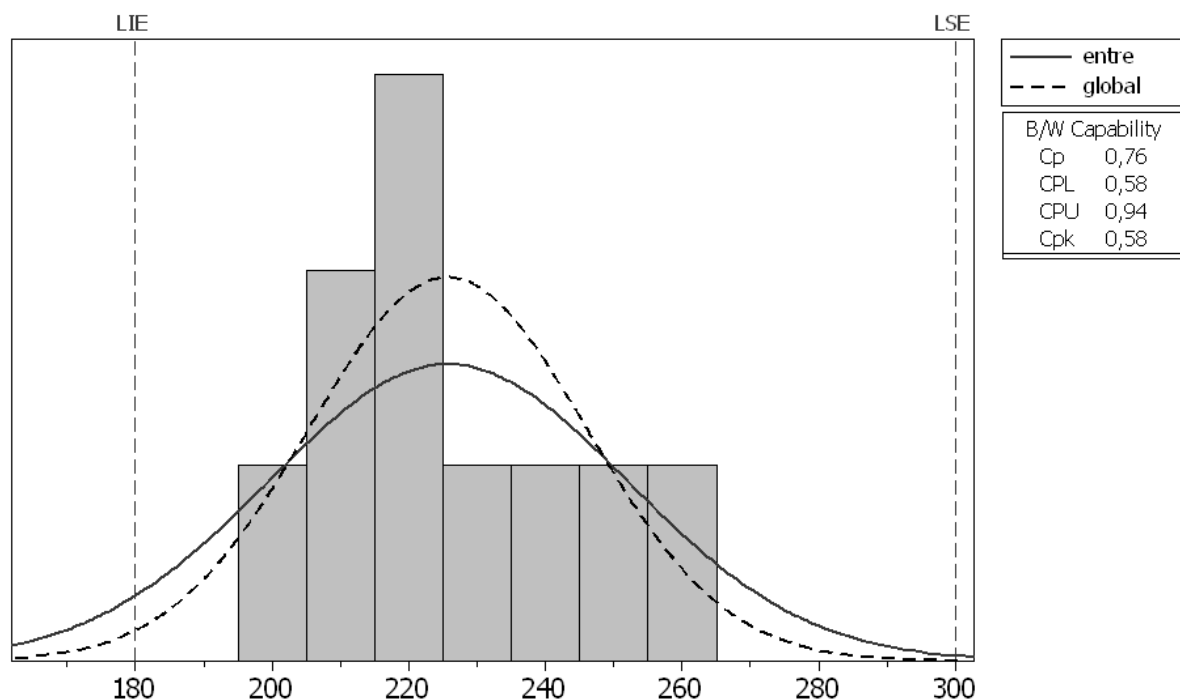


Figura 106. Análise da capacidade do processo da emergência de plântulas.

Os limites de especificação foram considerados: limite Superior de Especificação (LSE) 100% de emergência: 300 sementes por linha e Limite Inferior de Especificação (LIE) 60% de emergência: 180 sementes por linha. Tem-se um processo com capacidade potencial, $C_p=0,76$, e uma capacidade efetiva, $C_{pk}=0,58$ o que significa uma taxa de falha menor do que 1 em 14 amostras (Tabela 13). A Figura 106 mostra que a distribuição de dados está deslocada para a esquerda, o que é comprovado pelos valores de C_p e C_{pk} que possuem amplitude si de 0,18, no entanto o processo está entre os limites de especificação.

Os testes de normalidade do índice de velocidade de emergência de plântulas são apresentados nas Figura 107 e Figura 108.

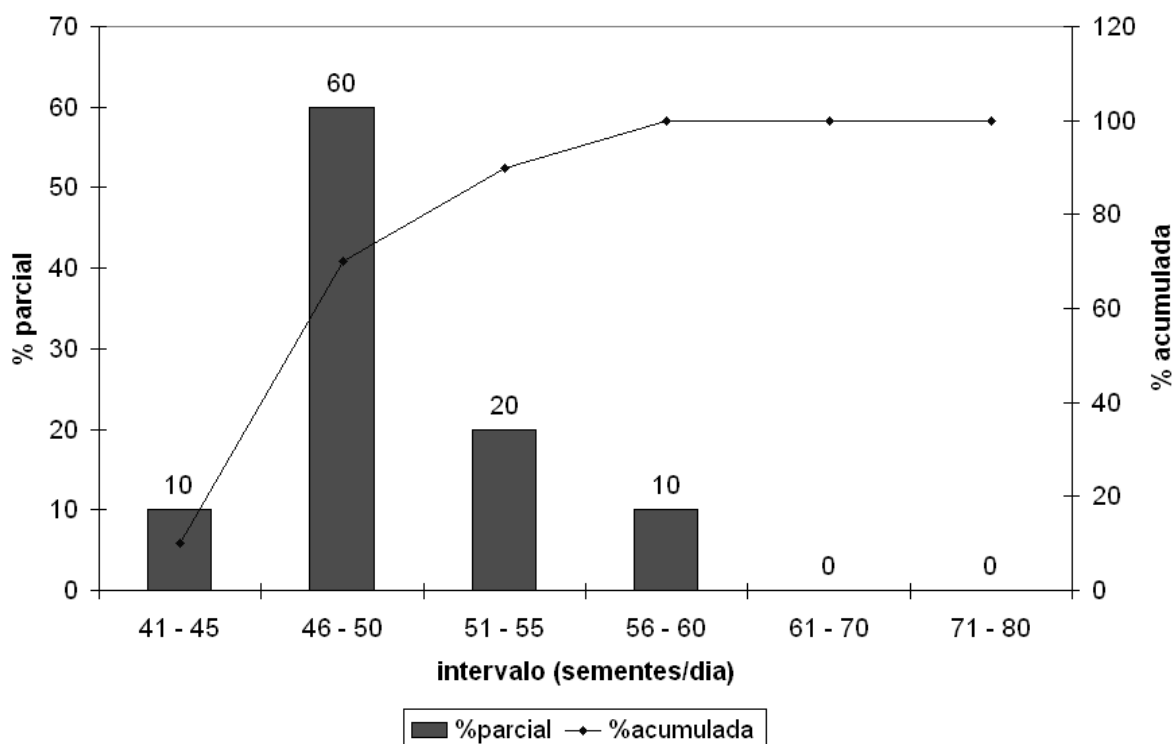


Figura 107. Histograma do índice de velocidade de emergência por linha de semeadura.

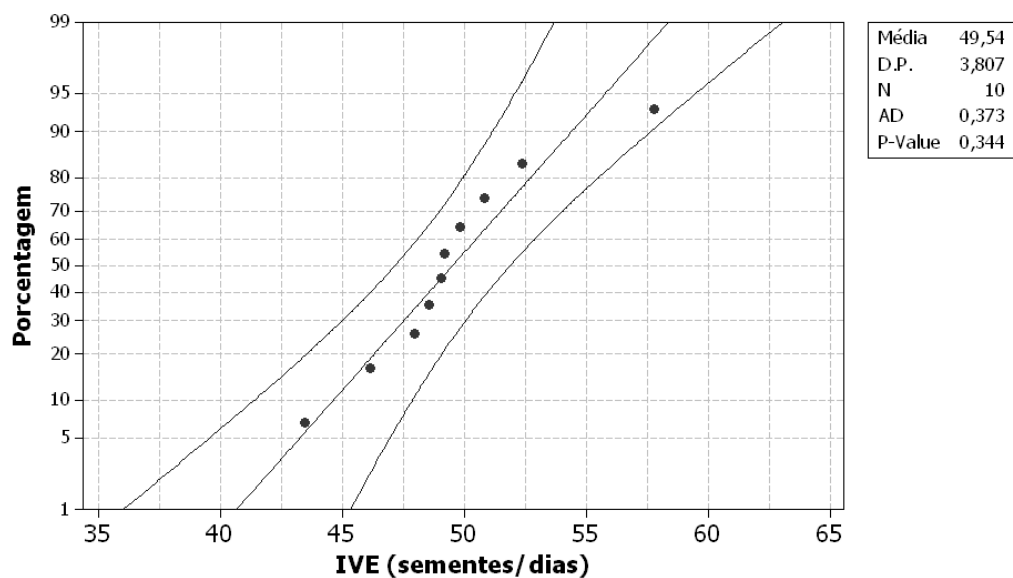


Figura 108. Gráfico de probabilidade normal do índice de velocidade de emergência, intervalo de confiança de 95%.

A distribuição acumulada do histograma do índice de velocidade de emergência de plântulas por linha de semeadura apresentada na Figura 107 mostra-se dentro do padrão de

normalidade (curva s assintótica). O gráfico de probabilidade normal mostrado na Figura 108 não tem pontos fora dos limites de confiança de 95% e os pontos comportam-se linearmente. O teste de Anderson-Darling (A.D.) tem valores pequenos, pouco distantes de zero e o valor p é maior do que a significância de 5% (0,05), portanto não é aceita a hipótese nula de normalidade, assim para o índice de velocidade de emergência de plântulas por linha de semeadura, o desvio padrão é uma medida confiável para análise da variabilidade dos dados o que torna o gráfico de controle e os índices Cp e Cpk medidas confiáveis.

O gráfico de controle do índice de velocidade de emergência de plântulas é apresentado na Figura 109.

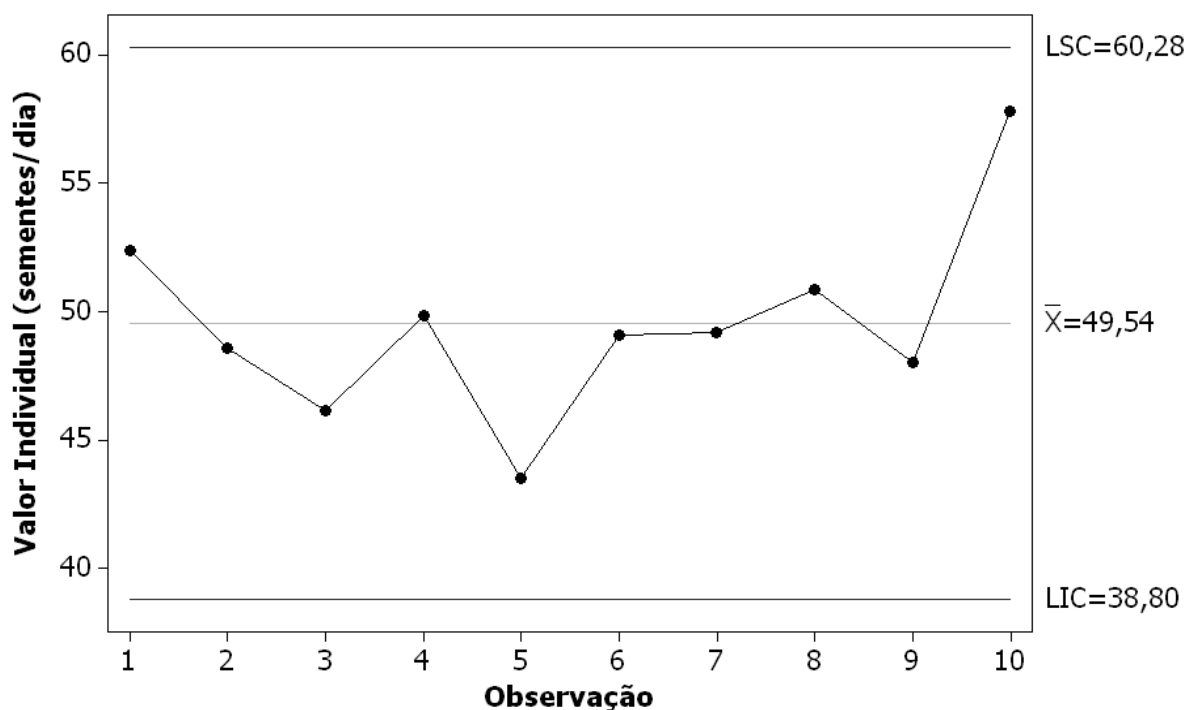


Figura 109. Gráfico de controle do índice de velocidade de emergência.

Pelo gráfico de controle apresentado na Figura 109, verifica-se que a velocidade de emergência de plântulas por linha de semeadura é estável e tem variabilidade aceitável o que indica que a semeadura possibilitou a toda a área do experimento condições iguais para a emergência, visto as velocidades de emergência em todas as linhas ter sido homogêneas.

A análise da capacidade do processo do índice de velocidade de emergência de plântulas é apresentada na Figura 110.

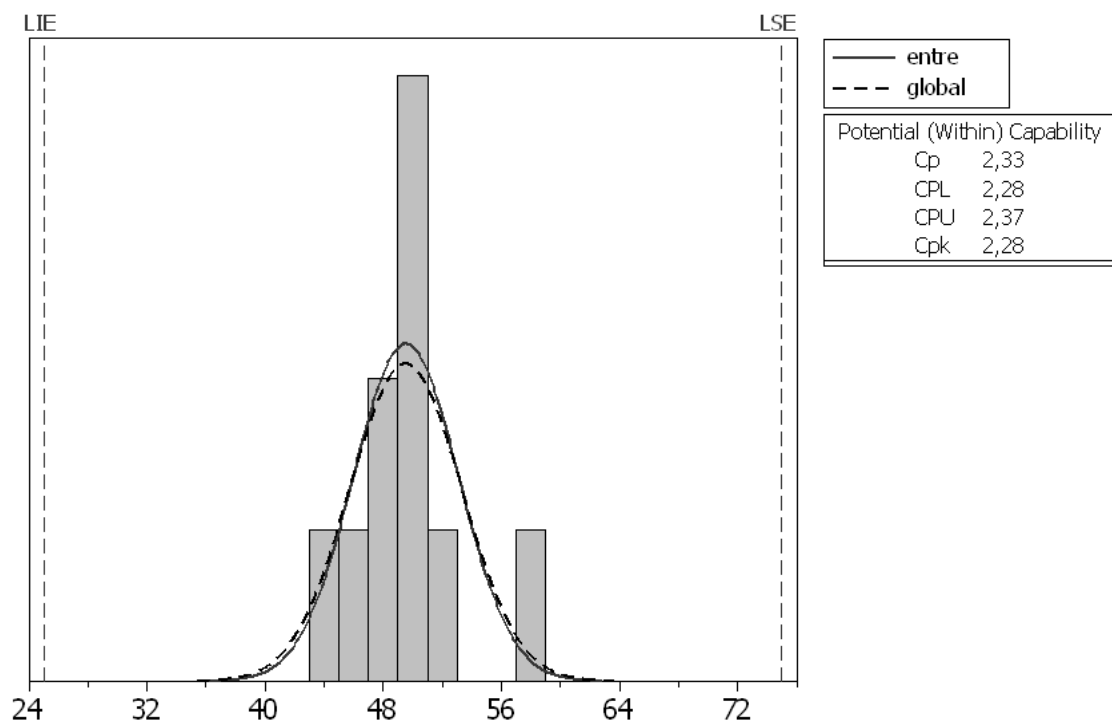


Figura 110. Análise da capacidade do processo do índice de velocidade de emergência.

Os limites de especificação foram considerados segundo limites definidos por Modolo (2006): Limite Superior de Especificação (LSE): 80 sementes/dia e Limite Inferior de Especificação (LIE): 25 sementes/dia têm-se um processo com capacidade potencial adequado, $C_p=2,23$, e uma capacidade efetiva Capaz, $C_{pk}=2,28$, o que significa uma taxa de falha menor do que 1 em 1.500.000 amostras (Tabela 13). A Figura 110 mostra que a distribuição de dados está centrada o que é comprovado pelos valores de C_p e C_{pk} que possuem amplitude si de apenas 0,05, além do processo estar entre os limites de especificação.

Os testes de normalidade do número médio de dias para emergência são apresentados nas Figura 111 e Figura 112.

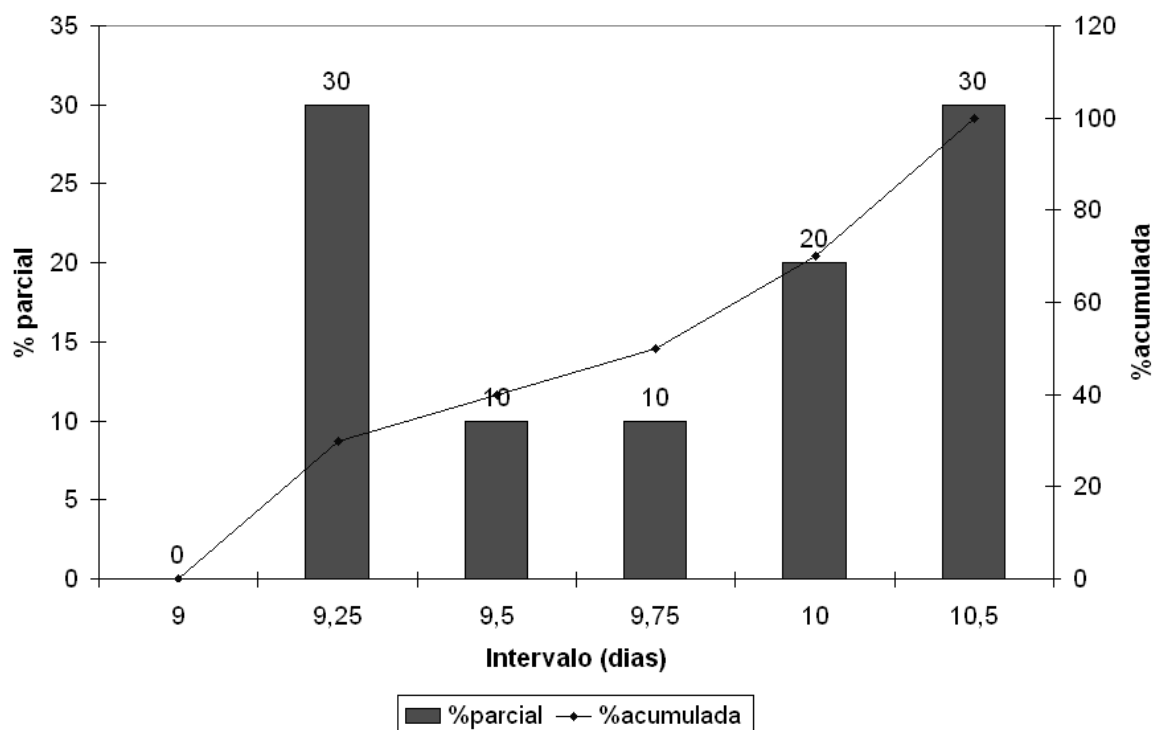


Figura 111. Histograma do número médio de dias para emergência.

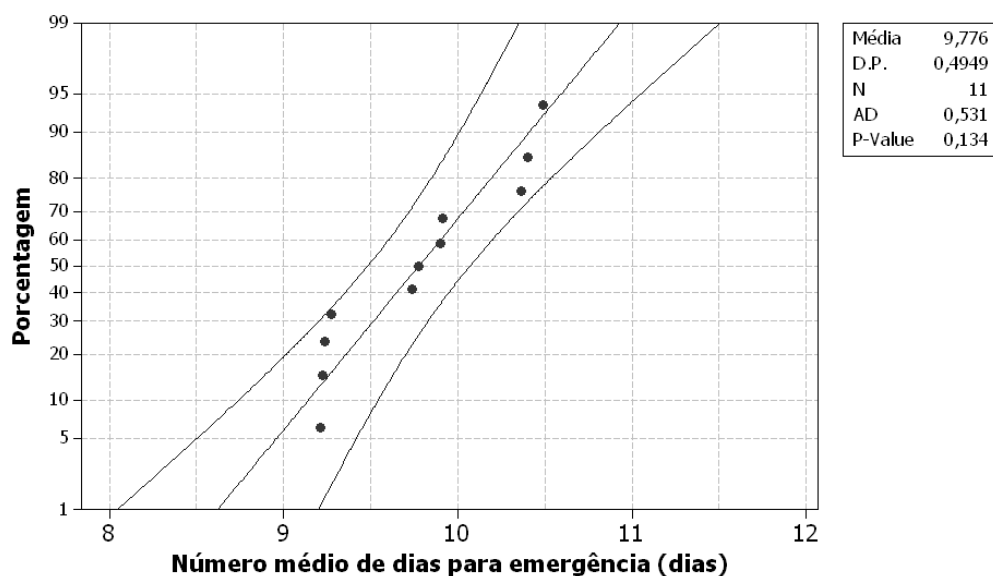


Figura 112. Gráfico de probabilidade normal do número médio de dias para emergência, intervalo de confiança de 95%.

A distribuição acumulada do histograma do número média de dias para emergência de plântulas por linha de semeadura apresentada na Figura 111 mostra-se dentro do padrão de normalidade (curva s assintótica). O gráfico de probabilidade normal mostrado na Figura 112 não tem pontos fora dos limites de confiança de 95% e os pontos comportam linearmente. O

teste de Anderson-Darling (A.D.) tem valores pequenos, pouco distantes de zero e o valor p é maior do que a significância de 5% (0,05), portanto não é aceita a hipótese nula de normalidade, assim para o número médio de dias para emergência de plântulas por linha de semeadura, o desvio padrão é uma medida confiável para análise da variabilidade dos dados o que torna o gráfico de controle e os índices Cp e Cpk medidas confiáveis.

O gráfico de controle do número médio de dias para emergência é apresentado na Figura 113.

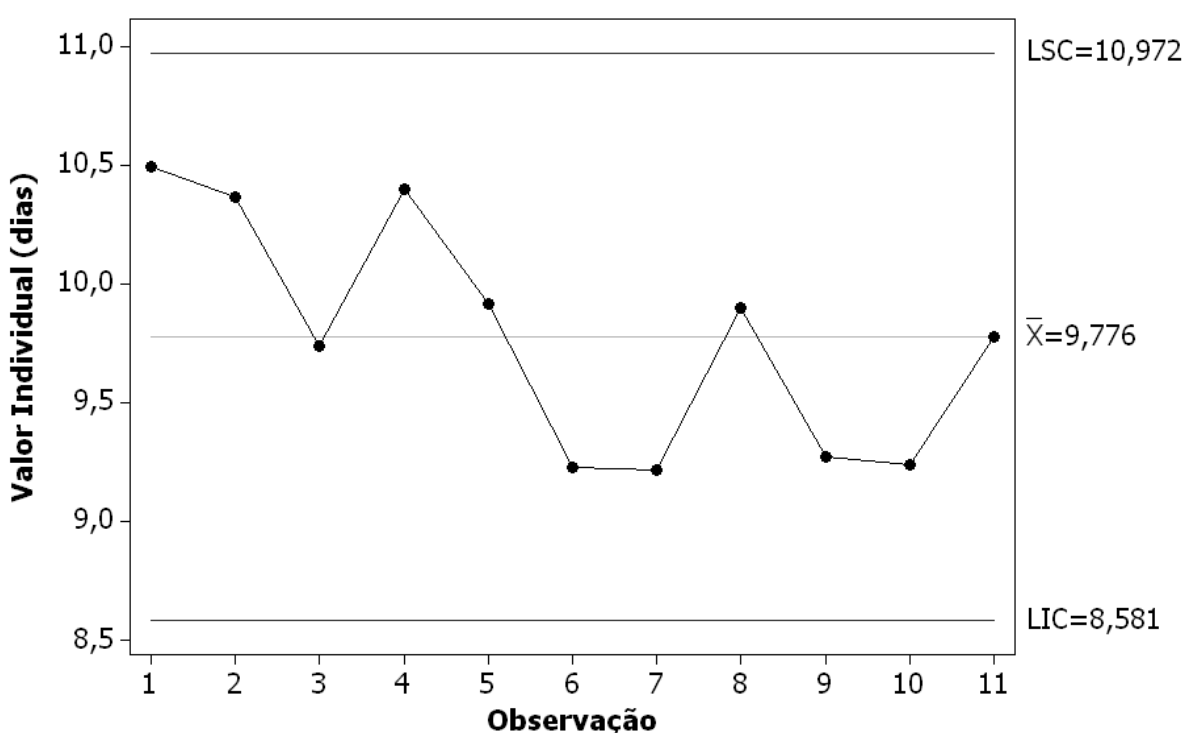


Figura 113. Gráfico de controle do número médio de dias para emergência.

Pelo gráfico de controle apresentado na Figura 113 verifica-se que o número médio de dias para emergência de plântulas por linha de semeadura é estável e tem variabilidade aceitável.

A análise da capacidade do processo do número médio de dias para emergência é apresentada na Figura 114.

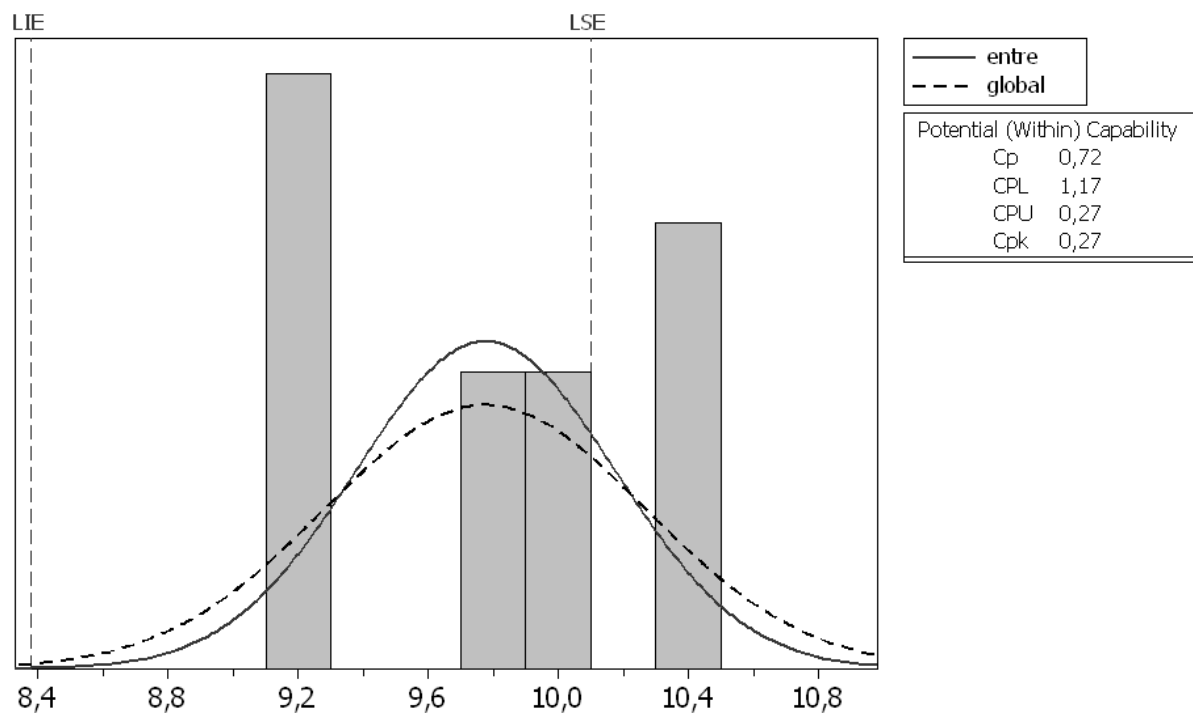


Figura 114. Análise da capacidade do processo do número médio de dias para emergência.

Os limites de especificação foram considerados segundo limites definidos Silva et al. (2004) que encontrou valores variando entre 8,38 dias (LIE) e 10,1 dias (LSE), portanto tem-se um processo com capacidade potencial, $C_p=0,72$, e uma capacidade efetiva, $C_{pk}=0,27$. A Figura 114 mostra que a distribuição de dados está deslocada para a direita o que é corroborado pelos valores de C_p e C_{pk} que possuem amplitude si de 0,45, além do processo ter muitos dados fora do limite de especificação superior o que indica um atraso na emergência das plântulas, este fato pode ser explicado pela inadequação do período de semeadura (mês de maio), pois esta época não é adequada para a semeadura de soja no Estado de São Paulo (IAC, 1998).

4.4 ANÁLISE DE EFEITOS E MODOS DE FALHA (FMEA)

A análise de efeitos e modos de falha foi realizada seguindo as recomendações de Teng e Ho (1996) e Teng et al. (2006) que prescrevem que um FMEA deve: 1- Definir do escopo da análise em função da resolução e foco dos estudos; 2- Preparar o fluxograma do projeto/processo, mostrando as relações entre subsistemas e subprocessos; 3- Identificar os possíveis modos de falha (que tipo e como estas falhas ocorrem); 4- Identificar as causas destas falhas; 5- Analisar o efeito desta falha; 6- Classificar a severidade; 7- Classificar a ocorrência; 8- Determinar a detecção; 9- Calcular o NPR; 10- Definir as falhas críticas; 11- Recomendar ações corretivas.

DEFINIÇÃO DO ESCOPO DA ANÁLISE

Este trabalho foi centrado na análise do processo de semeadura de soja realizada pela NSMC, a resolução alcançada foi em termos dos seguintes sub-processos constituintes, apresentados em ordem de ocorrência na semeadura:

1-Operação da NSMC: Acoplamento das marchas motocultor; Regulagens iniciais da semeadora (sulcador sementes, engrenagens adubadora/semeadora, discos aterradores, discos estabilizadores, roda compactadora, regulagem assento operador, regulagem guidon motocultor; Controle do sistema hidráulico da roda elevadora; Acesso aos comandos do motocultor e semadora; Manutenção diária do motocultor e semeadora (óleo de motor/óleo diesel/filtro de ar/pressão pneus/graxa/óleo hidráulico); Abastecimento do reservatório de adubos; operação dos freios de mão; segurança do operador; Abastecimento do reservatório de sementes; manutenção de velocidade operacional adequada;

2-Transmissão de Potência rotativa da TDP para o “paraplow” rotativa: segurança do operador; flexibilidade nas manobras; manutenção do cardan e manutenção do redutor;

3-Corte das plantas daninhas: corte superficial da plantas daninhas; corte subsuperficial das raízes; eliminação de embuchamentos na parte superior do “paraplow” rotativo; eliminação de embuchamentos na parte inferior do “paraplow” rotativo; lançamento radial das plantas daninhas;

4-Corte de resíduos superficiais: corte dos resíduos superficiais; lançamento radial dos resíduos; eliminação de dos resíduos;

5-Espalhamento dos resíduos superficiais: realizar a cobertura de resíduos uniformemente no sulco de semeadura;

6-Preparo da subsuperfície do solo: formação da área de semeadura com geometria trapezoidal; eliminação de torrões; geração da cama de sementes adequada; eliminação de espelhamento de sulco;

7-Escarificação lateral da faixa de semeadura: escarificação realizadas; geração de área de fissuras com geometria trapezoidal; eliminação da elevação de torrões;

8-Controle de direção da semeadora: controle de deriva devido ao torque gerado pelo “paraplow” rotativo; corte de resíduos superficiais; direcionamento da semeadora; regulagem de profundidade;

9-Geração de potência rotativa pela roda motora da semeadora: eliminação de patinagem; regulagens da relação de transmissão; regulagens da pressão sobre o solo;

10-Distribuição de fertilizantes: distribuição realizada de forma homogênia; eliminação de cavernas no volume de adubo; eliminação de blocos de adubo; distribuição realizada de forma contínua;

11-Transporte do fertilizante do sistema dosador até o solo: eliminação de incrustações; homegenização dos grânulos pelo “paraplow” rotativo;

12-Distribuição de sementes: distribuição realizada de forma homogênia e adequada; neutralização de efeitos da vibração;

13-Transporte de sementes do dosador até o solo: eliminação de efeitos retardadores de queda das sementes;

14-Sincronização dos sistemas de dosagem de sementes/fertilizantes: adequação das relações de transmissão; facilitação de troca da relação de transmissão; adequação das composições de dosagens de sementes e adubos;

15-Deposição das sementes no sulco de semeadura: adequação da deposição no sulco; regulagem de profundidade do sulco de semeadura; formação de geometria do sulco adequada; eliminação de sementes encestadas;

16-Regulagem de profundidade: regulagem da profundidade de operação da semeadura;

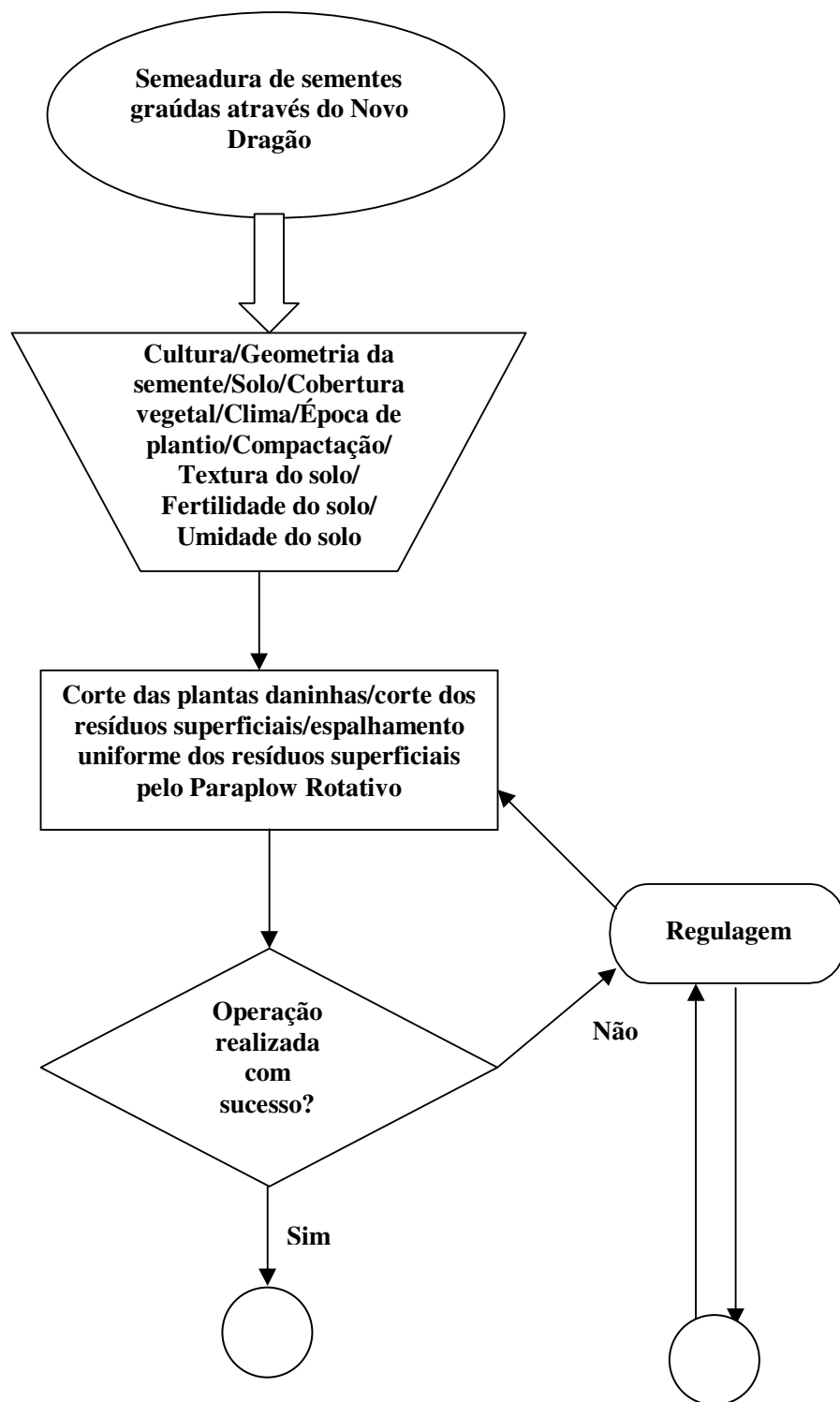
17-Aterramento das sementes: aterramento das sementes realizada de forma adequada; ausência de embuchamentos nos discos aterradores; regulagens dos discos;

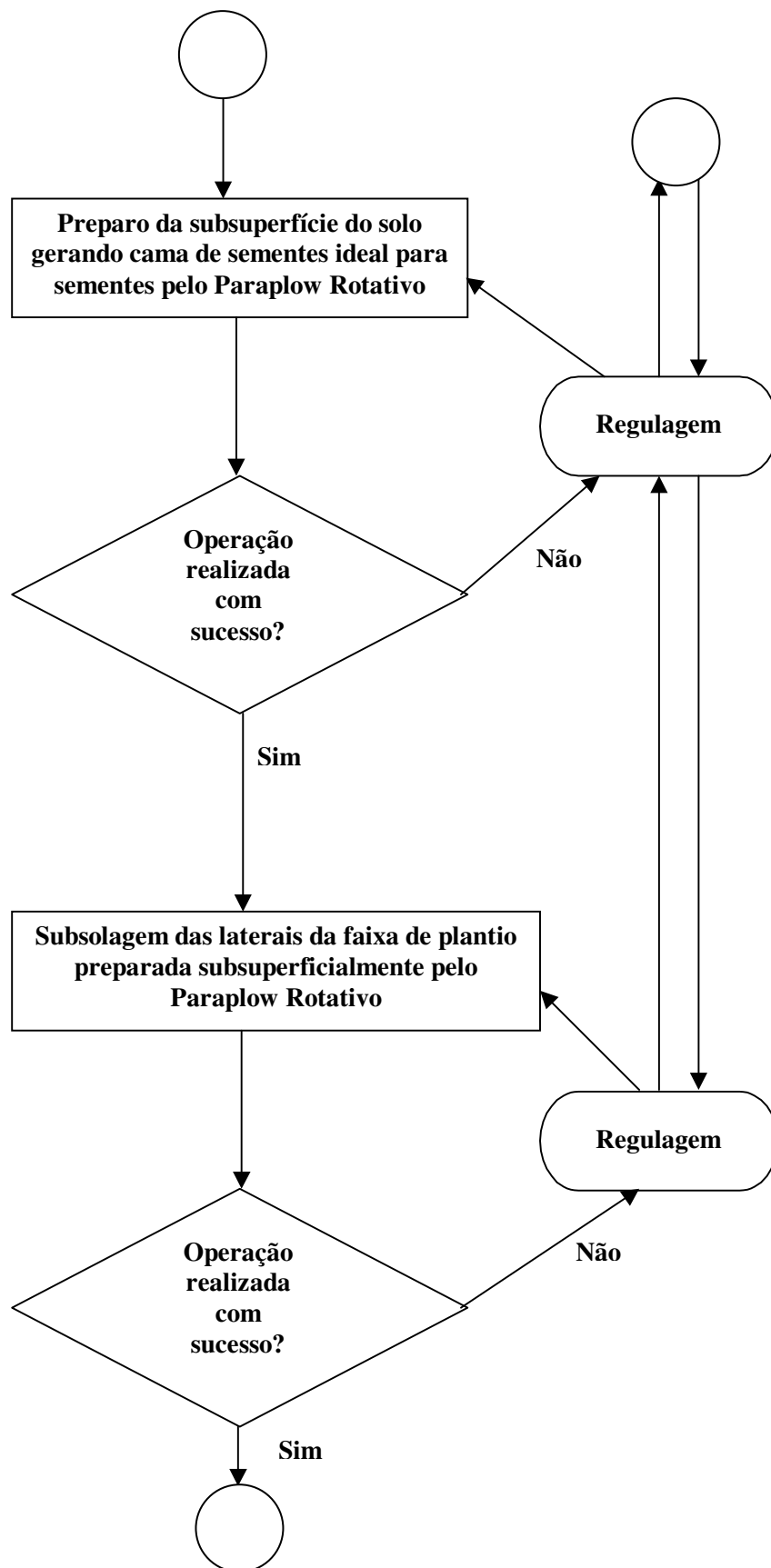
18-Compactação do solo sobre as sementes: compactação realizada de forma adequada; regulagens de pressão das rodas compactadoras; inexistência de selamento superficial.

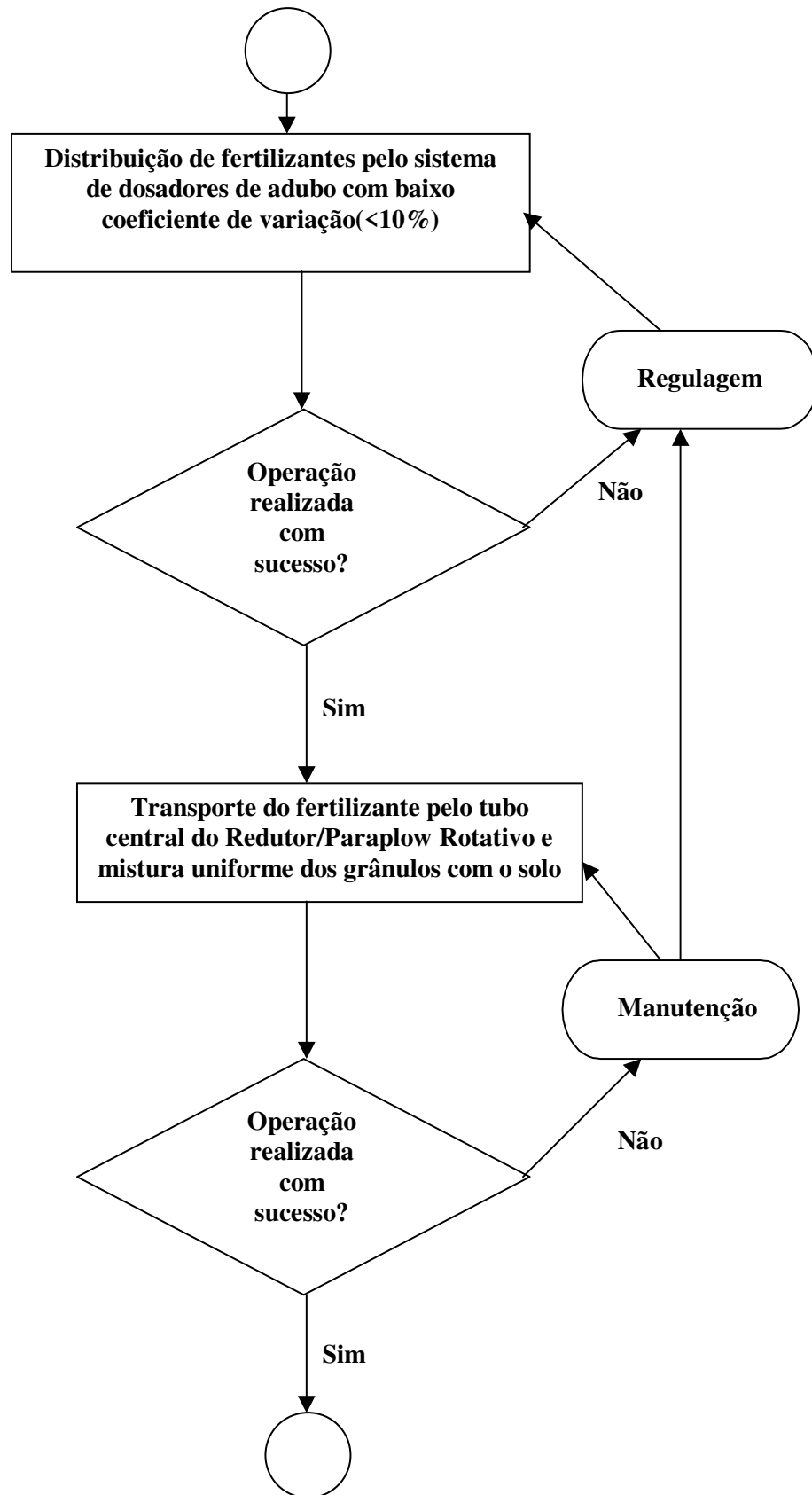
Os principais focos pretendidos neste estudo são relativos a determinar as potenciais falhas nas áreas de: segurança, manutenção, operação e resultado final.

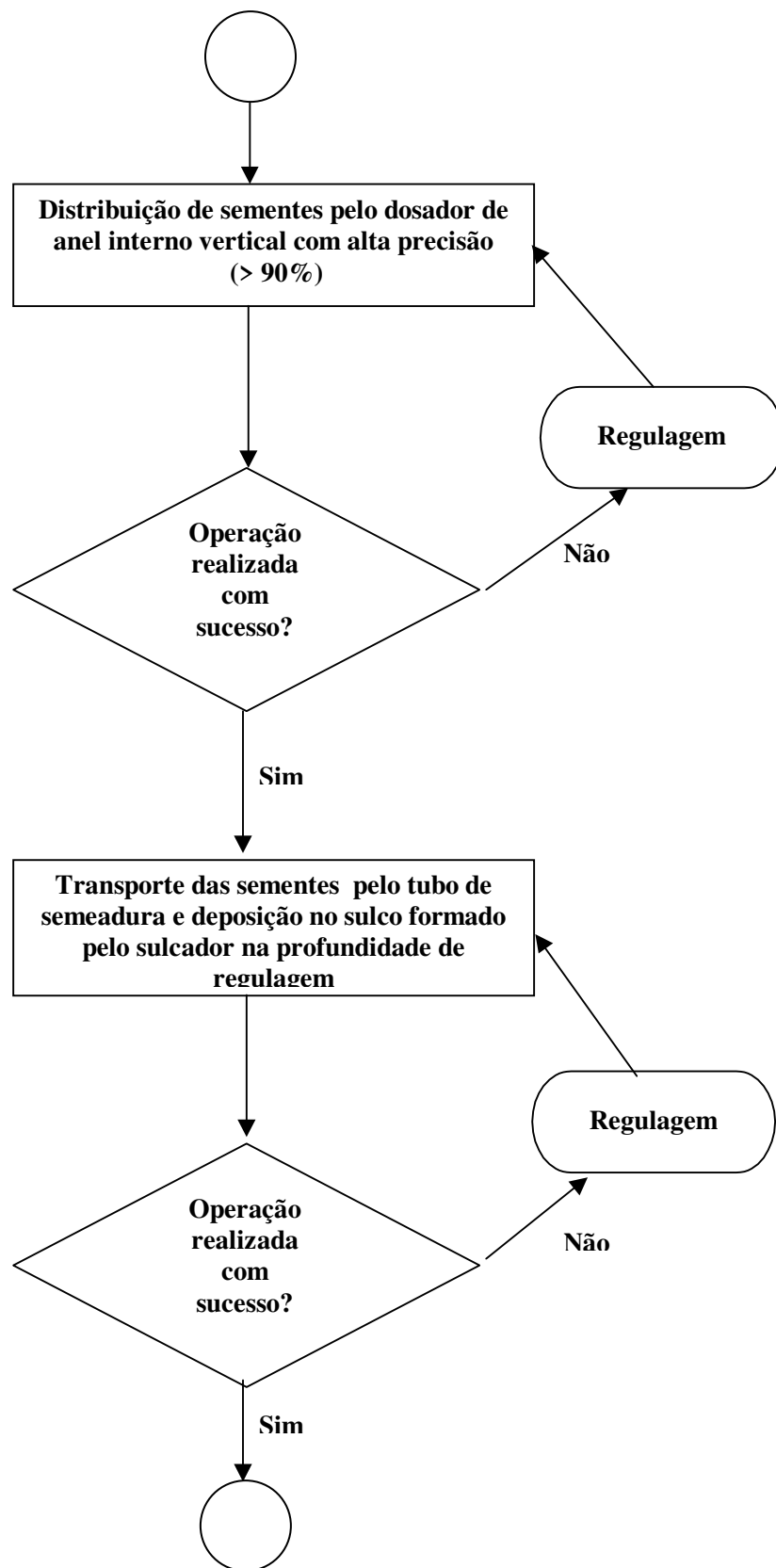
FLUXOGRAMA DO PROCESSO

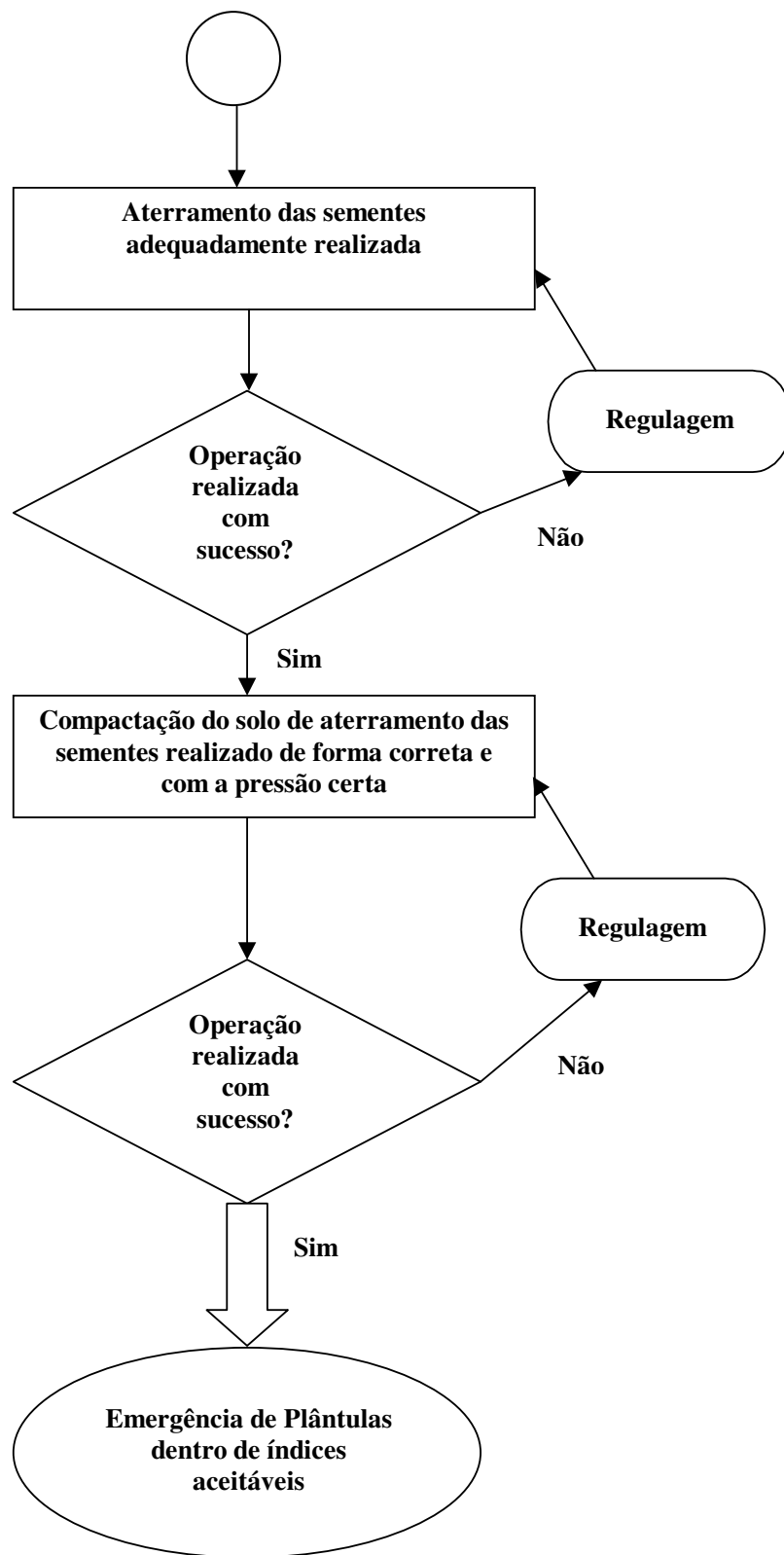
Fluxograma do Processo











IDENTIFICAÇÃO, ANÁLISE, CLASSIFICAÇÃO, DETERMINAÇÃO E CÁLCULO DO MODO, EFEITO, SEVERIDADE, OCORRÊNCIA, DETECÇÃO E NÚMERO DE PRIORIDADE DE RISCO (NPR) DAS FALHAS.

DEFINIÇÃO DAS FALHAS CRÍTICAS

Neste trabalho foi seguida a metodologia apresentada por Barros (2008) que elencou as falhas em ordem decrescente em função de sua criticidade, o que determinou as falhas críticas, e direcionou os esforços para estas. Foram consideradas falhas críticas aquelas que obtiveram a seguinte classificação:

408 – 607 – Média Prioridade (MP)

608 – 807 – Alta Prioridade (AP)

808 – 1000 – Total Prioridade (TP)

Na Tabela 29 têm-se as possíveis falhas na ordem decrescente de prioridade, desconsiderando aquelas que obtiveram classificação baixa ou muito baixa prioridade:

Tabela 29. Falhas críticas em função da prioridade de risco.

Falha Potencial	NPR	Classe
1-Freios de mão não funcionam	900	TP
2-Compactação realizada de forma inadequada	648	AP
3-Blocos de adubo atrapalhando a uniformidade e danificando o mecanismo	640	AP
4-Velocidade operacional inconstante	630	AP
5-Regulagem da profundidade de deposição das sementes	512	MP
6-Difícil acesso e manutenção do redutor	504	MP
7-Patinagem da roda motora de acionamento da semeadora/adubadora	480	MP
8-Difícil acesso e manutenção do cardan	480	MP
9-Discos estabilizadores do controle de direção de difícil regulagem	450	MP

FALHAS CRÍTICAS:

1-A falha potencial com maior risco é em relação ao não funcionamento dos freios de mão. Esta falha ocorre principalmente a uma não conformidade de uso do sistema de freios, estes foram previstos para operação em auxílio a manobras de curva, mas em vez disto o operador pode usá-los como meio de parada da máquina. Dependendo da situação de relevo em que a máquina se encontre (uma descida), o operador pode se valer dos freios de mão para parar o motocultor, nesta situação existe o sério risco de acidente com vítimas, pois o sistema de freios de mão não foi projetado para parar a máquina.

2-A segunda falha mais importante é relativa a compactação do sulco de semeadura que feita de forma inadequada compromete seriamente a germinação das plântulas. Esta falha pode ocorrer devido a uma má regulagem da pressão da mola do sistema de roda compactadora, além de problemas relativos ao posicionamento do pivô da mesma devido a especificidades operacionais o que pode levá-la a travar em uma posição inadequada.

3-Esta falha independe do processo de distribuição de fertilizantes, pois depende da qualidade do adubo utilizado, assim como da umidade relativa do ar no momento da semeadura.

4-O fato da velocidade operacional ser inconstante está diretamente ligada a problemas de patinagem excessiva das rodas motoras do motocultor que está ligado a falta de lastro e pouco peso líquido da máquina. Outra dimensão desta falha está associada ao escalonamento de marchas do motocultor que não possui uma adequada composição de velocidades com torques no eixo motor o que ocasiona a utilização de marchas inadequadas.

5-A regulagem da profundidade de deposição das sementes é realizada de maneira muito difícil devido ao posicionamento e tipo de mecanismos de regulagens.

6-Devido a necessidade de proteção do operador e adequação estrutural, o redutor é localizado em região de difícil acesso para manutenção e inspeção.

7-A deslizamento da roda motora é um falha relacionada com a falta de contato ou pouca pressão desta roda sobre o solo, a principal causa disto é a inadequação das regulagens do mecanismo da roda motora da semeadora/adubadora.

8-Devido a necessidade de proteção do operador, o cardan da transmissão TDP/redutor é localizado em região de difícil acesso para manutenção e inspeção.

9-Os discos estabilizadores foram posicionados de tal forma que a regulagem é muito difícil e podem até machucar o operador.

RECOMENDAÇÕES DE AÇÕES CORRETIVAS

1- Freios de mão não funcionam:

Reprojeto dos freios de mão para atuarem também como freios de parada.

2-Compactação realizada de forma inadequada:

Modificação do projeto para evitar o travamento do pivô da roda e facilitar a regulagens de pressão.

3-Blocos de adubo atrapalhando a uniformidade de distribuição e danificando o mecanismo:

Esta falha se refere a condições externas ao processo, como solução poderia-se utilizar uma peneira para retirar blocos rígidos de adubos antes deste serem depositados no reservatório.

4-Velocidade operacional inconstante;

Para se eliminar esta falha é preciso adotar lastros líquidos e sólidos nas rodas motoras da NSMC e adoção de outro motocultor com escalonamento de marchas adequado.

5-Regulagem da profundidade de deposição das sementes:

Modificação do projeto do sistema de regulagem de profundidade do sulcador de sementes, além de adoção de um sistema de seguimento de perfil de solo.

6-Difícil acesso e manutenção do redutor;

Bastaria o projeto e adoção de janelas de inspeção que possibilitariam acesso a estas regiões de difícil acesso.

7-Patinagem da roda motora de acionamento da semeadora/adubadora:

Modificação do projeto de regulagens da roda motora, além de um sistema de seguimento de perfil de solo.

8-Difícil acesso e manutenção ao cardan da transmissão semeadora/adubadora:

Projeto e adoção de janelas de inspeção e manutenção na estrutura de proteção do cardan.

9-Discos estabilizadores do controle de direção de difícil regulagem:

Reprojeto do posicionamento dos discos estabilizadores.

5- CONCLUSÃO

Pelos dados apresentados nas avaliações de campo em condições reais, a nova máquina de semeadura conservacionista em faixas NSMC confirmou a hipótese do trabalho, que o desempenho em relação à emergência de plântulas é compatível ao plantio direto, pois a emergência total de sementes, o número médio de dias para emergência de sementes e o índice de velocidade de emergência tiveram valores iguais à experimentos de plantio direto de soja em condições iniciais semelhantes, deve ser destacado no entanto que neste trabalho as condições de água e temperatura não foram as mesmas, o suprimento de água sempre foi constante e suficiente para as sementes e a temperatura do ambiente não era a ideal para a germinação das sementes. Outra questão é o fato de não haver nenhum sistema de semeadura atual com as características da NSMC, assim as comparações entre outros sistemas tem que ser realizadas com cuidado. As características operacionais foram adequadas às necessidades das pequenas propriedades rurais, já que a capacidade de campo da nova semeadora possibilita o trabalho por toda a área das pequenas propriedades (10 ha) em tempo hábil dentro do período de semeadura.

O desenvolvimento do projeto e construção dos protótipos foi concluído. O protótipo 1 foi melhorado o que gerou o protótipo 2 de desempenho satisfatório. Os testes em laboratório dos mecanismos de semeadura e adubação foram concluídos com sucesso. Os testes em campo foram feitos perpetrando diversas modificações até a obtenção de resultados adequados.

Os estudos de qualidade através do controle estatístico de processos foram realizados e indicaram a adequação do processo de semeadura com a NSMC à padrões de qualidade restritos. Questão pertinente se refere à distribuição dos dados que não atingiam requisitos normalidade, nestes casos os métodos tradicionais de controle estatístico de processos não são adequados, o que direcionou as avaliações de qualidade para a Média Móvel Exponencialmente Ponderada (MMEP) e para o Índice de confiança (Cpc), estes métodos se mostraram adequados, permitindo a correta avaliação da qualidade destes processos, pois são métodos não influenciados pela forma da distribuição. Em geral todos os processos envolvidos na semeadura realizada pela NSMC se mostraram estáveis e 85 % destes foram classificados como capazes.

A análise dos modos de falha e seus efeitos possibilitaram propostas de melhorias no processo de semeadura e projeto da máquina. O FMEA teve como equipe um grupo de especialistas heterogêneos, dentre doutores, especialistas de qualidade, técnicos e convidados. Este grupo possibilitou uma análise ampla e detalhada nos diversos aspectos da semeadura realizada. As falhas críticas foram elencadas e soluções definitivas e mitigadoras foram propostas em função da gravidade dos efeitos. Concluiu pela análise do processo que melhorias no projeto e eliminação de falhas poderiam ter sido realizadas antes da construção da máquina, desde que um DFMEA (*Design FMEA*) tivesse sido feito na concepção da máquina.

6- SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros poderiam ser elencados os seguintes tópicos:

- ❖ Realização das modificações sugeridas pelo FMEA na NSMC;
- ❖ Realizar o estudo de custos operacionais, de construção e manutenção da NSMC;
- ❖ Realizar o DFMEA, visando melhorar o projeto da máquina nos aspectos operacionais, de manutenção e principalmente em vista a uma futura produção desta;
- ❖ Realizar estudos de engenharia de produção para adequar os elementos da NSMC para construção em série por pequenas indústrias;
- ❖ Realizar estudos de viabilidade econômica da aplicação da NSMC em propriedades familiares;
- ❖ Estudar a possibilidade de projetar e construir uma máquina multifuncional conservacionista com duas ou mais linhas;
- ❖ Avaliar a aplicação do cultivo em faixas com “paraplow” rotativo para outras culturas;
- ❖ Realizar a semeadura simultânea de soja ou milho pela NSMC e semeadoras de plantio direto adotadas pela agricultura familiar, na categoria de 10 ha, na mesma área nas mesmas condições;
- ❖ Realizar a divulgação do projeto para instituições públicas visando políticas públicas voltadas para a modernização da agricultura familiar.

7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA (ABNT). **Distribuição em linha de fertilizantes ou corretivos: ensaio de laboratório.** Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA (ABNT). **NBR ISO 9001:2000.** Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

ALBIERO, D. **Avaliação do Preparo de Solo empregando o sistema de Cultivo Conservacionista em Faixas com “Paraplow” Rotativo usando Análise Dimensional.** 321 p. Dissertação de mestrado – Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2006.

ALBIERO, D., CHANG, C. S. Avaliação do Desempenho Operacional de Ferramentas de Preparo de Solo do Tipo Rotativo e Resistente. In: Congresso interno de iniciação científica, 8. 2000. **Caderno de Resumos...** Campinas: PRP/UNICAMP, 2000. CD-ROM.

ALBIERO, D., CHANG, C. S. Projeto de “Paraplow” Rotativo com Cultivador para Cultivo no Sistema de Plantio Direto. In: Congresso Interno de Iniciação Científica, 9. 2001, Campinas. **Caderno de Resumos...** Campinas: PRP/UNICAMP, 2001. CD-ROM.

AMABILE, R.F.; CARVALHO, A. M.; DUARTE, J. B.; FANCELLI, A. L. Efeito de épocas de semeadura na fisiologia e produção de fitomassa de leguminosas nos cerrados da região do Matogrosso de Goiás. **Scientia Agrícola**, 53: 1996.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS (ASAE). **ASAE Standards 1997.** 1º Ed. St. Joseph: ASAE, 1997.

ARAÚJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. O. **Cultura do feijão comum no Brasil.** Piracicaba: POTAFOS, 1996.

AREND, L.; FORCELLINI, F. A.; WEISS, A. Desenvolvimento e testes de uma semeadora-adubadora modular para pequenas propriedades rurais. **Engenharia Agrícola**, 25: 2005.

BACK, N. **Metodologia de projeto de produtos industriais**. Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 1983.

BALASTREIRE, L. A. **Máquinas agrícolas**. 1º Ed. São Paulo: Manole editora, 1990.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos**. Campinas: Editora da UNICAMP, 2003.

BARROS, F. F. **A melhoria contínua no processo de plantio da cana-de-açúcar**. 79 p. Dissertação de mestrado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2008.

BARROS, J. W. D.. **Planejamento da qualidade do preparo mecanizado do solo para implantação de florestas de *Eucalyptus spp.* Utilizando o método desdobramento da função qualidade (QFD)**. 135 p. Dissertação de mestrado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2001.

BARZEGAR, A. R; ASOODAR, M. A.; KHADISH, A.; HASEMI, A. M.; HERBERT, S. J. Soil physical characteristics and chickpea yield responses to tillage treatment. **Soil and tillage research**, 71: 49-57. 2003.

BASSETO, I. F. F. **Estudo de confiabilidade de compressores alternativos semi-herméticos de sistemas de refrigeração**. 157 p. Dissertação de mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2007.

BIANCHINI, V. Políticas diferenciadas para agricultura familiar. **Conjuntura Econômica**, 5: 53-55. 2005.

BONATO, E. R.; BERTAGNOLLI, P. F.; LINHARES, A. G.; COSTAMILAN, L. M.; KIIHL, R. A. S.; ALMEIDA, L. A. BRS 153: cultivar de soja com boa adaptação ao sistema plantio direto no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 37: 2002.

BRAGAGNOLO, N., ALIAGA J.C. A erosão, o manejo e conservação do solo no Paraná. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 24, 1983, Goiânia. **Anais ...** Goiânia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 150-58, 1983.

CABIN, E. **History of whell horse**. <[http:// www.geocities.com/Yosemite/Cabin/8001](http://www.geocities.com/Yosemite/Cabin/8001) > , 12/11/2005.

CAMACHO-TAMAYO, J. H. ; LEIVA, F. R. ; RODRIGUEZ, G. A. . Comportamiento de cuatro dosificadores de fertilizantes granulares y correctivos polvosos. In: VII Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola, 7, 2006, Chillán. **Memorias...** Chillán: Universidad de Concepción, 2006.

CÂMARA, G. M. S. Soja: **Tecnologia da produção II**. Piracicaba: ESALQ/LPV, 2000.

CAMPOS, C. M. **Identificação e avaliação de variáveis críticas no processo de produção de cana-de-açúcar**. 89 p. Dissertação de mestrado – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2007.

CARVALHO, A. M.; AMABILE, R. F. **Cerrado: adubação verde**. Brasília: EMBRAPA, 2006.

CARTER, M. R. Researching structural complexity in agricultural soils. **Soil and tillage research**, 79: 1-6. 2004.

CASÃO Jr., R.; ARAUJO, A. G.; RALISCH, R. Desempenho da semeadura adubadora Magnum 2850 em plantio direto no basalto paranaense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n.3, 2000.

CASÃO JUNIOR, R.; YAMAOKA, R.S. Desenvolvimento de semeadora-adubadora direta a tração animal. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 19, 1990, Piracicaba, **Anais...**Piracicaba: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, p. 766-777, 1990.

CASÃO JUNIOR, R.; CAMPOS, C. F. Desempenho de diferentes sistemas de acabamento de semeadura em plantio direto. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 33, 2004, São Pedro. **Anais...**São Pedro: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, p. 2386-2389, 2004.

CASÃO JUNIOR, R. .;SIQUEIRA, R. Dinâmica de semeadoras-adubadoras diretas em Entre Rio do Oeste –PR. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, n. 77, p.18-28, Set/Out., 2003.

CASÃO JUNIOR, R. .;SIQUEIRA, R. **Resultados das avaliações do desempenho de semeadoras adubadoras diretas na costa oeste paranaense**. Londrina: IAPAR, 2003.

CASÃO JUNIOR, R. Plantio direto com tração animal: equipamentos para a pequena propriedade. **Revista Plantio Direto**, 98: 2007.

CASÃO JUNIOR, R. Conheça melhor sua plantadeira e como prepará-la para a safra de verão. **Revista a Granja**, 680: 2006.

CASÃO JUNIOR, R. Agricultural conservation support to prevent land degradation for food security in Lesotho. **Report**, Rome: FAO, 2005.

CASÃO JUNIOR, R.; ARAÚJO, A. G.; RALISCH, R. Desempenho da semeadora-adubadora Magnum 2850 em plantio direto no basalto paranaense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 35: 2000.

CASÃO JUNIOR, R.; SIQUEIRA, R.; MEHTA, Y. R.; PASSINI, J.P. **Sistema plantio direto com qualidade**. Londrina: IAPAR, 2006.

CASÃO JUNIOR, R.; ARAÚJO, A. G.; RIBEIRO, M. F. S. **Tecnologia apropriada em ferramentas, máquinas e implementos agrícolas pra pequenas propriedades rurais: Paraná.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 26, 1997, Campina Grande. **Anais...**Campina Grande: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, p. 180-225, 1997.

CASTRO FILHO, C.; LOURENÇO, A.; GUIMARÃES, M.F. & FONSECA, I.C.B.

Aggregate stability under different soil management systems in a Red Latosol in the state of Paraná, Brazil. **Soil Tillage Research**, London: 65: 2002.

CECÍLIO, R.A.; PRUSKI, F.F. Reforço contra a erosão. **Cultivar Máquinas**, Pelotas: 35, 2004.

CENTRO DE PESQUISAS AGRÍCOLAS DA UNICAMP (CEPAGRI-UNICAMP). **Normais climatológicas de Campinas-SP.** <http: :// [www. Cpa.unicamp.br/portal/](http://www.Cpa.unicamp.br/portal/) >, 11/11/2009

CHANG, C.S. . The agricultural engineering analysis on rice farming method in Taiwan. 50 p.. Technical Report No.6, National Taiwan University, 1963.

CHANG, C.S. COOPER, A.W. A study of the mechanics of tractor wheels. ASAE Transaction, Michigan, v. .12, n.13, 1069-1079, jul., 1969.

CHANG, C.S. Desenvolvimento de equipamento leve de tração animal. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 18, 1989, Recife. **Anais...** Recife: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, p. 167-177, 1989.

CHANG, C.S. Economic approach of design animal traction equipments. In: International Symposium on Agricultural Engineering, 1, 1989, Beigin. **Proceedings ...**Beigin: Chinese Society of Agricultural Engineering, p..266-270, 1989.

CHANG, C.S. Developing multi-function tillage for a normal animal draw-Bar. In: International Conference on Agricultural Engineering, 12, 1990, Berlin. **Proceedings...** Berlin: International Commission of Agricultural Engineering, p. 122-128, 1990.

CHANG, C.S. . Estudo da mecânica de tração animal. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 20, 1991, Londrina. **Anais...** Londrina: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, p. 234-241, 1991.

CHANG, C.S. Uma nova abordagem no semeadora de plantio direto por pequeno propriedade. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 23, 1994, Campinas. **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, p. 324-331, 1994.

CHANG, C.S. Desenvolvimento de um mecanismo dosador econômico de precisão para sementes e de distribuidor de fertilizante para mecanização em Pequenas propriedades. 35 p. **Relatório Final FAPESP (Projeto 95/4955-5)**, Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 1997.

CHANG, C.S.; WLADIMIR, A.C.; MAGALHÃES, P. S. G. . Posicionamento do centro de resistência de arados de aiveca visando seu desempenho. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 17, n. 4, p. 65-73, jun., 1998.

CHANG, C.S.; FERRAZ, A .C..O. A new seeder of rotating inner ring with high precision seeding rate. In: 1998 ASAE. International meeting, Paper No.981042, Orlando. **Proceedings...** Orlando: American Society of Agricultural Engineers, p. 856-865, 1998.

CHANG, C.S.; ALBIERO, D. Row preparation with rotating paraplow for conservation tillage. In: 2001 ASAE International meeting, **Paper No. 011058**, Sacramento. Abstracts... Sacramento: American Society of Agricultural Engineers, p. 256, 2001.

CHANG, C.S.; ALBIERO, D.; COELHO, R.C.M. A. Improve strip-till with rotary paraplow and weed cutter for conservation tillage. In: International Agricultural. Engineering

Conference, 15, 2002, Wuxi. **Proceedings ...** Wuxi: Chinese Society of Agricultural Engineering, p. 368-375, 2002.

CHANG, C.S. Desenvolvimento de “Paraplow” Rotativo com Cultivador Adaptado a otimização do cultivo conservacionista. 45 p. **Relatório Final FAPESP (Projeto 00/4734-9)**, Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2002.

CHANG, C.S.; MOURA, A. R. C.; ALBIERO, D.; MACIEL, A. J. S. Estudo de enxada rotativa vertical para cultivo conservacionista. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 33, 2004, São Pedro. **Anais...**São Pedro: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, p. 550-554, 2004.

CHANG, C. S. Patente UNICAMP(PI 8905034).**Implemento de múltiplo uso para preparo de solo (tração animal)**, 1989.

CHANG, C. S. Patente UNICAMP(PI 9802269-5). **Semeadora de precisão com anel rotativo interno vertical e o Distribuidor de adubo espiral cônica**, 1998.

CHANG, C. S. Patente UNICAMP (PI 0204930-9). **Dispositivo arador rotativo com cortador de ervas para cultivo conservacionista**, 2002.

CHANG, C. S. Patente na China (INV.021556652). **Vertical rotary tiller with weed-cutter for soil conservation**, 2003.

CHINA GOVERNMENT. **Agricultural statistics 2001**. Beigin: China official agricultural publication, 2001.

CLARKE, L. J. **Agricultural mechanization strategy formulation**. 1º Ed. Rome: FAO, 1997.

COCHRAN, W. G.; COX, G. M. **Experimental designs**. 1º Ed. New York: John Wiley and Sons, 1957.

COELHO, J. L. D. **Avaliação de elementos sulcadores para semeadoras adubadoras em sistemas conservacionistas de manejo de solo**. 96 p. Dissertação de mestrado – Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 1998.

COIMBRA, M. M. **Aplicação da análise de modo e efeitos de falha potencial (FMEA) para avaliação de significância de aspectos e impactos ambientais na indústria cerâmica**. 176 p. Dissertação de mestrado – Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2003.

CONDE, N. M. **Sistema integrado de gestão baseado na ISO 9001:2000, ISO 14001:1996 e na OHSAS 18001:1999 – Uma proposta para implantação**. 145p. Dissertação de mestrado – Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2003.

CORTEZ, J. W.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P.; CARVALHO FILHO, A. Parâmetros de avaliação no solo, na máquina e na planta sob plantio direto. **Revista Plantio Direto**, 98: 2007.

DICKEY, E. C.; et al. Yeld comparison between continuous no-till and tillage rotation. **Transactions of ASAE** , 26: 101-112, mach., 1988.

DMB. **Produtos agricultura familiar**. <[http:// www.dmb.com.br](http://www.dmb.com.br). >, 12/11/2005.

DERPSH, R. **Controle de erosão no Paraná, Brasil; sistema de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo**. 1º Ed. Curitiba: Eschborn, 1991.

DEPARTMENT OF DEFENSE OF UNITED STATES OF AMERICA (DoD). **Failure mode and effects analysis (FMEA): an advisor's guide**. Silver Spring: DoD, 2004.

ELSMAR. FMEA. <[http:// www.elsmar.com](http://www.elsmar.com)>, 30/03/2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS (EMBRAPA). **Agricultura familiar na dinâmica da pesquisa agropecuária**. 1º Ed. Brasília: Serviço de Produção de Informação, 2006

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS (EMBRAPA). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 1º Ed. Brasília: Serviço de Produção de Informação, 1999.

ERBACH, D. C.; Et al. Soil and Corn Response to Tillage with Paraplow. **Transaction of. ASAE**, Michigan, v. 35, n. 84, p. 1013-1019, March, 1992.

ERGONOMICS LABS. Failure mode and effect analysis (FMEA) Packet. <http://www.ergonomicslabs.com>, 13/10/2008.

FAGANELLO, A; KOCHHANN, R. A.; DENARDIN, J. E.; SCHAEGLER, E. J. **Comunicado Técnico 103: Tecnologia para agricultura familiar: semeadora autopropelida para plantio direto**. Circular técnica. Brasília: EMBRAPA - Ministério da Agricultura e Abastecimento, 2002.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de feijão**. Piracicaba: Livrocere, 2007.

FEAGRI/UNICAMP. **Rede de inovação tecnológica para a agricultura familiar**. < [http://: www.agr.unicamp.br/mda/index.html](http://www.agr.unicamp.br/mda/index.html) >, 13/11/2005.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA. <[http://: www.pad.com.br](http://www.pad.com.br)>, 13/06/2008.

FITARELLI. **Catálogo de produtos**. <http://www.fitarelli.com.br>, 13/08/2009.

FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION OF THE UNITED NATION (FAO). **Farming systems and poverty.** 1^o Ed. Rome: FAO, 2001.

FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION OF THE UNITED NATION (FAO). **Guidelines for the technical specifications and procurement of agricultural hand tools.** 1^o Ed. Rome: FAO, 2001.

FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION OF THE UNITED NATION (FAO). **Fertilizer and their use.** 1^o Ed. Rome: FAO, 2000.

FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION OF THE UNITED NATION (FAO). **Soil management and conservation for small farms.** 1^o Ed. Rome: FAO, 2000.

FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do milho.** Jaboticabal: Funep, 2007.

GEISSEN, V.; KIM, R. Y.; SCHONING, A.; SCHUTTE, S.; BRUMMER, G. W. Effects on strip wise tillage in combination with liming on chemical and physical properties of acidic spruce forest soils after clear cutting. **Forest ecology and management**, 180: 75-83. 2003.

GILL, W. R.; VANDEN BERG, G. E. **Soil dynamics in tillage and traction.** 1^o Ed. Washington: USDA, 1968.

GUILHOTO, J. J. M.; AZZONI, C. R.; SILVEIRA, F. G.; ICHIHARA, S. M.; DINIZ, B. P. C.; MOREIRA, G. R. C. O agronegócio familiar no Brasil e nos seus Estados: a contribuição a agricultura familiar para a riqueza nacional. <http://www.fipe.com.br>, 13/10/2008.

GUO, P. Et al. Tillage- Induced Changes in a Silt Loam Soil under Continuous Cropping. I: Soil Erosion and Infiltrability under simulated Rainfall. **Agricultural Engineering Journal**, 8: 161 – 174. 1999.

HARRISON, H. P. Soil Reacting Forces for Two, Tapered Bentled Plows. **Transactions. of ASAE**, Michigan, v. 33, n. 73, p. 965-978, June, 1990.

HELMAN, H.; ANDERY, P. R. P. **Análise de falhas: aplicação dos métodos de FMEA e FTA**). Belo Horizonte: Fundação Cristiano Ottoni, 1995.

HELMS, C. T.; DECKARD, E.; GOOS, R. J.; ENZ, J. W. Soybean seedling emergence influenced by days of soil water stress and soil temperature. **Agronomist Journal**, 88: 1996.

HILLEL, D. **Fundamentals of soil physics**. 1º Ed. San Diego: Academic Press, 1980.

HINES, W. W.; MONTGOMERY, D. C.; GOLDSMAN, D. M.; BORROR, C. M. **Probabilidade e estatística na engenharia**. 4º Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006

HUNTER, J. S. A one point plot equivalent to the Shewart chart with western electric rules. **Quality Progress**, 12: 1989.

ICEPA. **Custo de produção**. <[http:// www.icepa.com.br](http://www.icepa.com.br) >, 12/11/2005.

INCRA/FAO. Novo Retrato da Agricultura Familiar (2000), <<http://www.incra.gov.br/sade/>>, 15/08/2004

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS (IAC). **Boletim Técnico 200: Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo/Instituto Agrônômico de Campinas, 1997.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS (IAC). **Boletim Técnico 100: Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. Campinas: Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo/Instituto Agrônômico de Campinas, 1998.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ (IAPAR). **Informe de tecnologias desenvolvidas pelo IAPAR para a agricultura familiar.** IAPAR, 2003.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ (IAPAR). **Plantio direto na pequena propriedade sustentável.** Londrina: IAPAR, 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS (IBGE). **Censo Agropecuário 2006.** <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/agric> >, 08/12/2009

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS (IBGE). **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios 2003.** <
<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/trabalhoerendimento/pnad2003/>>,
15/08/2004

INSTITUTO DA QUALIADE AUTOMOTIVA (IQA). **Análise de modo e efeitos de falha potencial (FMEA).** São Paulo: IQA, 1997.

INSTITUTO DE QUALIDADE AUTOMOTIVA (IQA). **Manuais QS-9000.** São Paulo: IQA, 1997.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (INPARDES). **Modernização da agricultura familiar: avaliação do impacto socioeconômico do processamento de frutas e olerícolas no município de Pato Branco / Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social.** – Curitiba: IPARDES, 2003.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (INPARDES). **Identificação de gargalos tecnológicos da agricultura paranaense : subsídios e diretrizes para uma política pública: sumário executivo.** – Curitiba : IPARDES, 2005.

KATAOKA, T.; SHIBUSAWA, S. Soil blade dynamics in reverse rotational rotary tillage. **Journal of terramechanics**, 39: 95-113. 2002.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**. Piracicaba: Ceres, 1979.

KISSMANN, K. G. **Plantas infestantes e nocivas**. 2º Ed. São Paulo: BASF, 1997.

KLADIVKO, E. J. Tillage systems and soil ecology. **Soil and tillage research**, 61: 61-76. 2001.

KOKUZEISHA, I. **Agriculture in the world**. Sekai-Kokuzei-zukaai , Tokio, n. 58, p.215 – 233, August, 1995.

KOOLEN, A. J.; KUIPERS, H. **Agricultural soil mechanics**. 1º Ed. Berlin: Springer-Verlag, 1983.

KOTZ, S.; JOHNSON, N. L. **Process capability indices**. London: Chapman & Hall, 1993.

KNAPIK. **Produtos agricultura familiar**. <[http:// www.knapik.com.br](http://www.knapik.com.br) >, 12/08/2009.

KURACHI, S. A. H.; COSTA, J. A. S.; BERNARDI, J. A.; COELHO, J. L. D.; SILVEIRA, G. M. Avaliação tecnológica de semeadoras e ou adubadora: tratamento de dados de ensaios e regularidade de distribuição longitudinal de sementes. **Bragantia**, 48: 1989.

LAL R. Role of no-till farming in sustainable agriculture in the tropics. In: Encontro Latino-Americano Sobre plantio direto na pequena propriedade, 1, 1993, Ponta Grossa. **Anais...**Ponta Grossa: Instituto Agrônômico do Paraná, p. 29-62, 1993.

LAVRALE. **Produtos**. <[http:// www.lavrale.com.br](http://www.lavrale.com.br) >, 12/11/2005.

LICHT, M. A.; KAISI, M. A. Strip-tillage effect on seedbed soil temperature and other soil physical properties. **Soil and tillage research**, 80: 233-249. 2005.

LUCARELLI, J. R. F. **Alterações em características de um latossolo roxo submetido a diferentes sistemas de manejo**. 87 p. Dissertação de mestrado – Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 1997.

LUCAS, J. M.; SACCUCCI, M. S. Exponentially weighted moving average control schemes. **Technometrics**, 32: 1990.

LUCENO, A. A process capability index with reliable confidence intervals. **Communications Statistics**, 25: 1996.

MACIEL, A. J. S. **Enxada rotativa: análise dimensional, requerimento energético e efeitos no solo utilizando diferentes geometrias de lâminas**. 143 p. Tese de doutorado – Faculdade de Ciências Agronômicas do Campus de Botucatu da Universidade Estadual Paulista, Botucatu. 1993.

MACIEL, A. J. S. Tema Transversal, Linha de Pesquisa Modernização da Mecanização da Agricultura Familiar: Projeto Desenvolvimento e Construção de uma Máquina de Plantio Empregando o Sistema de Cultivo Conservacionista em Faixas com "Paraplow" Rotativo visando a Mecanização nas Pequenas Propriedades Rurais. **Convênio FINEP-FUNCAMP-FEAGRI, Número 3158, firmado em Novembro de 2004**. 2004.

MACIEL, A. J. S.; ALBIERO, D. Projeto e desenvolvimento de enxada rotativa vertical para melhoramento do sistema de plantio direto, na pequena propriedade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS VEGETAIS E BIODIESEL, 2. 2005, Varginha – SP. **Anais...**Varginha: UFLA, 2005.

MACIEL, A. J. S.; ALBIERO, D. Avaliação de ferramenta de preparo conservacionista de solo para plantio em pequena propriedade. *Brazilian Journal of Biosystems Engineering*, CT, v. 1, n. 1, p. 1-15, 2007.

MAFRENSE. **Catálogo de produtos**. <http://www.nsmafrense.hpg.com.br>, 13/08/2009.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Ceres, 2006.

MAHL, D. **Desempenho operacional de semeadoras em função de mecanismos de corte, velocidade e solos, no sistema plantio direto de milho**. 143 p. Tese de doutorado – Faculdade de Ciências Agronômicas do Campus de Botucatu da Universidade Estadual Paulista, Botucatu. 2006.

MAIA, J. C. S. **Determinação de esquemas de amostragem para avaliação de propriedades físicas do solo sob diferentes sistemas de preparo**. 172 p. Tese de doutorado, Faculdade de Engenharia Agrícola – Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 1999.

MAPA. **Agricultura Brasileira em Números, Anuário 2003** - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento <<http://www.agricultura.gov.br/>> 15/08/2004

MAPA. **Dados de produção de soja safra 2008/2009** - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento <<http://www.agricultura.gov.br/>> 08/12/2009

MATOS, R. B. **Indicadores de desempenho para beneficiamento de madeira serrada em empresas de pequeno porte: um estudo de caso**. . 117 p. Dissertação de mestrado – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2004.

MATTEI, L. **Programa nacional de fortalecimento da agricultura familiar (prona): concepção, abrangência e limites observados**. In: IV Encontro da Sociedade Brasileira de Sistemas de Produção, 4. 2001. **Anais...** Belém: SBSP, 2001. CD-ROM

MELLO, C. A.; MACIEL, A. J. S. Extensão de tecnologias adaptadas à realidade do pequeno agricultor: fabricação de multi-implementos de tração animal no Assentamento Rural Pirituba II – Itapeva (SP). In: **Educação do campo e formação profissional**. Brasília: MDA, 2009. p. 317-329.

MOLINA, M. C.; ESMERALDO, G. G. S. L.; NEUMANN, P. S.; BERGAMASCO, S. M. P. **Educação do campo e formação profissional**. Brasília: MDA, 2009. p. 423.

MIALHE, L. G. **Máquinas Agrícolas: Ensaios e certificação**. Piracicaba: FEALQ, 1996.

MILAN, M.; FERNANDES, R. A. T. Qualidade das operações de preparo de solo por controle estatístico de processo. **Scientia Agrícola**, 59: 2002.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO (MDA). **II Plano nacional de reforma agrária 2003-Ministério do Desenvolvimento Agrário** < <http://www.mda.gov.br/index.php>>, 15/08/2004

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO (MDA). **Rede de inovação tecnológica para a agricultura familiar**. < <http://www.mda.gov.br> >, 10/04/2004

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO (MDA). **Lei da Agricultura Familiar** < <http://www.mda.gov.br/index.php>>, 15/12/2006

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO (MDA). **Plano Safra 2005/2006 da Agricultura Familiar**. < <http://www.mda.gov.br/index.php>>, 15/01/2006

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO (MDA). **Cartilha sobre a Agricultura familiar, Censo Agropecuário 2006**. < <http://www.mda.gov.br/index.php>>, 15/03/2010

MODOLO, A. J. **Efeito da umidade do solo e carga aplicada pela roda compactadora no ambiente solo-semente em sistema de plantio direto na cultura da soja.** 97 p. Tese de doutorado – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2006.

MONTGOMERY, D. C. **Design and analysis of experiments.** 3º Ed. New York: John Wiley and Sons, 1991.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade.** 4º Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

MOREIRA, J. A. A.; STONE, L. F.; BIAVA, M. **Feijão: o produtor pergunta, a Embrapa responde.** Brasília: EMBRAPA, 2003.

MURRAY, J. R.; TULLBERG, J. N.; BASNET, B. B. **Planters and their components.** University of Queensland, 2006.

NIEMANN, G. **Elementos de máquinas, volume 1.** 8º Ed. São Paulo: Edgar Blucher, 2006.

NIEMANN, G. **Elementos de máquinas, volume 2.** 8º Ed. São Paulo: Edgar Blucher, 2006.

NIEMANN, G. **Elementos de máquinas, volume 3.** 8º Ed. São Paulo: Edgar Blucher, 2006.

OLIVEIRA, J. T. A.; JUNQUEIRA, K. M.; BERGAMASCO, S. M. P. P. Relatando e reletindo sobre as experiências da FEAGRI/UNICAMP em sua participação no “Residência Agrária I”. In: **Educação do campo e formação profissional.** Brasília: MDA, 2009. p. 228-242.

OLIVEIRA, M.; MACIEL, A. J. S. Mecanismo Dosador Tipo Rosca Cônica Para Adubadora De Precisão Visando A Agricultura Familiar. In: Congresso interno de iniciação científica, 13. 2005. **Caderno de Resumos...** Campinas: PRP/UNICAMP, 2005. CD-ROM.

OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. Geologia de Engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998.

PALADY, P. **FMEA: análise dos modos de falha e efeitos: prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram.** São Paulo: IMAM, 1997.

PASSINI, J. J.; CARVALHO, M. G. **Geração e comunicação de inovações tecnológicas para a agricultura familiar.** 162 p. Dissertação de mestrado – Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba. 1999.

PAULI, D. G.; MILAN, M.; SALVI, J. V. Qualidade total. **Cultivar Máquina**, 85: 2009.

PINHEIRO, E. F. M.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. Aggregate distribution and soil organic matter under different tillage systems for vegetable crops in a Red Latosol from Brazil. **Soil and tillage research**, 77: 79-84. 2004.

PELLIS, B. P.; MACIEL, A. J. S. Projeto e Montagem de uma Máquina de Plantio Direto Empregando o Sistema de Cultivo Conservacionista em Faixas com "Paraplow" Rotativo visando a Mecanização nas Pequenas Propriedades Rurais. In: Congresso interno de iniciação científica, 14. 2006. **Caderno de Resumos...** Campinas: PRP/UNICAMP, 2006. CD-ROM.

PORTELA, J. A.; SATTLER, A.; FAGANELLO, A.. Índice de emergência de plântulas de soja e milho em semeadura direta no sul do Brasil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.17, n.2, p.71-78, 1997.

PORTELA, J. A. **Semeadoras para plantio direto.** Viçosa: Aprenda fácil, 2001.

QUALITY ASSOCIATES INTERNATIONAL (QAI). **Failure mode and effect analysis.** <<http://www.quality-one.com/services/fmeaEdition4.php>>, 12/12/2008.

QUALITY ASSOCIATES INTERNATIONAL (QAI). Excel Sheet FMEA. <<http://http://www.quality-one.com/services/fmeaEdition4.php>>, 12/03/2009.

RAMOS, E. F. **Utilização do FMEA para gestão de riscos em projetos de desenvolvimento de software**. Florianópolis: Project Management Institute, 2004.

RICHARDSON, C. W.; KING, K. W. Erosion and nutrient losses from zero tillage on a clay soil. **Journal of Agricultural Engineering Resource**, 61: 81-86. 1995.

RINA. Analisi dei modi e degli effetti delle avarie. <http://www.rina.com.it>, 13/10/2008.

SCHAEFER, C. E. R.; SILVA, D. D.; PAIVA, K., W., N.; PRUSKI, F. F.; ALBUQUERQUE FILHO, J. R.; ALBUQUERQUE, M. A. Perdas de solo, nutrientes, matéria orgânica e efeitos microestruturais em argissolo vermelho amarelo sob chuva simulada. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 37: 2002.

SACHS, I. Brasil rural: redescoberta à invenção. **Revista de Estudos Avançados**, São Paulo, 43: 75-85, ago. 2001.

SALOKHE, V. M.; RAMALINGAM, N. Effect of rotation direction of a rotary tiller on draft and power requirements in a Bangkok clay soil. **Journal of terramechanics**, 39: 195-205. 2003.

SALTON, J. C.; HERNANI, L. C.; FONTES, C. Z. **Sistema plantio direto**. Brasília: EMBRAPA, 1998.

SANKAR, N. R.; PRABHU, B. S. modified Approach for prioritization of failures in a system failure mode and effects analysis. **International Journal of Quality & Reliability Management**, 18: 2001.

SATO, M.; SANTOS, J. E. **Agenda 21 em sinopse**. São Carlos: Editora da UFSCar, 1999.

SEGATELLI, C. R. **Produtividade da soja em semeadura direta com antecipação da adubação fosfatada e potássica na cultura de *Eleusine coracana* (L) Gaertn.** 72 p. Dissertação de mestrado – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2004.

SENADO FEDERAL BRASILEIRO. **Lei nº 11322 de 24 de julho de 2006.** <<http://www.senado.gov.br/index.php>>, 15/01/2009.

SILVA, G. **Métodos auxiliares para diagnóstico da necessidade de subsolagem de solos agrícolas.** 137 p. Dissertação de mestrado – Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2002.

SILVA, R. P.; TEIXEIRA, C. F. A.; CAMPOS, M. A. O. Efeito da profundidade de semeadura e da carga sobre a roda compactadora no desenvolvimento da soja. **Engenharia na Agricultura**, 12: 2004.

SILVA, A. G.; ARAÚJO, J. P. O dilema da assessoria em assentamentos rurais: ente o ideal concebido e o real praticado. **Revista Extensão Rural**, 30: 2008

SILVA, R. P. **Efeito de rodas compactadoras submetidas a cargas verticais em profundidades de semeadura nas características agronômicas do milho.** 119 p. Tese de doutorado – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. 2002.

SILVA, R. P.; CORÁ, J. E.; CARVALHO FILHO, A.; LOPES, A.; FURLANI, C. E. A. Efeito de rodas compactadoras submetidas a cargas verticais em profundidades de semeadura do milho. **Engenharia Agrícola**, 24: 2004.

SILVA, R. P.; CORÁ, J. E.; CARVALHO FILHO, A.; LOPES, A.; FURLANI, C. E. A. Ação de rodas compactadoras de semeadoras submetidas a cargas verticais na deformação do solo. **Ciência e Agrotecnologia**, 29: 2005.

SILVA, R. P.; CORÁ, J. E.; CARVALHO FILHO, A.; LOPES, A.; FURLANI, C. E. A.; NASCIMENTO, A.; CAMARA, F. T. Efeito de roda compactadora de semeadoras sob cargas verticais na deformação do solo em dois teores de água. **Engenharia Agrícola**, 26: 2006.

SILVA, F. M. **Influência do tipo de rodas compactadoras de semeadoras-adubadoras no condicionamento físico do solo e no desenvolvimento de plantas**. 145 p. Dissertação de mestrado – Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 1990.

SILVEIRA, G. M. **Os cuidados com o trator**. 1º Ed. Viçosa: Aprenda fácil Ltda., 2001.

SILVEIRA, G. M. **Máquinas para plantio e condução de culturas**. 1º Ed. Viçosa: Aprenda fácil Ltda., 2001.

SILVEIRA, G. M. **Preparo de solo: Técnicas e implementos**. 1º Ed. Viçosa: Aprenda fácil Ltda., 2001.

SNEDECOR, G. W.; COCHRAN, W. G. **Statistical methods**. Ames: Iowa State University Press, 1989.

SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA (SSSA). **Internet glossary of soil science terms**. < [http:// www.sois.org](http://www.sois.org) >, 16/11/2005.

SOIL TECHNOLOGY GROUP UNIVERSITY OF WAGENINGEN. **Paraplow**. < [http:// www.aenf.wau.nl/equip/index.html](http://www.aenf.wau.nl/equip/index.html) >, 15/11/2005.

SOGAARD, H.T. Yield reduction resulting from uneven fertilizer distribution. **Transaction of The ASAE**, 37: 1994.

SOUZA, A. B. M.. **Sistema de informações aplicada ao processo mecanizado de semeadura direta**. 86 p. Dissertação de mestrado – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2005.

SOUZA, I. S. F. Agricultura familiar na dinâmica da pesquisa agropecuária. Brasília: EMBRAPA, 2006.

STEPHEN, B. Fertilizer facts and fallacies. **ASAE Journal Resources**, 6: 1999.

SUGUISAWA, M. **Diagnóstico da condição tecnológica, sob a ótica da qualidade, das operações mecanizadas da cultura do trigo em sistema de plantio direto**. 124 p. Dissertação de mestrado – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2004.

TENG, S. G.; HO, S. M.; SHUMAR, D.; LIU, P. C. Implementing FMEA in a collaborative supply chain environment. **International Journal of Quality & Reliability Management**, 23: 2006.

TENG, S. G.; HO, S. M. Failure mode and effects analysis. **International Journal of Quality & Reliability Management**, 13: 1996.

TOLEDO, J.C.; AMARAL, D. C. **FMEA – Análise do tipo e efeito de falha**. São Carlos: GEPEQ/UFSCar, 2008.

TONINI, A. C. **A contribuição do seis sigma para a melhoria dos processos de software** 252 p. Dissertação de mestrado – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2006.

TUPPER, G.R.; HURST, J. R.; COOKE JR.,F.T. Reducing Surface Disturbance with no-till low-till Systems for Cotton In: 1998 ASAE. International meeting, Paper No.982140, Orlando. **Proceedings...** Orlando: American Society of Agricultural Engineers, p. 856-865, 1998

UNITED STATES ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY (EPA). **Environment notes.** < [http:// www.epa.gov/newsnotes](http://www.epa.gov/newsnotes) >, 15/11/2005.

UNITED STATES ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY (EPA). **Paraplowing int Kentucky reduces soil erosion, improves crop yields.** < [http:// www.epa.gov/](http://www.epa.gov/) >, 15/11/2005.

UPADHYAYA, S. K.; CHANCELLOR, W. J.; PERUMPRAL, J. V.; SCHAFER, R. L.; GILL, W. R.; VANDEN BERG, G. E. **Advances in soil dynamics.** 1º Ed. St. Joseph: ASAE text books, 1994.

UNITED STATES DRUG AND ALIMENTATION AGENCY (USDA). **Information and Resources.** < <http://www.aphis.usda.gov/brs/soybean.html> >, **15/08/2004**

VIEIRA, L. S. **Manual da ciência do solo: com ênfase aos solos tropicais.** Piracicaba: Ceres, 1988.

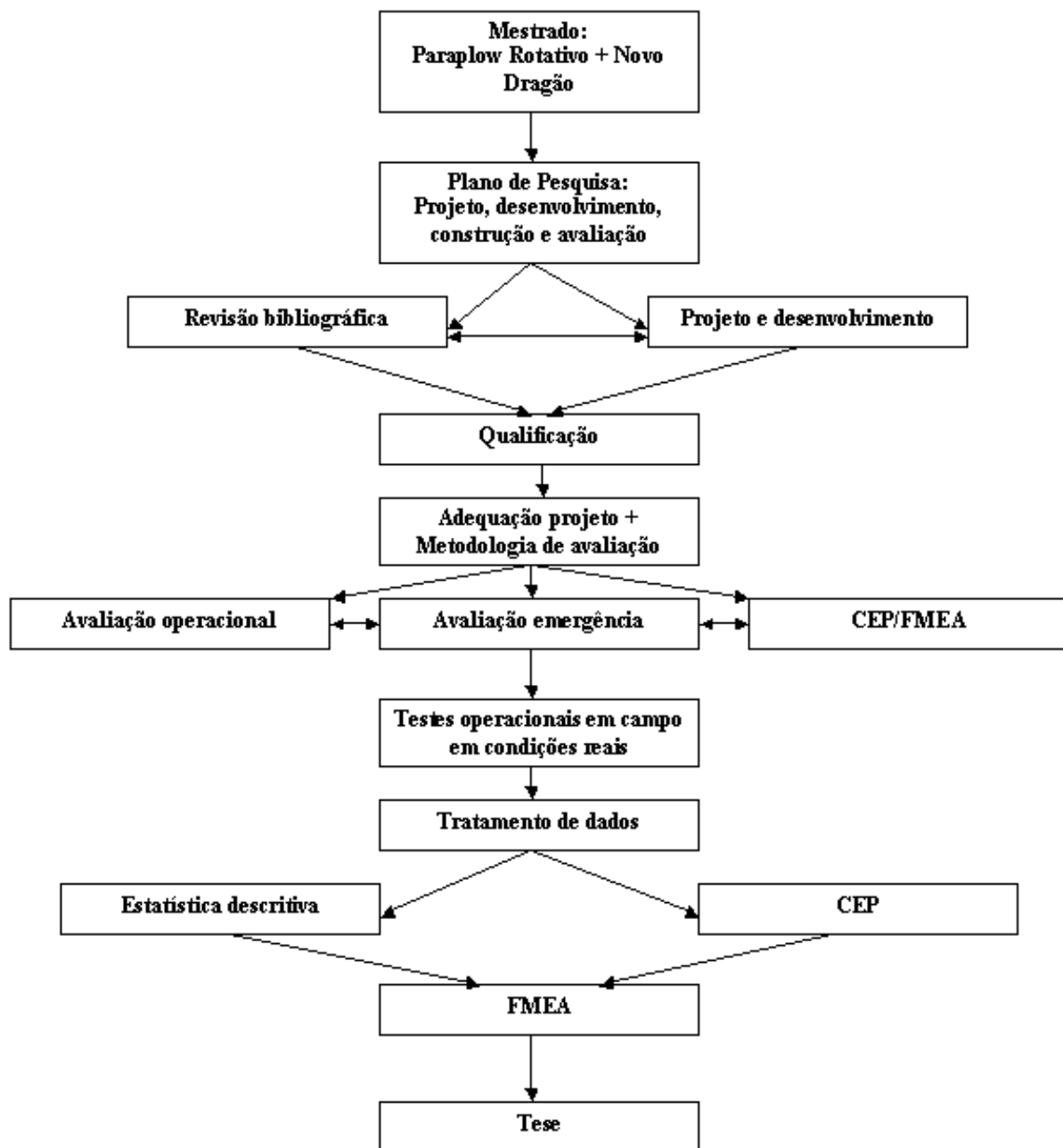
VESETH, R. **Tillage system comparisons.** PACIFIC NORTHWEST CONSERVATION TILLAGE SYSTEMS INFORMATION SOURCE. < [http:// www.pnwsteep.wsu.edu](http://www.pnwsteep.wsu.edu) >, 17/11/2005.

VOLPATO, C. E. S; BORGES, P. H. M.; SALVADOR, N.; TAVARES, G.; TEIXEIRA, V.H.; CARVALHO, W. P. A. **Mecanização racional.** 1º Ed. Lavras: UFLA, 2001.

ZARONI, M. M. H. **Tipologia de agricultores familiares: construção de uma escala para os estágios de modernização da agricultura.** 254 p. Tese de doutorado – Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2004.

8- ANEXOS

8.1 FLUXOGRAMA DO TRABALHO



8.2 DADOS GERAIS DA DISTRIBUIÇÃO DE FERTILIZANTES EM ENSAIO DE PISTA

Tabela 30. Dados relativos a deslizamento da roda motora/interface adubadora.

Teste	Revoluções		Deslizamento(%)	Revoluções dadas		Tara saquinho (g)	Peso saco + adubo(g)
	Roda motora	metragem		na Adubadora			
1	11,5	18,75	6,28	74,63		4	240
2	12	19,56	2,20	77,87		4,5	244
3	12	19,56	2,20	77,87		4	239
4	11,8	19,23	3,83	76,57		4,2	257
5	11,8	19,23	3,83	76,57		3,8	260
6	11,8	19,23	3,83	76,57		4,4	254
7	12,2	19,89	0,57	79,17		3,8	251
8	12	19,56	2,20	77,87		3,8	266
9	11,8	19,23	3,83	76,57		6,7	269
10	12	19,56	2,20	77,87		3,9	259
Média	5,945	19,69	3,09	38,58		4,31	253,9

Tabela 31. Dados da aplicação de adubo e velocidade de aplicação (tiros de 20 m).

Teste	Fertilizante		Tempo (s)	Velocidade(m/s)
	Aplicado (g)	Fertilizante/ Revolução (g)		
1	236	3,16	116	0,17
2	239,5	3,08	99	0,20
3	235	3,02	102	0,20
4	252,8	3,30	102	0,20
5	256,2	3,35	110	0,18
6	249,6	3,26	101	0,20
7	247,2	3,12	110	0,18
8	262,2	3,37	99	0,20
9	262,3	3,43	99	0,20
10	255,1	3,28	99	0,20
Média	249,59	3,24	104	0,19

Tabela 33. Espaçamentos entre sementes, teste 2, tiro de 17,6 metros.

Espaçamentos (cm)								
	7,5	7,5	6	5,5	6,5	5	7	7
	3	5,5	6,5	5,5	7	7,5	6	4,5
	9,5	6,5	7	10	8	7	6,5	6,5
	13	6,5	6,5	3	7	8	6,5	8
	7	8	6,5	4	5,5	6,5	7	6
	7	5,5	6,5	6	6,5	6	5,5	7
	6	6	4,5	7	5,5	9	6,5	6,5
	6	7,5	3,5	7	9	6	6,5	6,5
	6,5	6	4,5	6,5	12	7,5	7	7
	6,5	7,5	7,5	7,5	6,5	5,5	5,5	6,5
	6	6	6	6,5	7	3,6	14	7
	8	7,5	6	7	5	7	7	6,5
	6,5	6	6	6,5	8	7,5	9	7
	6,5	7,5	7,5	7	6	5,5	6	7
	7	6	8	6,5	8,5	12,5	5,5	5,5
	6,5	7,5	4	6,5	6,5	7,5	7	6,5
	7	5,5	9	7	4	6,5	5,5	7
	6,5	6,5	6,5	6,5	7	7	7,5	6
	10	6,5	7	6,5	8	6	7	5,5
	14,5	3	6,5	5	5	6	6,5	8
	8	10	6	9	7	8	7,5	5
	7,5	6,5	6,5	8,5	7,5	7,5	6	7,5
	5	5,5	7	5	6,5	14	6	7,5
	8,5	7	5	6,5	6,5	7,5	4,5	6,5
	4,5	8	8	7,5	7,5	5,5	8,5	6
	8,5	4,5	7,5	6,5	7,5	6,5	7	7,5
	6,5	8,5	6,5	6	7,5	7,5	7	7,5
	6,5	6,5	5,5	6,5	5,5	9,5	6	4,5
	6,5	7	6	6	6,5	11,5	7	6
	5,5	7	7	7,5	6	6	6	6,5
	8	7	7,5	3	12	7	5,5	7,5
	6,5	5,5	7,5	11	8	7,5	6,5	4,5
	6,5	6,5	6	4,5	7,5	7	7,5	7,5
	média geral							Dosagem
	6	6,5	7,5	5	6,5	10,5	7,5	6,5 (cm)
								(sementes/m)
Média	7,19	6,60	6,44	6,45	7,07	7,42	6,80	6,52
								6,81
								14,67

8.4 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA SEMEADORA

Tabela 34. Teor de água e densidade aparente do solo antes dos testes.

Ponto/Parcela	Densidade	
	Teor de água	aparente
	(g/g)	(g/cm3)
1/A	0,22	1,33
2/B	0,24	1,39
3/C	0,22	1,21
4/D	0,20	1,31
5/E	0,25	1,36
6/F	0,20	1,35
7/G	0,20	1,31
8/H	0,19	1,22
9/I	0,20	1,10
10/J	0,20	1,14
11/K	0,20	1,24
12/L	0,19	1,24
13/M	0,21	1,14
média	0,21	1,26

Tabela 35. Avaliação do índice de cone antes, depois com e sem roda compactadora.

	ICA	ICDSRC	ICDCRC	Selamento
Parcela	(kPa)	(kPa)	(kPa)	Superficial
A	719	13	65,4	Não
B	653	6,5	58,8	Não
C	849	6,5	39,2	Não
D	915	13	45,8	Não
E	523	6,5	39,2	Não
F	653	6,5	52,3	Não
G	849	13	58,8	Não
H	1242	6,5	52,3	Não
I	1111	13	39,2	Não
J	588	13	39,2	Não
K	653	6,5	58,8	Não
L	1176	13	52,3	Não
M	1569	13	58,8	Não
N	719	6,5	45,8	Não
O	719	6,5	71,9	Não
média	862,5	9,5	51,8	Não

8.5 DESEMPENHO OPERACIONAL

Tabela 36. Desempenho operacional da semeadora.

Linha	Distância	Tempo	Tempo	Revoluções	Revoluções	Distância	Distância
		Tiro	Manobra	R. Trator	R. Ndrag.	Percorrida	Percorrida
						R. Trator	R. Ndrag.
1	30	115	20	18,5	16,01	34,87	26,10
2	30	127	25	18	16,20	33,93	26,41
3	30	118	29	18,5	15,92	34,87	25,95
4	30	122	19	19	16,29	35,81	26,56
5	30	116	19	18,5	16,05	34,87	26,16
6	30	122	25	19	16,31	35,81	26,59
7	30	116	29	18,5	16,20	34,87	26,41
8	30	117	31	18,5	16,01	34,87	26,10
9	30	114	20	18,5	16,20	34,87	26,41
10	30	121	19	20	16,01	37,70	26,10
Média	30	115	23,6	18,5	16,12	34,87	26,28

Tabela 37. Capacidade de campo da semeadora.

Linha	Patinagem Roda Trator (%)	Patinagem Roda Ndragão (%)	Velocidade tiro (desconsiderando manobras, e outras perdas de tempo) (km/h)	Capacidade de Campo Teórica (ha/h)	Capacidade de Campo Efetiva considerando eficiência de 88,5% (ha/h)
1	16,24	13,0	0,94	0,040	0,035
2	13,10	12,0	0,85	0,036	0,032
3	16,24	13,5	0,92	0,037	0,033
4	19,38	11,5	0,89	0,038	0,034
5	16,24	12,8	0,93	0,040	0,035
6	19,38	11,4	0,89	0,037	0,033
7	16,24	12,0	0,93	0,037	0,033
8	16,24	13,0	0,92	0,036	0,032
9	16,24	12,0	0,95	0,040	0,035
10	25,66	13,0	0,89	0,039	0,035
Média	17,50	12,41	0,91	0,038	0,034

8.6 ESPAÇAMENTO E PROFUNDIDADE DE SEMENTES EM CONDIÇÕES REAIS

Tabela 38. Espaçamentos entre sementes distribuídas pela NSMC.

Parcela	Espaçamento (mm)	Profundidade (mm)	Dosagem (sementes/metro)
A	0	80	
A	70	75	
A	85	60	
A	55	50	
A	100	50	
A	75	50	
A	110	60	
A	205	60	
A	200	60	
A	100	50	
média	100	59,5	10
Parcela	Espaçamento (mm)	Profundidade (mm)	Dosagem (sementes/metro)
B	0	60	
B	100	45	
B	100	50	
B	120	45	
B	90	50	
B	90	50	
B	110	45	
B	70	50	
B	200	50	
B	120	45	
média	100	49	10
Parcela	Espaçamento (mm)	Profundidade (mm)	Dosagem

(sementes/metro)			
C	0	50	
C	110	45	
C	70	25	
C	130	65	
C	100	65	
C	160	45	
C	140	35	
C	150	45	
C	70	35	
C	70	35	
média	100	44,5	10
Parcela	Espaçamento (mm)	Profundidade (mm)	Dosagem (sementes/metro)
D	0	65	
D	110	50	
D	130	65	
D	100	40	
D	100	50	
D	130	50	
D	100	65	
D	110	55	
D	100	40	
D	120	45	
média	100	52,5	10
Parcela	Espaçamento (mm)	Profundidade (mm)	Dosagem (sementes/metro)
E	0	50	
E	100	50	
E	90	45	
E	90	45	

E	130	40	
E	100	55	
E	120	70	
E	100	25	
E	150	30	
E	120	30	
média	100	44	10
Parcela	Espaçamento (mm)	Profundidade (mm)	Dosagem (sementes/metro)
F	0	60	
F	90	60	
F	70	60	
F	110	60	
F	70	60	
F	100	60	
F	90	50	
F	60	50	
F	70	50	
F	140	50	
F	200	50	
média	90,90	55,45	11

8.7 PERFIL DO SULCO PREPARADO PELO “PARAPLOW” ROTATIVO

Tabela 39. Características geométricas do sulco de plantio preparado pelo Paraplow.

Parcela	Largura Superior (mm)	Largura Inferior (mm)	Largura Fissuras (mm)	Profundidade Sulco (mm)	Espelamento das paredes do Sulco
A	90	210	460	120	Não
B	130	210	300	110	Não
C	120	200	400	110	Não
D	110	190	360	120	Não
E	130	200	420	110	Não
F	120	210	390	100	Não
G	110	200	580	130	Não
H	120	190	450	110	Não
I	130	210	450	110	Não
J	110	190	390	110	Não
K	110	190	430	110	Não
L	90	235	490	110	Não
M	120	210	390	100	Não
N	130	235	490	110	Não
média	115,71	205,71	428,57	111,42	Não

8.8 PARÂMETROS DE QUALIDADE DE SEMEDURA

Tabela 40. Cobertura de palha sobre a área (inicial=5120 kg/ha), 20 linhas aleatórias na área de emergência.

Porcentagem de palha antes da operação (%)		Porcentagem de palha depois da operação (%)	Índice de Palha na Superfície (%)
87		40	45,9
86		49	56,9
67		46	68,6
85		55	64,7
83		43	51,8
80		46	57,5
81		52	64,1
88		57	64,7
89		49	55,1
84		54	64,2
83		69	83,1
85		61	71,7
91		60	65,9
84		64	76,1
88		55	62,5
87		54	62,1
79		58	73,4
72		51	70,8
86		70	81,3
86		51	59,3
Média	83,55	54,2	64,8

8.9 DIÂMETRO MÉDIO PONDERADO

Tabela 41. Diâmetro médio ponderado dos sulcos de plantio.

Linha/Ponto	DMP (mm)
A	2
B	1,96
C	2,5
D	2
E	2,5
F	2,2
G	2,3
H	2,2
I	2,45
J	2,15
K	2,01
L	2,42
M	2,21
N	2,17
O	2,19
Média	2,21

8.10 AVALIAÇÃO DA EMERGÊNCIA DE PLÂNTULAS

Tabela 42. Emergência de sementes, data da semeadura: 18 de maio de 2008.

Linha 1				
Data	Dia Após o Plantio	Sementes Emergidas	Porcentagem de Emergência	Emergência Teórica
18/mai	0	0	0,0	80
19/mai	1	0	0,0	80
20/mai	2	0	0,0	80
21/mai	3	0	0,0	80
22/mai	4	0	0,0	80
23/mai	5	2	0,7	80
24/mai	6	9	3,0	80
25/mai	7	74	24,7	80
26/mai	8	166	55,3	80
27/mai	9	201	67,0	80
28/mai	10	224	74,7	80
29/mai	11	244	81,3	80
30/mai	12	251	83,7	80
31/mai	13	252	84,0	80
1/jun	14	253	84,3	80
2/jun	15	253	84,3	80
3/jun	16	253	84,3	80
4/jun	17	253	84,3	80
Linha 2				
Data	Dia Após o Plantio	Sementes Emergidas	Porcentagem de Emergência	Emergência Teórica
18/mai	0	0	0,0	80
19/mai	1	0	0,0	80
20/mai	2	0	0,0	80
21/mai	3	0	0,0	80
22/mai	4	0	0,0	80
23/mai	5	0	0,0	80
24/mai	6	18	6,0	80
25/mai	7	104	34,7	80
26/mai	8	147	49,0	80
27/mai	9	171	57,0	80

28/mai	10	195	65,0	80
29/mai	11	216	72,0	80
30/mai	12	220	73,3	80
31/mai	13	222	74,0	80
1/jun	14	223	74,3	80
2/jun	15	223	74,3	80
3/jun	16	223	74,3	80
4/jun	17	223	74,3	80

Linha 3

Data	Dia Após o Plantio	Sementes Emergidas	Porcentagem de Emergência	Emergência Teórica
18/mai	0	0	0,0	80
19/mai	1	0	0,0	80
20/mai	2	0	0,0	80
21/mai	3	0	0,0	80
22/mai	4	0	0,0	80
23/mai	5	0	0,0	80
24/mai	6	20	6,7	80
25/mai	7	97	32,3	80
26/mai	8	161	53,7	80
27/mai	9	170	56,7	80
28/mai	10	182	60,7	80
29/mai	11	196	65,3	80
30/mai	12	199	66,3	80
31/mai	13	200	66,7	80
1/jun	14	200	66,7	80
2/jun	15	200	66,7	80
3/jun	16	200	66,7	80
4/jun	17	200	66,7	80

Linha 4

Data	Dia Após o Plantio	Sementes Emergidas	Porcentagem de Emergência	Emergência Teórica
18/mai	0	0	0,0	80
19/mai	1	0	0,0	80
20/mai	2	0	0,0	80
21/mai	3	0	0,0	80
22/mai	4	0	0,0	80

23/mai	5	0	0,0	80
24/mai	6	25	8,3	80
25/mai	7	73	24,3	80
26/mai	8	168	56,0	80
27/mai	9	181	60,3	80
28/mai	10	203	67,7	80
29/mai	11	222	74,0	80
30/mai	12	229	76,3	80
31/mai	13	230	76,7	80
1/jun	14	232	77,3	80
2/jun	15	232	77,3	80
3/jun	16	232	77,3	80
4/jun	17	232	77,3	80

Linha 5

Data	Dia Após o Plantio	Sementes Emergidas	Porcentagem de Emergência	Emergência Teórica
18/mai	0	0	0,0	80
19/mai	1	0	0,0	80
20/mai	2	0	0,0	80
21/mai	3	0	0,0	80
22/mai	4	0	0,0	80
23/mai	5	1	0,3	80
24/mai	6	11	3,7	80
25/mai	7	81	27,0	80
26/mai	8	125	41,7	80
27/mai	9	155	51,7	80
28/mai	10	177	59,0	80
29/mai	11	203	67,7	80
30/mai	12	206	68,7	80
31/mai	13	207	69,0	80
1/jun	14	207	69,0	80
2/jun	15	207	69,0	80
3/jun	16	207	69,0	80
4/jun	17	207	69,0	80

Linha 6

Data	Dia Após o Plantio	Sementes Emergidas	Porcentagem de Emergência	Emergência Teórica
------	--------------------	--------------------	---------------------------	--------------------

18/mai	0	0	0,0	80
19/mai	1	0	0,0	80
20/mai	2	0	0,0	80
21/mai	3	0	0,0	80
22/mai	4	0	0,0	80
23/mai	5	1	0,3	80
24/mai	6	31	10,3	80
25/mai	7	104	34,7	80
26/mai	8	140	46,7	80
27/mai	9	160	53,3	80
28/mai	10	197	65,7	80
29/mai	11	221	73,7	80
30/mai	12	224	74,7	80
31/mai	13	224	74,7	80
1/jun	14	224	74,7	80
2/jun	15	224	74,7	80
3/jun	16	224	74,7	80
4/jun	17	224	74,7	80

Linha 7

Data	Dia Após o Plantio	Sementes Emergidas	Porcentagem de Emergência	Emergência Teórica
18/mai	0	0	0,0	80
19/mai	1	0	0,0	80
20/mai	2	0	0,0	80
21/mai	3	0	0,0	80
22/mai	4	0	0,0	80
23/mai	5	2	0,7	80
24/mai	6	21	7,0	80
25/mai	7	100	33,3	80
26/mai	8	166	55,3	80
27/mai	9	170	56,7	80
28/mai	10	197	65,7	80
29/mai	11	213	71,0	80
30/mai	12	219	73,0	80
31/mai	13	219	73,0	80
1/jun	14	219	73,0	80
2/jun	15	219	73,0	80

3/jun	16	219	73,0	80
4/jun	17	219	73,0	80
Linha 8				
Data	Dia Após o Plantio	Sementes Emergidas	Porcentagem de Emergência	Emergência Teórica
18/mai	0	0	0,0	80
19/mai	1	0	0,0	80
20/mai	2	0	0,0	80
21/mai	3	0	0,0	80
22/mai	4	0	0,0	80
23/mai	5	0	0,0	80
24/mai	6	17	5,7	80
25/mai	7	100	33,3	80
26/mai	8	145	48,3	80
27/mai	9	170	56,7	80
28/mai	10	211	70,3	80
29/mai	11	237	79,0	80
30/mai	12	240	80,0	80
31/mai	13	241	80,3	80
1/jun	14	241	80,3	80
2/jun	15	241	80,3	80
3/jun	16	241	80,3	80
4/jun	17	241	80,3	80
Linha 9				
Data	Dia Após o Plantio	Sementes Emergidas	Porcentagem de Emergência	Emergência Teórica
18/mai	0	0	0,0	80
19/mai	1	0	0,0	80
20/mai	2	0	0,0	80
21/mai	3	0	0,0	80
22/mai	4	0	0,0	80
23/mai	5	0	0,0	80
24/mai	6	7	2,3	80
25/mai	7	100	33,3	80
26/mai	8	167	55,7	80
27/mai	9	170	56,7	80
28/mai	10	197	65,7	80

29/mai	11	212	70,7	80
30/mai	12	215	71,7	80
31/mai	13	215	71,7	80
1/jun	14	215	71,7	80
2/jun	15	215	71,7	80
3/jun	16	215	71,7	80
4/jun	17	215	71,7	80

Linha 10

Data	Dia Após o Plantio	Sementes Emergidas	Porcentagem de Emergência	Emergência Teórica
18/mai	0	0	0,0	80
19/mai	1	0	0,0	80
20/mai	2	0	0,0	80
21/mai	3	0	0,0	80
22/mai	4	0	0,0	80
23/mai	5	4	1,3	80
24/mai	6	41	13,7	80
25/mai	7	112	37,3	80
26/mai	8	152	50,7	80
27/mai	9	210	70,0	80
28/mai	10	240	80,0	80
29/mai	11	258	86,0	80
30/mai	12	259	86,3	80
31/mai	13	259	86,3	80
1/jun	14	260	86,7	80
2/jun	15	260	86,7	80
3/jun	16	260	86,7	80
4/jun	17	260	86,7	80

8.11 TABELA RESUMIDA DA ANÁLISE DE EFEITOS E MODOS DE FALHA DA NSMC “NOVO DRAGÃO”.

Obs: A tabela completa encontra-se em forma digital no CD-ROM que acompanha a versão impressa desta tese.

Tabela 43. Análise de efeitos e modos de falha da NSMC.

Failure Mode and Effects Analysis															
(FMEA de Processo)															
Objetivo do Processo: Semeadura de sementes grávidas				Responsabilidade do Processo: Daniel				FMEA Número: 1				Preparado por: Daniel			
Máquina: Novo Dragão				Data Chave: 18/10/2008				Data do FMEA (Orig.): 13-fev-03				15/5/2003			
Coordenação: Daniel/Maciél								17/6/2003							
Sub-Processo	Funções	Elementos Principais atuantes	Requisitos exigidos	Modo potencial de falha	Efeito da falha potencial	Severidade	Classe	Causa Potencial	Ocorrência	Controle atual do processo		Datação	R.P.N.	Ações recomendadas	observações
										Controle preventivo o atual	Controle corretivo atual				
Operação Ndrag	Acoplamento das marchas motocultor	Operador + motocultor	fácil acoplamento e ergonomicamente aceitável	marcha entrava errado, muito duro, difícil seleção	machuca a mão, tempo ocioso, atrapalha a operação, tira a atenção	8	Carac.Sign	mecanismo defeituoso, mal projetado, projetado para outros fins	10	não	trocar o câmbio, desenvolver outro mecanismo	2	160	Novo projeto das alavancas, adaptar o Ndrag em outro motocultor	PP
	Controle do sistema hidráulico da roda elevadora		controle sensível e rápido	sem ponto de trabalho de regulagem, fácil erro de operação, local da alavanca impróprio	desregulagem de toda a operação,	5	Carac.Sign	local da alavanca	6	não	dispositivo de segurança, trava, mudar alavanca	5	150	mudar alavanca, trava de segurança	PP
	Acesso aos comandos do motocultor e semadora		acesso facilitados e ergonomicamente aceitáveis	alavancas confusas, e duras,	dificulta a operação	9	Carac.Crit.	falta experiência do operador, e conhecimento de segurança	9	não, freio não funciona	uso do diferencial	3	243	arrumar o freio diferencial, treinamento do operador	BP
	Manutenção diária do motocultor e semeadora (óleo de motor/óleo diesel/filtro de ar/pressão pneus/graxa/óleo hidráulico)		manutenção prática, rápida e adequadas	não detecção dos pontos de lubrificação,	travar a máquina,	9	Carac.Crit.	não experiência,	3	check list	não	8	216	colocar um check list e instrumentação dos pontos de lubrificação	BP
	Regulagens iniciais da semeadora(sulcador sementes, engrenagens adubadora/semeadora, discos aterradores, discos estabilizadores, roda compactadora, regulagem assento operador, regulagem guidon motocultor.		regulagens prática, rápida e adequadas	baixa praticidade, perda de regulagem, dificuldade de regulagem, desmontar para transporte, não possui manual de operação, manutenção	perda de tempo, regulagens erradas, perda de semente, de adubo, desregulagem durante a operação, dificuldade de transporte	9	Carac.Crit.	erro nos projetos, adaptação do implemento, falta de manual	9	não	não	3	243	alterar projeto, alterar o trator	BP
	Abastecimento do reservatório de adubos		abastecimento rápido, prático e ergonomicamente aceitável	altura elevada, não tem tampa,	durante a chuva pode estragar o material, perda de material	2		volume de adubo, e projeto	2	não	não	9	36	Nenhuma ação requerida	PP

Sub-Processos	Funções	Elementos Principais atuantes	Requisitos exigidos	Modo potencial de falha	Efeito da falha potencial	Severidade	Classe	Causa Potencial	Ocorrência	Controle atual do		Detecção	R.P.N.	Ações recomendadas	observações
										Controle preventivo atual	Controle corretivo atual				
Operação do Novo Dragão	operação dos freios de mão	Operador + Motocultor	operação rápida e eficiente	não funciona	acidente	10	Carac. Crit.	defeito no projeto das alavancas, conduítes e freios	10	n	não	3	900	reprojetar o freio	TP
Compactação do solo sobre as sementes	compactação realizada de forma adequada	Roda Compactadora	compactação adequada	compactação insuficiente ou excessiva	não germinação e diminuição de produtividade	8	Carac. Sign.	regulagem inadequada e projeto inadequado	9	n	regulagem	9	648	modificação do projeto, simplificação das regulagens	AP
Distribuição de Fertilizantes	eliminação de blocos de adubo	Distribuidor de rosca helicoidal cônica + distribuidor de mola convencional	inexistência de blocos	formação de blocos e possível dano ao mecanismo, desuniformidade, dano ao sistema	quebra do mecanismo, não adubação, e quebra do mancal	8	Carac. Sign.	adubo inadequado e umidade alta,	8	adubo de qualidade, armazenamento e controle de umidade	peneira no adubo	10	640	peneira na parte superficial do reservatório, mudança da geometria do mecanismo	AP
Operação do Novo Dragão	manutenção de velocidade operacional adequada	Operador + Motocultor	velocidade constante	perda de velocidade, perda de produção e embuchamento, forçar a máquina	perda de produção	7	Carac. Sign.	patinagem, falta de lastro, escalonamento de marchas	10	n	lastro	3	630	lastro, troca de motocultor	AP
Deposição das sementes no sulco	regulagem de profundidade de sulco de semeadura	Sulcador Tipo Chisel	regulagens prática, rápida e adequadas	profundidade incorreta	diminuição da produtividade e emergência	8	Carac. Sign.	regulagens difíceis	8	n	regulagem	8	512	desenvolver novo sistema de regulagem através de deslizamento do sulcador e travamento através de parafuso	MP
Transmissão de potência rotativa da TDP para o Paraplow	manutenção redutor	Cardan + Redutor	manutenção prática, rápida e adequadas	desgaste e quebra das engrenagens	para a máquina, travar motor	8	Carac. Sign.	falta de manutenção, pingando,	7	n	trocar retentor	3	504	proteger o retentor, retentor de boa qualidade, retentor duplo, bloqueio do sistema se faltar óleo	MP
Transmissão de potência rotativa da TDP para o Paraplow	manutenção cardan	Cardan + Redutor	manutenção prática, rápida e adequadas	difícil acesso, difícil manutenção	quebra do cardan	8	Carac. Sign.	excesso de proteção	10	n	n	6	480	criar bancada, janelas de inspeção, check list, manutenção preventiva	MP
Geração de potência rotativa pela roda motora da semeadora/adubadora	evitar patinagem	Roda Motora	inexistência de patinagem	patinagem	espaçamentos, distribuição e alimentação de sementes e adubos realizados incorretamente	8	Carac. Sign.	falta de contato com o solo	10	n	regulagem	6	480	reprojeto e mecanismo de regulagem melhor, geometria da roda melhor, mecanismo flexível, roda maior,	MP
Controle de direção da semeadora	regulagem de profundidade	Discos estabilizadores	regulagens prática, rápida e adequadas	não praticidade	embuchamento, machucar o operador, dificuldade de	9	Carac. Crit.	erro de projeto	10	n	epi	5	450	mudar o projeto, colocar a regulagem mais acessível, e uso de epi, treinamento do	MP