

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

**VARIABILIDADE ESPACIAL E DIAGNÓSTICO DA
QUALIDADE DO PROCESSO EM SEMEADURA DE
AMENDOIM**

Anderson de Toledo

Engenheiro Agrícola

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

2008

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

**VARIABILIDADE ESPACIAL E DIAGNÓSTICO DA
QUALIDADE DO PROCESSO EM SEMEADURA DE
AMENDOIM**

Anderson de Toledo

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Angeli Furlani

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

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL
Fevereiro de 2008

Toledo, Anderson de
T649v Variabilidade espacial e diagnóstico da qualidade do processo em
semeadura de amendoim / Anderson de Toledo. -- Jaboticabal, 2008
xvii, 96 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2008

Orientador: Carlos Eduardo Angeli Furlani

Banca examinadora: Alberto Carvalho Filho, Rouverson Pereira
da Silva

Bibliografia

1. Controle estatístico. 2. Desempenho operacional.
3. Geoestatística. 4. Máquinas agrícolas. I. Título. II. Jaboticabal-
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.331:658.5

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

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

ANDERSON DE TOLEDO – filho de Parailio de Toledo e Marli Therezinha Vieira de Toledo, nasceu em Cascavel, Paraná, aos 26 dias do mês de setembro de 1983. Morou durante a infância e adolescência na cidade em que nasceu, no oeste paranaense. cursou o Ensino Fundamental nos Colégios Ideal e Estadual Washington Luiz. Em dezembro de 2000 concluiu o Ensino Médio no Colégio Estadual Wilson Joffre. Em março de 2001 iniciou o curso de Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Campus de Cascavel, concluindo-o em dezembro de 2005, formando a XXIII Turma de Engenharia Agrícola e recebendo o grau de Engenheiro Agrícola em 16 de fevereiro de 2006. Durante a graduação participou de programas de Iniciação Científica, desenvolvendo trabalhos e participando de congressos e projetos na área de Máquinas e Mecanização Agrícola. Em agosto de 2006 iniciou o curso de Mestrado em Agronomia (Ciência do Solo) pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Campus de Jaboticabal, concentrando os estudos e pesquisas na área de Mecanização Agrícola no Departamento de Engenharia Rural. Em fevereiro de 2008, submeteu-se à banca examinadora para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

“Não se preocupem com o amanhã, pois o amanhã trará as suas próprias preocupações. Basta a cada dia o seu próprio mal”. (Mt, 6:34)

Jesus Cristo

Às famílias *Toledo, Vieira, De Maman, Grotta e Cruz*

Dedico

Michelle Barbeiro da Cruz

Homenageio

Aos amigos

Rubens Andre Tabile, Francelino Augusto Rodrigues Júnior,

Jyann Mariann Antonelli, Danilo Cesar Checchio Grotta

e Douglas De Maman (in memoriam)

Ofereço

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, sempre.

À Unioeste, Unesp e professores, pelas oportunidades concedidas.

Aos professores Carlos Eduardo Angeli Furlani, Rouverson Pereira da Silva e Afonso Lopes, pelo conhecimento e engrandecimento científico e pessoal que me foi proporcionado. Ao professor Alberto Carvalho Filho, pela aceitação ao convite para participar da banca examinadora.

Gostaria de citar e agradecer todos aqueles que ajudaram, contribuíram, ensinaram, colaboraram, não somente quanto a este trabalho, mas para a formação do meu caráter.

Incontáveis nomes.

Familiares, professores, colegas, companheiros e principalmente, amigos.

Quero demonstrar, portanto, de outra forma meu sincero e singelo agradecimento àqueles que sabem que seus nomes estão e permanecerão implicitamente, aqui e em minha memória.

*A sabedoria é o maior bem que um homem pode possuir,
e dele nunca será tirada.*

Assim agradeço, e garanto que o esforço não será em vão.

Muito obrigado e que Deus continue os abençoando.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	xvi
SUMMARY	xvii
I. INTRODUÇÃO	1
II. REVISÃO DE LITERATURA	3
1. Cultura do amendoim.....	3
2. Biodiesel	4
3. Desempenho operacional	6
4. Compactação do solo	8
5. Análise estatística espacial	9
6. Controle de qualidade	11
6.1. Qualidade em operações agrícolas	13
6.2. Indicadores de qualidade.....	16
6.3. Controle estatístico de processo.....	18
6.4. Análise de capacidade do processo.....	20
III. MATERIAL E MÉTODOS.....	22
1. Área experimental.....	22
1.1. Localização	22
1.2. Histórico	23
1.3. Solo e clima	23
1.4. Preparo do solo.....	24
1.5. Cultura	24
2. Equipamentos	25
2.1. Preparo do solo.....	25
2.2. Trator	25

2.3. Biodiesel	26
2.4. Semeadora-adubadora	27
3. Desempenho operacional	28
3.1. Sistema de aquisição de dados	28
3.2. Consumo de combustível.....	28
3.2.1. Consumo volumétrico.....	29
3.2.2. Consumo ponderal	30
3.2.3. Consumo específico	30
3.3. Consumo de energia.....	31
3.4. Velocidade de deslocamento	31
3.5. Patinagem.....	32
3.6. Força na barra de tração.....	32
3.7. Potência na barra de tração.....	32
4. Propriedades do solo	33
4.1. Teor de água do solo	33
4.2. Resistência mecânica do solo à penetração.....	33
5. Análise estatística descritiva	34
6. Análise estatística espacial.....	34
7. Indicadores de qualidade.....	37
7.1. Distribuição longitudinal	37
7.2. Espaçamento entre fileiras.....	38
7.3. Número de dias para emergência.....	39
8. Controle estatístico de processo.....	39
8.1. Limites de controle	41
8.2. Limites especificados.....	42
9. Análise de capacidade do processo.....	43
9.1. Índices de capacidade.....	44
IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
1. Desempenho operacional e RMSP.....	48

1.1. Análise estatística descritiva	48
1.2. Análise estatística espacial	51
2. Indicadores de qualidade	59
2.1. Análise estatística descritiva	59
2.2. Controle estatístico de processo	63
2.3. Análise de capacidade do processo	73
V. CONCLUSÕES	82
VI. IMPLICAÇÕES	83
VII. REFERÊNCIAS	83
APÊNDICE	94
APÊNDICE A. Especificações técnicas dos principais equipamentos	95

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIações

ABNT.....	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADE.....	avaliador da dependência espacial
ASAE.....	American Society of Agricultural Engineers
Aw	clima tropical com verão chuvoso (Köppen-Geiger)
BM.....	linha de tratores Brasil Médio (Valtra)
Bn.....	biodiesel na proporção n
°C	grau Celsius
C.....	variância estrutural
C ₀	efeito pepita
C ₀ +C.....	patamar
cal g ⁻¹	caloria por grama
CCe.....	capacidade de campo efetiva
Ce.....	consumo de energia
CEP.....	controle estatístico de processo
C _{ESP}	consumo específico de combustível
cm	centímetro
cm ³	centímetro cúbico
C _{POND}	consumo horário ponderal de combustível
COP	Controle Oscilante de Profundidade
COPLANA	Cooperativa dos Plantadores de Cana da Zona de Guariba
cv.....	cavalo-vapor
C _{VOL}	consumo horário volumétrico de combustível
DL.....	distribuição longitudinal de plântulas
dm ³ h ⁻¹	decímetro cúbico por hora
E.....	espaçamento entre fileiras de semeadura
EMBRAPA.....	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FT.....	força requerida na barra de tração
g	grama

g dm ⁻³	grama por decímetro cúbico
g kWh ⁻¹	grama por quilowatt hora
GPS.....	Global Positioning System (Sistema de Posicionamento Global)
GS+	programa computacional GS+ 7.0, Gamma Design Software, LLC.
ha h ⁻¹	hectare por hora
Hz.....	hertz
kg	quilograma
kg h ⁻¹	quilograma por hora
kg ha ⁻¹	quilograma por hectare
kg kg ⁻¹	quilograma por quilograma (adimensional, índice)
kN.....	quilonewton
kPa	quilopascal
kW	quilowatt
kWh ha ⁻¹	quilowatt hora por hectare
L h ⁻¹	litro por hora
L ha ⁻¹	litro por hectare
LADETEL	Laboratório de Desenvolvimento de Tecnologias Limpas
LAMMA	Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola
LIC.....	limite inferior de controle
LIE.....	limite inferior especificado
LSC	limite superior de controle
LSE	limite superior especificado
m	metro
MINITAB.....	programa computacional MINITAB 14.1, Minitab Inc.
mm	milímetro
m s ⁻¹	metro por segundo
MPa.....	megapascal
NDE.....	número de dias para emergência de plântulas
N m.....	newton metro
P	potência requerida na barra de tração

pat	patinagem
RMSP	resistência mecânica do solo à penetração
rpm	rotações por minuto
R\$	Real
RS232	Recommended Standard 232 (padrão de comunicação serial)
s	segundo
sem m ⁻¹	sementes por metro
SQR	soma de quadrados residual
Surfer	programa computacional Surfer 8.0, Golden Software, Inc.
t ha ⁻¹	tonelada por hectare
TDA	tração dianteira auxiliar
TDP	tomada de potência
UNESP	Universidade Estadual Paulista
USP	Universidade de São Paulo
UTM	Universal Transverse Mercator (sistema de coordenadas geográficas)
v	velocidade de deslocamento
%	porcentagem
γ	semivariância
Δt	intervalo de tempo
θ	temperatura do combustível
μ	massa específica
Σ	somatório
σ	desvio padrão

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
1. Limites especificados dos indicadores de qualidade.....	43
2. Estatística descritiva para as variáveis.....	48
3. Parâmetros dos semivariogramas ajustados às variáveis.....	52
4. Estatística descritiva para distribuição longitudinal (cm)	59
5. Classificação da distribuição longitudinal em espaçamentos normais, falhos e duplos (%)	60
6. Estatística descritiva para espaçamento entre fileiras (m)	61
7. Estatística descritiva para número de dias para emergência	62
1A. Características do trator VALTRA BM100.....	95
2A. Características da semeadora-adubadora COP SUPREMA 7/4.....	96

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Croqui da área experimental	22
2. Trator utilizado no experimento com detalhamento da instrumentação embarcada para medição das variáveis de desempenho.....	26
3. Conjunto trator-semeadora-adubadora	27
4. Esquema representativo das passagens do conjunto trator-semeadora.....	38
5. Estrutura das cartas de controle.....	40
6. Semivariograma para força de tração (FT).....	53
7. Semivariograma para velocidade de deslocamento (v).....	53
8. Semivariograma para potência na barra de tração (P).....	53
9. Semivariograma para capacidade de campo efetiva (CCe)	53
10. Semivariograma para consumo volumétrico (C_{VOL}).....	53
11. Semivariograma para consumo ponderal (C_{POND})	53
12. Semivariograma para consumo específico (C_{ESP}).....	54
13. Semivariograma para consumo de energia (C_e).....	54
14. Semivariograma para patinação (pat)	54
15. Semivariograma para resistência mecânica do solo à penetração (RMSP).....	54
16. Mapa de isolinhas para força de tração (kN).....	56
17. Mapa de isolinhas para velocidade de deslocamento ($m s^{-1}$).....	56
18. Mapa de isolinhas para potência na barra de tração (kW)	56
19. Mapa de isolinhas para capacidade de campo efetiva ($ha h^{-1}$).....	56
20. Mapa de isolinhas para consumo volumétrico ($L h^{-1}$)	56
21. Mapa de isolinhas para consumo ponderal ($kg h^{-1}$)	56
22. Mapa de isolinhas para consumo específico ($g kWh^{-1}$)	57
23. Mapa de isolinhas para consumo de energia ($kWh ha^{-1}$)	57
24. Mapa de isolinhas para patinação (%).....	57
25. Mapa de isolinhas para RMSP (MPa)	57

26. Carta de controle para distribuição longitudinal nas parcelas DL1	64
27. Carta de controle para distribuição longitudinal nas parcelas DL2.....	64
28. Carta de controle para distribuição longitudinal nas parcelas DL3.....	65
29. Carta de controle para distribuição longitudinal nas parcelas DL4.....	65
30. Carta de controle para distribuição longitudinal nas parcelas DL5.....	66
31. Carta de controle para distribuição longitudinal nas parcelas DL6.....	66
32. Carta de controle para distribuição longitudinal nas parcelas DL7	67
33. Carta de controle para distribuição longitudinal nas parcelas DL8.....	67
34. Carta de controle para espaçamento entre fileiras (E)	68
35. Carta de controle para espaçamento E1	70
36. Carta de controle para espaçamento E2.....	70
37. Carta de controle para espaçamento E3.....	70
38. Carta de controle para espaçamento E4.....	70
39. Carta de controle para espaçamento E5.....	70
40. Carta de controle para espaçamento E6.....	70
41. Carta de controle para espaçamento E7.....	71
42. Carta de controle para espaçamento E8.....	71
43. Carta de controle para espaçamento E9.....	71
44. Carta de controle para espaçamento E10.....	71
45. Carta de controle para espaçamento E11	71
46. Carta de controle para espaçamento E12.....	71
47. Carta de controle para espaçamento E13.....	72
48. Carta de controle para espaçamento E14.....	72
49. Carta de controle para espaçamento E15.....	72
50. Carta de controle para espaçamento E16.....	72
51. Carta de controle para espaçamento E17	72
52. Carta de controle para número de dias para emergência (NDE)	73
53. Análise de capacidade para espaçamento E4.....	74
54. Análise de capacidade para espaçamento E5.....	75
55. Análise de capacidade para espaçamento E9.....	75

56. Análise de capacidade para espaçamento E10.....	76
57. Análise de capacidade para espaçamento E12.....	76
58. Análise de capacidade para espaçamento E13.....	77
59. Análise de capacidade para espaçamento E14.....	78
60. Análise de capacidade para espaçamento E15.....	78
61. Análise de capacidade para espaçamento E16.....	79
62. Análise de capacidade para espaçamento E17.....	79
63. Análise de capacidade para número de dias para emergência (NDE)	80
1A. Principais dimensões da semeadora-adubadora	96

VARIABILIDADE ESPACIAL E DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE DO PROCESSO EM SEMEADURA DE AMENDOIM

RESUMO – A partir do final da década de 1990, as regiões produtoras de amendoim do Estado de São Paulo investiram na modernização tecnológica da produção agrícola, principalmente quanto à mecanização. Diante desta situação, o presente estudo objetivou avaliar o conjunto trator-semeadora-adubadora atuando com biodiesel de amendoim (B5), em operação de semeadura de amendoim em LATOSSOLO Vermelho eutroférico sob preparo convencional. Foram mensuradas as variáveis de desempenho operacional (força e potência na barra de tração, velocidade, capacidade de campo efetiva, consumo de combustível e de energia e patinagem), a resistência mecânica do solo à penetração e indicadores de qualidade da operação (distribuição longitudinal de plântulas, espaçamento entre fileiras de semeadura e número de dias para emergência). O experimento foi conduzido em área de campo na Universidade Estadual Paulista, Campus de Jaboticabal – SP, latitude $-21^{\circ}14'$ e longitude $-48^{\circ}16'$ com altitude média de 560 metros e clima Aw. A análise geoestatística foi empregada às variáveis de desempenho operacional e resistência mecânica do solo à penetração e para os indicadores de qualidade utilizaram-se o controle estatístico de processo e a análise de capacidade. A resistência mecânica do solo à penetração não apresentou correlação com as variáveis de desempenho operacional. A distribuição longitudinal de sementes e o espaçamento entre fileiras demonstraram processo instável e o número de dias para emergência apresentou estabilidade e resultados capazes de atingir os limites especificados. O controle estatístico de qualidade permitiu concluir que o processo de semeadura não atende as especificações previamente determinadas.

Palavras-Chave: controle estatístico, desempenho operacional, geoestatística, máquinas agrícolas, semeadora-adubadora

SPATIAL VARIABILITY AND QUALITY PROCESS EVALUATION IN PEANUT SOWING

SUMMARY – Since the end of 1990's, the peanut production regions of São Paulo State, invested in technological modernization of agricultural production, especially on the mechanization. Faced with this situation, this study aimed evaluate the tractor-seeder-fertilizer system, working with a peanut biodiesel (B5), in peanut sowing operation in OXISOL under conventional tillage. Was measured the operational performance variables (drawbar force, required power, forward speed, effective field capacity, fuel and energy consumption and slippage), the soil mechanical penetration resistance and operational quality indicators (plants longitudinal distribution, row spacing and number of days to emergency). The experiment was carried out on Universidade Estadual Paulista's area, Campus Jaboticabal – SP – Brazil, latitude -21°14' and longitude -48°16' with 560 meters of average altitude and Aw climate. The geostatistics analysis was used for the operational performance variables and soil mechanical penetration resistance and statistical process control and process capability analysis for the quality indicators. The soil mechanical penetration resistance not demonstrates correlation with the operational performance variables. The longitudinal distribution showed unstable process, like the row spacing and the number of days to emergence demonstrate stability and capable to reach results in specifications. The statistical quality control showed that the sowing operation not meet the previously determined specifications.

Keywords: statistical control, operational performance, geostatistic, agricultural machinery, seeder-fertilizer

I. INTRODUÇÃO

O setor agrícola abrange grande relevância no âmbito nacional e internacional quer seja na questão econômica, como no desenvolvimento de técnicas específicas. Assim, as propriedades agrícolas têm sido vistas como empresas agrícolas.

O principal objetivo das empresas é, sem dúvidas, obter lucros. Vender produtos é a forma direta de consegui-los, porém, se os custos de produção forem elevados em relação ao preço final, os lucros tornam-se insatisfatórios.

Para obter redução de custos, a otimização do processo produtivo utilizando o controle estatístico da qualidade para a redução da variabilidade, é opção que tem demonstrado bons resultados nas mais variadas áreas.

No contexto agrícola, a mecanização desempenha papel fundamental na produção e conseqüentemente, na composição dos custos. O correto planejamento e gerenciamento dos sistemas mecanizados contribui para a racionalização e redução dos custos e, por conseguinte, do produto final.

A aplicação de técnicas de controle da qualidade na agricultura, além de proporcionar diminuição dos custos na cadeia produtiva, gerando aumento da lucratividade, agrega ao processo de produção e diretamente ao produto, padrões de qualidade, amplamente exigidos pelos mercados consumidores.

Outro importante benefício gerado por esta implantação nas operações agrícolas é o aumento de produtividade devido ao maior controle e menor dispêndio financeiro e de energia nas operações mecanizadas.

A espacialização e criação de mapas para variáveis auxiliam na identificação de problemas localizados, contribuindo diretamente para a solução de forma ágil e precisa, permitindo o tratamento de áreas distintas de forma diferenciada.

Como pode ser constatado na literatura específica, diversos autores buscam caracterizar a variabilidade espacial e temporal de propriedades que afetam o rendimento das culturas, principalmente características físicas, químicas e biológicas. Inserido no processo produtivo, encontram-se também as operações mecanizadas, que

interferem diretamente no desenvolvimento das culturas, e pouco investigadas quanto à variabilidade espacial.

Da mesma maneira, técnicas de controle de qualidade aplicadas a operações agrícolas mecanizadas são recentes e diminutas. Em função dos resultados obtidos em diversas áreas, principalmente na indústria, o aprimoramento e aplicação destas técnicas na agricultura devem também produzir resultados promissores, visto que a maioria das operações agrícolas é realizada sem controle de qualidade com base em parâmetros especificados.

Considerando tais fatos, a proposta deste estudo é caracterizar a espacialização do desempenho operacional do conjunto trator-semeadora em operação de semeadura de amendoim e diagnosticar o processo utilizando indicadores de qualidade, partindo do princípio de que a redução da variabilidade existente no processo possa aumentar a qualidade do mesmo.

Os objetivos do trabalho foram avaliar a dependência e a variabilidade espacial dos parâmetros de desempenho operacional (força e potência na barra de tração, velocidade de deslocamento, capacidade de campo efetiva, consumo de combustível e de energia, patinagem) do conjunto trator-semeadora-adubadora, atuando com biodiesel de amendoim (B5) e da resistência mecânica do solo à penetração, em semeadura de amendoim em LATOSSOLO Vermelho eutroférico sob preparo convencional.

Objetivou-se também, realizar o diagnóstico da qualidade do processo, quanto à sua estabilidade utilizando o controle estatístico de processos (CEP) e quanto à capacidade de gerar resultados dentro de limites especificados, com a análise de capacidade do processo para os indicadores de qualidade (distribuição longitudinal de sementes, espaçamento entre fileiras de semeadura e número de dias após a semeadura para emergência de plântulas).

II. REVISÃO DE LITERATURA

1. Cultura do amendoim

Pertencente à família Fabaceae (Leguminosae), subfamília Papilonoideae, esta dicotiledônea, o *Arachis hypogaea* L. tem origem na América do Sul, na região compreendida entre as latitudes 10º e 30º S, entre o Amazonas e a Argentina, com provável centro de origem na região de Gran Chaco, incluindo os vales dos rios Paraná e Paraguai (CENTURION; CENTURION, 1998).

Ocupa o quarto lugar em produção entre os grãos oleaginosos, com 33 milhões de toneladas produzidas mundialmente na safra de 2005/06, dos quais 47% foram destinados à produção de óleo e farelo e o restante para produção alimentícia. O maior produtor mundial é a China, com uma fatia de 43% da produção, seguida pela Índia e Estados Unidos (BORSARI FILHO, 2006).

A estimativa do IBGE para a produção da safra de 2007 foi de redução da produção nacional em relação à de 2006, em aproximadamente 6%, representando uma queda de quase 14,5 mil toneladas (IBGE, 2007a). O Estado São Paulo, maior produtor nacional, em números da produção na safra de 2006: 205 mil toneladas produzidas, 152,5 milhões de reais, 78 mil hectares (IBGE, 2007b).

Quanto aos custos de produção, Borsari Filho (2006) apresenta dados da COPLANA – Cooperativa dos Plantadores de Cana da Zona de Guariba, São Paulo, onde os insumos de produção do amendoim ocupam o primeiro lugar, com R\$ 1 085,17 por hectare, equivalendo a 45% dos custos totais, e logo em seguida vem o custo com operações com valores de R\$ 667,82 por hectare, representando 27,5%.

Economicamente, o amendoim tem importância relacionada ao fato das sementes possuírem sabor agradável e serem ricas em óleo (entre 45 e 50%) e proteína (22 a 30%). Além disso, contém carboidratos, sais minerais e vitaminas, constituindo-se em alimento altamente energético (5,85 cal g⁻¹) (AGROBYTE, 2006).

Além da vasta utilização culinária, os grãos podem ser utilizados para extração do óleo comestível, responsável por 10% da produção mundial, conforme afirma Godoy et al. (2001), e também como matéria prima para produção de biodiesel por meio da transesterificação do óleo filtrado ou destilado (LOPES, A., 2006).

Outros destinos também podem ser atribuídos ao óleo, como utilização na indústria pesqueira para cozimento de sardinhas; refinado para fins medicinais e farmacêuticos; quando bruto como combustível de lâmpadas; neutro pode ser usado como lubrificante e é excelente matéria-prima para saboaria. Os subprodutos como o farelo obtido da torta após a extração do óleo, tem alto valor nutritivo para alimentação animal (CRIAR E PLANTAR, 2006).

Apesar destes fatos, as áreas cultivadas com amendoim estão diminuindo, segundo dados do IBGE. A redução de 2006 para 2007 será de 3% (IBGE, 2007a), pois os agricultores estão optando pela semeadura da soja, por possuir tecnologia agrícola e industrial mais desenvolvida. Assim, são disponibilizados ao consumidor, óleo de boa qualidade e farelo de soja, tão rico em proteína como o do amendoim, que não contém riscos para utilização na alimentação animal por não conter aflatoxina (AGROBYTE, 2006).

Já nas regiões produtoras de cana-de-açúcar, o amendoim assume especial importância, em função de estar entre as culturas de ciclo curto, na ocupação de aproximadamente 80% das áreas de reforma e por existirem nestas regiões, empresas com tecnologia de produção e processamento de alto nível (AGROBYTE, 2006).

2. Biodiesel

A adoção de fontes energéticas renováveis é crescente, devido à preocupação em agregar valores a produtos cultivados de forma orgânica ou mesmo utilizando práticas mecanizadas com o mínimo impacto ambiental e menos poluentes. Nesse caso, o biodiesel é uma alternativa para as condições brasileiras, pois apesar da

vocação agrícola e condições climáticas favoráveis, o país conta com amplas áreas potencialmente agrícolas desocupadas ou mal aproveitadas (REIS, G. N. et al, 2006a).

Lopes, A. (2006) citando Almeida (2000), relata algumas vantagens do biodiesel em relação ao óleo diesel, tais como o fato de ser combustível renovável com a grande vantagem de que, na formação dos grãos, o gás carbônico do ar é absorvido pela planta, compensando o gás carbônico emitido na queima do biodiesel. Pode ser utilizado em motores sem alteração mecânica, e o calor produzido por litro é semelhante ao do diesel. Produz menor emissão de partículas de carvão e, por ser um éster, constitui-se de dois átomos de oxigênio na molécula, resultando em combustão mais completa quando comparada à combustão do diesel.

Segundo o autor, apesar das vantagens ambientais, o biodiesel necessita ter menor custo de produção para tornar o produto competitivo no mercado de combustíveis.

Ensaio realizados com mistura de biodiesel ao diesel comprovam o potencial dessa alternativa, sendo sugerida proporção de até 20%, mesmo considerando o aumento no consumo decorrente do balanço desfavorável entre o maior número de cetano e menor poder calorífico (OLIVEIRA; COSTA, 2002 *apud* LOPES, A., 2006).

Reis, G. N. et al. (2006a) em ensaio comparativo entre biodiesel filtrado e destilado a partir de óleo residual, por exemplo, não encontraram diferenças quanto ao tipo de obtenção do combustível para o consumo específico. Em relação às proporções estudadas, os menores consumos volumétrico e ponderal foram observados para as misturas B0, B5, B15, B25 e B50 para o destilado, enquanto que para o filtrado, somente nas três primeiras proporções.

Lopes, A. (2006) verificou que, para o biodiesel etílico destilado, obtido a partir de óleo de amendoim, não apresentou diferenças quanto aos consumos volumétrico e ponderal de combustível para as proporções de B0, B5, B15 e B25, sendo que apresentaram os menores consumos com relação à proporções maiores, como B75.

Quanto ao consumo específico de combustível (g kWh^{-1}), o mesmo autor também relata que até a proporção B25 não houve diferença, sendo obtidos até esta proporção os menores consumos por energia disponibilizada pelo motor.

3. Desempenho operacional

O custo de produção no contexto agrícola, concordando com Milan (1998 *apud* PRADO et al., 2002), é composto basicamente pelos insumos, administração e operações agrícolas. Assim, o dispêndio nestas operações deve ser planejado de forma racional, a fim de que haja aumento da rentabilidade no campo.

De acordo com Lopes, A. et al. (2003), o consumo de combustível de tratores agrícolas é influenciado pela lastragem do trator, pela carga imposta na barra de tração, pelo tipo de pneu e pela velocidade de deslocamento.

Cordeiro et al. (1988) avaliando o consumo de combustível de diversos tratores na operação de semeadura durante quatro anos, encontraram valores médios para um trator de potência no motor de 82,4 kW (110 cv) de 8,5 litros por hora. Levien et al. (1999) obtiveram valores de 13,0; 12,9 e 12,3 L ha⁻¹ de óleo diesel para semeadura em um Latossolo, em plantio convencional, reduzido e direto, respectivamente.

Furlani et al. (2005b) encontraram, para semeadura em sistema convencional num Latossolo Vermelho, consumo volumétrico de combustível de 13,3 L h⁻¹ e consumo por área de 5,5 L ha⁻¹, utilizando trator de 73,6 kW de potência e semeadora com mecanismos de discos duplos para abertura do sulco de semeadura, operando com 4 fileiras espaçadas em 0,90 m.

Em semeadura de milho com 4 fileiras espaçadas de 0,90 m, utilizando discos duplos para abertura dos sulcos, em solo sob preparo convencional, Grotta et al. (2006a) encontraram valores médios de consumo de combustível de 5,48 L h⁻¹, 4,53 kg h⁻¹, 2,53 L ha⁻¹ e 255,19 g kWh⁻¹, sendo todos menores dos que o encontrado para o sistema de semeadura direta.

Utilizando um conjunto trator de 73,6 kW (100 cv) de potência e semeadora com quatro fileiras (espaçamento de 0,90 m) equipada com discos duplos para abertura do sulco, em solo preparado com uma aração e duas gradagens, Furlani et al. (2004b) apresentaram valores médios de 14,6 L h⁻¹, 5,4 L ha⁻¹ e 491 g kWh⁻¹ para o consumo

específico de combustível, sem sofrer diferenças significativas em função das velocidades de 6,3 e 8,6 km h⁻¹.

A força de tração necessária para a operação de semeadura de precisão, na direção horizontal do deslocamento, já incluída a resistência ao rolamento da máquina, com bom leito de semeadura, varia de 0,9 kN ± 25% por fileira (somente semeadura) e de 3,4 kN ± 35% por fileira (semeadura, adubação e herbicida) (ASAE, 1999).

Mantovani et al. (1992) obtiveram valores de força de tração, que variaram entre 0,92 e 2,32 kN por fileira, quando testaram cinco modelos comerciais de semeadoras-adubadoras nacionais de arrasto, com quatro fileiras para milho, mecanismo sulcador de disco duplo para sementes e adubo, em solos argilosos, preparados convencionalmente, e com velocidade de deslocamento de 4,5 e 6,0 km.h⁻¹.

Para semeadura e adubação em preparo convencional, Furlani et al. (2005b) obtiveram potência requerida na barra de tração de 24 kW, com força de tração de 12,8 kN, correspondendo a 3,2 kN por fileira, bem próximos dos valores definidos pela ASAE, supracitados.

Silva, A. R. B. et al. (2004) em semeadura de milho em solo sob preparo convencional, com espaçamento de 0,90 m para quatro fileiras, utilizando trator de 88,3 kW (120 cv), encontraram média de 7,7 kN de exigência de tração, e 10,2 L h⁻¹ de consumo de combustível.

Grotta et al. (2006b) em experimento em preparo convencional, encontraram, para a operação de semeadura, 2,06 kN por fileira de força média na barra de tração, e 4,52 kW para a potência média, também por unidade de semeadura.

A ASAE (1989) recomenda, para a obtenção de máxima eficiência de tração, patinagem de 8 a 10% em solos não mobilizados e de 11 a 13% em solos mobilizados.

Quando analisaram a patinagem dos rodados em operação de semeadura, Furlani et al. (2005b) encontraram valores abaixo do preconizado pela ASAE, com média de 6,7% para plantio convencional (solo mobilizado).

Segundo Portella, J. A. et al. (1997), deve-se buscar sempre uma adequação das semeaduras a cada realidade. O desempenho agrônomo da semeadura deve ser avaliado obtendo-se informações como corte da palha, profundidade de semeadura e

aplicação de fertilizantes, volume de solo mobilizado no sulcamento, cobertura do sulco, velocidade de emergência da cultura e população final da cultura (CASÃO JÚNIOR et al., 1998, 1999).

4. Compactação do solo

O aumento da compactação, como afirma Dexter (2004 *apud* CONTE et al., 2007), altera as curvas características de água no solo, reduzindo assim a condutividade hidráulica, diminuindo a disponibilidade de água às plantas, afetando diretamente o desenvolvimento das culturas.

A compactação causa aumento nos danos físicos, químicos e biológicos ao solo, exercendo influência direta na sua degradação, ocasionando redução de produtividade, aumento da erosão e do escoamento superficial (TOLEDO et al., 2006). Um método, prático, rápido e eficiente para sua indicação é a avaliação da resistência mecânica do solo à penetração, que é propriedade característica de cada tipo de solo e seu teor de água, e contribui para representar a condição física do solo.

A avaliação da compactação é baseada na condição atual do solo em relação à condição natural ou sem restrições ao crescimento e produtividade das culturas. A preferência em utilizar penetrógrafos para medir o estado de compactação está na praticidade e rapidez na obtenção dos resultados. Ainda, os penetrógrafos medem a resistência do solo em pequenos incrementos de profundidade, sendo úteis para avaliar camadas de maior resistência em profundidade e os valores de resistência à penetração são positivamente correlacionados com a densidade do solo (SILVA, V. R. et al., 2004).

Para Klein et al. (1998), a resistência mecânica do solo à penetração é influenciada por vários fatores, sendo a densidade e o teor de água os principais. Os autores citam que, em pesquisa de resistência mecânica do solo à penetração, é fundamental que se faça o monitoramento dos dados de densidade e teor de água, uma

vez que esses fatores influenciam diretamente os valores da resistência mecânica do solo à penetração.

Por conseguinte, um dos atributos físicos mais adotados como indicativo da compactação do solo é a resistência do solo à penetração, por apresentar relações diretas com o crescimento das plantas e por ser mais eficiente na identificação de estados de compactação comparada à densidade do solo (FREDDI et al., 2006).

Costa, F. S. et al. (2007) estudaram o efeito dos sistemas de manejo, plantio direto e convencional, sob as características físicas de um Latossolo, dentre elas a resistência à penetração. Encontraram valores não superiores a 0,2 MPa para a camada de 0-0,20 m com teor de água médio na mesma camada de 38%, mensurada com penetrômetro de bolso para o solo sob sistema convencional, sem demonstrar diferença ao sistema plantio direto, decorrente de coeficiente de variação muito alto.

Em experimento que avaliou, entre outros fatores, a resistência à penetração de um Latossolo Vermelho, Prado et al. (2002b) compararam o preparo convencional com o reduzido, apresentaram valores que variaram de 1,38 a 3,62 MPa, dependendo da profundidade e da época de amostragem, para o sistema convencional, com teor de água em torno de 26%.

Costa, E. A. et al. (2006) avaliando as propriedades de um Latossolo Vermelho, relataram que a resistência do solo à penetração variou de 0,09 a 1,96 MPa, valores considerados dentro de condições normais, que citam como referência resultados similares relatados por Araújo (2004) e Secco et al. (2004), para Latossolos submetidos ao preparo convencional.

5. Análise estatística espacial

Para representar a dependência espacial nas amostragens, utiliza-se a geoestatística, que surgiu na África do Sul, quando o Engenheiro de Minas D.G. Krige, em 1951, trabalhando com dados de concentração de ouro, concluiu que não conseguia

encontrar sentidos nas variâncias se não levasse em consideração a distância entre as amostras, como explicam Farias et al. (2003). E ainda, segundo os mesmos autores, G. Matheron baseando-se nestas observações, desenvolveu a Teoria das Variáveis Regionalizadas, que contém os princípios básicos da geoestatística.

Avanços tecnológicos na agropecuária têm mostrado a importância de se medir a variação espacial e temporal de propriedades que afetam o rendimento das culturas, com o objetivo de otimizar o aproveitamento de recursos e diminuir custos. O gerenciamento do processo de produção em função da variabilidade é o que se convencionou chamar Agricultura de Precisão, que tem como objetivo correlacionar causas e efeitos a partir de séries históricas de dados e da distribuição espacial (CARVALHO et al., 2002).

A parte central da geoestatística é a idéia de que medidas mais próximas tendem a serem mais parecidas do que valores observados em locais distantes. A geoestatística fornece métodos para quantificar esta correlação espacial e incorporá-la na estimação e na inferência (JOHNSON et al., 1996).

A variabilidade espacial dos solos não tem sido devidamente tomada em consideração nos processos produtivos da agricultura. Um maior conhecimento da variabilidade espacial da produtividade e das propriedades físicas do solo, bem como o estudo desta variabilidade com o passar dos anos (variabilidade temporal), vem somar com o conhecimento já existente sobre o assunto, o qual, ao ser devidamente disponibilizado aos produtores que adotam a técnica de agricultura de precisão, pode viabilizar uma agricultura moderna, economicamente competitiva e ecologicamente correta (MERCANTE et al., 2003).

A análise geoestatística que permite detectar a existência da variabilidade e distribuição espacial das medidas estudadas constitui importante ferramenta na análise e descrição detalhada da variabilidade das propriedades do solo (CARVALHO et al., 2002; VIEIRA, 2000).

Conhecendo as coordenadas geográficas do ponto amostrado, podem-se analisar os dados espacialmente, possibilitando representar a área com maior detalhamento, segundo Vendrusculo (2001).

O nível de detalhamento é obtido por meio da distância entre pontos de amostragem e depende tanto da propriedade a ser analisada, quanto da escala de trabalho (tamanho da área amostrada) (GREGO; VIEIRA, 2005).

6. Controle de qualidade

As primeiras técnicas de controle estatístico de qualidade (CEQ) foram desenvolvidas na década de 20 do século XX, por W. A. Shewhart, com os primeiros gráficos de controle, e por Dodge e Romig, com a metodologia de aceitação por amostragem. A utilidade destas técnicas foi comprovada na prática, e sua aplicação expandiu-se pelas empresas dos EUA até o fim da II Guerra Mundial (REIS, M. M., 2001).

Posteriormente houve diminuição do interesse por conta dos americanos, e graças ao trabalho de W. E. Deming e à visão da União Japonesa para a Ciência e a Engenharia (JUSE), tais métodos popularizaram-se no Japão e obtiveram bons resultados, demonstrados pela confiabilidade e aceitação dos produtos japoneses (BARTMANN, 1986 *apud* REIS, M. M., 2001).

Para implantação de programas de Qualidade Total (QT), as ferramentas estatísticas são indispensáveis no gerenciamento de processos produtivos, especialmente no monitoramento e implantação de rotinas (REYES; VICINO, 2001).

No caso de implantação de rotinas, conforme citam os mesmos autores, as ferramentas estatísticas colaboram efetivamente na definição e implementação de itens de controle e verificação, avaliação de processos, definição de problemas prioritários e padronização.

Também são aplicadas em outras etapas de programas de QT, como no ciclo PDCA ("plan, do, check, action": planejar, fazer, checar, agir), utilizado como método gerencial em todas as etapas. Podem ser aplicadas nos processos "on-line", isto é, na etapa fazer ("do"), e em processo "off-line", etapa checar ("check"). Para as outras duas

etapas do PDCA são mais indicadas as Sete Ferramentas (diagrama de pareto, diagrama de causa e efeito ou de ishikawa, histogramas, folhas de verificação, gráficos de dispersão, fluxogramas e cartas de controle) para o planejamento da qualidade (REYES; VICINO, 2001).

No setor agropecuário, o uso dessa ferramenta ainda se inicia. Os programas de QT vêm se desenvolvendo principalmente na área de operações agrícolas, envolvendo o próprio maquinário em si, a mão-de-obra e as técnicas de manejo do solo. Os resultados destas operações determinam o processo produtivo, onde o cliente principal é sempre a operação seguinte (LIMA, 200-?).

Qualidade operacional é conceituada, no processo de produção agrícola, como a realização de operações ou a obtenção de produtos que estejam adequados às especificações ou aos padrões previamente recomendados (DODSON, 1998).

Reyes e Vicino (2001) relatam que o ciclo PDCA começou a ser utilizado na agricultura no Brasil com algumas limitações. Milan (1997) enfoca o problema aplicado ao processo de operações agrícolas, elaborando associações entre o PDCA, relação cliente-fornecedor interno, histograma e gráfico de controle. Esse autor considera que a aplicação dessa metodologia é um fator de sobrevivência para as empresas agrícolas.

A gestão pela qualidade deve ser implantada em todas as áreas da propriedade, criando ambiente amplo de organização, além de caracterizar-se em eficiente estratégia de redução de custos (BONATO; MILAN, 2001).

A gestão da qualidade total aplicada à agricultura pode proporcionar os seguintes benefícios: aumento da quantidade de produto agrícola disponível com melhorias de produtividade e redução de custos; aumento da qualidade dos produtos agrícolas; efetivação do desenvolvimento sustentável e melhoria da qualidade de vida do trabalhador rural e agro-industrial (BONILLA, 1999).

Segundo Bonilla (1995), a utilização de ferramentas estatísticas de controle da qualidade possibilita a detecção de variações ou oscilações indesejáveis perante aos padrões especificados para as operações agrícolas, evitando previamente esta ocorrência. Assim, conforme Lopes, M. B. et al. (1995), são evitados desperdícios e

alcançados acréscimos na produtividade, usando a detecção e imediata solução das falhas.

Cartas de controle têm sido amplamente utilizadas no controle de qualidade, muitas vezes como passo inicial na análise dos dados. Afinal, para se realizar qualquer tipo de análise estatística, é fundamental que o processo esteja sob controle e mantenha uma estabilidade ao longo do tempo (MINITAB, 2003).

6.1. Qualidade em operações agrícolas

O controle de qualidade em operações agrícolas consiste na adoção do conjunto de procedimentos que promovam serviços e resultados, atendendo com precisão, às exigências da operação seguinte. De modo geral, as operações são interdependentes (operação fornecedora e operação cliente), pois as ineficiências da operação podem comprometer a subsequente e assim sucessivamente (PECHE FILHO et al., 1994).

Os aspectos mais relevantes para o sucesso da cultura estão relacionados com o desempenho da semeadora-adubadora no que se refere ao corte eficiente dos restos culturais, à abertura do sulco e à colocação da semente e do fertilizante em profundidades corretas e em contato com o solo. É importante também que as máquinas apresentem adequada regularidade, com distribuição precisa de sementes e fertilizantes (EMBRAPA, 1994).

Técnicas estatísticas para controle da qualidade, em operações agrícolas mecanizadas, empregadas em culturas distintas, obtêm resultados promissores (MILAN; FERNANDES, 2002).

Aplicando o controle da qualidade em operações mecanizadas na cultura de cana-de-açúcar, Lopes, M. B. et al. (1995) concluíram que os índices de variação encontrados nas áreas analisadas foram muito elevados. No caso do espaçamento entre sulcos, a variação entre os diversos grupos estudados estava fora de controle,

apesar da média estar próxima da desejada para a operação, sugerindo problemas de má regulação do implemento ou erros na operação.

A avaliação da qualidade das operações agrícolas utilizando métodos estatísticos, realizada por Fernandes et al. (1999), também para a cultura de cana-de-açúcar, envolvendo preparo do solo e aplicação de defensivos, demonstrou que apenas 32% da área apresentou os padrões desejados para aplicação de defensivos e que a qualidade do preparo do solo foi considerada satisfatória para somente 27% da área amostrada.

O uso de técnicas de controle de qualidade em operações mecanizadas para a cultura do milho demonstraram que 37,6% dos espaçamentos entre sementes estavam fora das especificações para semeadura, e que a profundidade das sementes sofreu grande variação, onde 3,2% ficaram totalmente expostas e sem condições de germinação, causando desuniformidade na emergência das plântulas e conseqüente diminuição da produção (PASQUA et al., 1996).

Avaliando a qualidade da semeadura mecanizada da cultura do milho sob o sistema de plantio direto, objetivando verificar a conformidade com os padrões agronômicos estabelecidos e detectar oscilações na operação, Sugisawa et al. (2003) concluíram que a operação nesta situação estava fora dos padrões adequados, que os efeitos não se encontravam sob controle estatístico, e que as unidades deveriam ser individualmente analisadas a fim de reduzir a variabilidade da operação.

De acordo com Milan e Fernandes (2002), o controle das operações agrícolas permitiu a diminuição na variabilidade obtendo-se resultados mais próximos aos limites especificados. Na escarificação, a introdução do controle ocasionou um aumento de 34% para 55 % de dados dentro dos limites de especificação desejados, embora sem diferença estatística entre as médias para a situação sem e com aplicação de controle estatístico.

Os autores constataram que existe diferença na escarificação para a profundidade de preparo entre as médias da fileira e entre fileiras. Quando os tratamentos sem e com controle são avaliados, as profundidades para a fileira e entre fileira diferem revelando o melhor resultado obtido com o controle da operação.

Na avaliação feita para a operação de gradagem por estes autores, ocorreu redução de 9,8% dos dados médios de tamanho de torrões e um aumento de 75% de torrões aceitáveis, controlando-se a operação. Concluíram que a implantação do controle nas operações foi viável e adequada ao sistema de produção em questão.

Aplicando conceitos da qualidade em operações mecanizadas na produção de milho para silagem, Fernandes (2000) concluiu que a implantação do controle estatístico de processos, na operação de gradagem, reduziu o diâmetro dos torrões, provando ser útil para melhorar a qualidade da atividade. Com base nos resultados encontrados, destacando o desenvolvimento de padrões e de dispositivos para aferições da qualidade nas operações, o autor concluiu que a implantação das técnicas de controle estatístico de processos foram viáveis e adequadas ao sistema de produção em questão.

Fernandes (1997 *apud* MILAN; FERNANDES, 2002) constatou que, em sistema de produção de cana-de-açúcar, apesar da operação de subsolagem estar sob controle estatístico, encontrava-se com valores de profundidade de trabalho não compatíveis com os limites especificados.

Lino et al. (1999) analisando a fragmentação realizada por roçadora, utilizaram ferramentas preconizadas pelo controle estatístico da qualidade, observaram grande variabilidade da distribuição da fitomassa e alto coeficiente de variação. Para o tamanho dos fragmentos, a amplitude foi dez vezes maior que a média, entretanto o coeficiente de variação é classificado como médio, entre 10 e 20%. Assim, concluíram que a metodologia aplicada foi adequada para a caracterização da área antes e depois da operação.

Em trabalho sobre o controle de qualidade em operações agrícolas mecanizadas, Pasqua (1999) avaliou a semeadura de milho, a adubação de cobertura e a aplicação de inseticida, concluindo que o uso dos métodos estatísticos do controle da qualidade mostrou-se uma ferramenta eficiente para a detecção de problemas no decorrer das operações.

6.2. Indicadores de qualidade

Selecionar indicadores mensuráveis ou passíveis de análise é uma tarefa primordial em processos que envolvam critérios de qualidade, para que permitam avaliar o resultado final. Assim devem ser definidos os indicadores de qualidade a serem analisados, com respectivos padrões de qualidade ou limites de especificação, baseados em critérios agrícolas e/ou econômicos adotados (SUGUISAWA, 2004).

Indicadores podem ser obtidos em todas operações agrícolas envolvidas no processo produtivo. Os modelos mais utilizados para cálculo de custos operacionais de sistemas mecanizados de produção agrícola avaliam basicamente fatores quantitativos relacionados a gastos com mão-de-obra, combustível, insumos, capacidade operacional, etc. e, na maioria das vezes, os fatores qualitativos não são avaliados adequadamente, dificultando a verificação de sua influência no rendimento financeiro da produção (DODSON, 1998).

As operações agrícolas devem ter o objetivo de atender suas próprias exigências, e ir além, atender as da próxima a ser executada. As falhas da operação que prejudicam a posterior são o foco da qualidade total, devendo ser controladas, para não inferirem negativamente nos resultados das operações (LOPES, M. B. et al., 1995).

Avaliando a influência de indicadores de qualidade no custo operacional de um sistema de produção de milho, Dodson (1998) observou que a semeadura encontrava-se fora dos padrões pré-estabelecidos, e que somente 40% das sementes estavam dentro do espaçamento horizontal desejado (de 0,20 a 0,33 m entre sementes). Desse modo, a lavoura de milho desenvolveu-se sem uniformidade, com a possibilidade de existirem problemas, como o surgimento de plantas daninhas em espaços não ocupados pelo milho e nos locais com número excessivo de sementes a produtividade por área seria reduzida.

Uma das técnicas do controle estatístico de processo é utilização dos gráficos de controle como técnica de monitoramento do mesmo. São utilizadas por demonstrarem a variabilidade existente no sistema, consistindo num conjunto de gráficos de

acompanhamento, compostos pelos valores obtidos das verificações, uma linha que representa a média destes e, paralelas a esta, os limites superior e inferior de controle (LSC e LIC) (MONTGOMERY, 1997; KUME, 1993 *apud* SUGUISAWA, 2004).

Os limites auxiliam a definir o processo como sob controle quando todos os pontos do gráfico localizam-se entre eles e considera-se que está fora de controle quando um ou mais pontos localizam-se fora destes (BONILLA, 1995). Assim, o uso da carta de controle mostra-se como método eficiente para o estudo da estabilidade estatística do processo produtivo (RAMOS, 1995).

Os gráficos foram desenvolvidos para diferenciar as variações anormais (não-aleatórias) das variações normais (aleatórias). Jacovine (2000) define que, a variação devida à causa aleatória é inevitável e fatalmente ocorre, mesmo que a operação seja executada nos padrões preconizados, e que a variação devida à causa não-aleatória significa que há fatores relevantes a serem investigados no processo.

Neste mesmo sentido, Montgomery (1997 *apud* REIS, M. M., 2001) relata que a variabilidade natural, devido à aleatoriedade inerente à natureza, torna praticamente impossível a produção de dois produtos ou serviços idênticos. Se essa variabilidade for pequena, ou seja, não causa impacto perceptível para o consumidor, é tolerável, caso contrário será indesejável ou mesmo inaceitável.

Segundo Trindade et al. (2000) os gráficos de controle podem ser divididos em gráficos de controle por atributos, usados quando a variação é obtida de modo qualitativo, e para variáveis, que estudam o comportamento de fatores obtidos de modo quantitativo.

Os gráficos de controle possibilitam a visualização dos desvios resultantes, tornando o processo previsível, de forma a validar se pode ou não atender determinadas especificações, e identificar quando as melhorias no processo produtivo se fazem necessárias (ANTUNES; ENGEL, 1999).

Conforme Montgomery (1997 *apud* SUGUISAWA, 2004) ao menos cinco razões são plausíveis para o emprego dos gráficos de controle no processo de produção: proporciona aumento de produtividade; previne defeitos; previnem ajustes

desnecessários; fornecem informações para diagnosticar o processo; avaliam a capacidade em função de parâmetros estabelecidos.

6.3. Controle estatístico de processo

O Controle Estatístico de Processos (CEP) envolve basicamente o desenvolvimento e interpretação dos resultados de gráficos de controle de processos e a utilização de técnicas para identificação de causas de problemas e oportunidades de melhoria da qualidade (REIS, M. M., 2001).

O autor salienta que o CEP permite a monitoração contínua do processo, possibilitando ação imediata assim que um problema for detectado, encaixando-se dentro da filosofia que preconiza a construção da qualidade dentro do processo e a prevenção de problemas.

O CEP justifica-se pela existência e pela necessidade de avaliar a variabilidade, para obter, manter ou melhorar a qualidade do processo. Sempre que houver uma série de observações ou medidas obtidas de um processo, tais medidas não serão idênticas entre si. Haverá uma variação, produzindo um padrão flutuante: nenhum processo por maior que seja a sua “qualidade” poderá extinguir totalmente esta variabilidade. (REIS, M. M., 2001).

O controle estatístico é uma ferramenta utilizada em vários seguimentos, tendo maior aplicabilidade na indústria, com objetivo de medir a variabilidade existente nos processos. No mundo globalizado é necessário ter produtos competitivos, alcançados com a aplicação da gestão da qualidade por meio de ferramentas estatísticas (BOMFIM et al., 2005).

A concorrência em escala mundial obriga as empresas a buscar maior eficiência administrativa e operacional. As técnicas de controle estatístico de processo são ferramentas que permitem a melhoria da qualidade e produtividade nas empresas.

Desenvolvido e largamente aplicado nas indústrias, o CEP tem grande potencial de utilização na agropecuária (MILAN; FERNANDES, 2002).

O surgimento dos gráficos ou cartas de controle ocorreu em 1924, quando o então funcionário da Bell Laboratories, W. A. Shewhart publicou relatório técnico visando divulgar os fundamentos de uma técnica estatística destinada ao controle de processos. Inicialmente poucos acreditaram no potencial desta nova técnica, mas com o tempo o gráfico de controle foi ganhando fama, e tornou-se imprescindível como ferramenta de monitoramento em um número infindável de processos industriais (LEIRAS et al., 2007).

As cartas de controle são as técnicas de CEP mais conhecidas e utilizadas, embora nem sempre de forma adequada, como explica Reis, M. M. (2001). São comparações gráficas da performance do processo (medida por algum indicador de qualidade, como média de uma medida, número de defeituosos, e outros) com determinados limites de controle, verificando se os pontos do gráfico distribuem-se segundo padrões aleatórios.

O objetivo das cartas de controle é monitorar a variabilidade existente nos processos, distinguindo as causas comuns de variação, que geram pequenas variações aleatórias e inerentes ao processo, das causas especiais, que devem ser identificadas e corrigidas para que o processo permaneça dentro de um padrão estabelecido e almejado (MICHEL; FOGLIATTO, 2002).

Um dos pontos fundamentais para o sucesso é a estabilização dos processos de rotina garantindo a confiabilidade. Uma definição aceita para qualidade é a redução da variabilidade que quanto menor, melhor a confiabilidade e a aceitação do produto ou serviço. A variabilidade, segundo Montgomery (1997 *apud* SUGUISAWA, 2004), é sinônimo de desperdício de dinheiro, tempo e esforço.

Bonilla (1995) e Montgomery (1996) citados por Milan e Fernandes (2002) ressaltam que o controle estatístico de processos é um conjunto de ferramentas úteis para a resolução de problemas para o alcance da estabilidade do processo e aumento da capacidade através da redução da variabilidade.

6.4. Análise de capacidade do processo

A capacidade do processo, como explica Reis, M. M. (2001), refere-se à uniformidade do processo, sendo a variabilidade uma medida da uniformidade do resultado obtido, que por sua vez, permitirá avaliar a qualidade, podendo determinar qual é a capacidade do processo produzir itens dentro das especificações.

Segundo Montgomery (1997 *apud* REIS, M. M., 2001) a análise da capacidade envolve técnicas estatísticas durante todo o ciclo produtivo, com atividades de desenvolvimento anteriores à fabricação, quantificação da variabilidade do processo, análise dessa variabilidade em relação às especificações do produto, auxiliando a eliminar ou reduzir substancialmente tal variabilidade.

Parte da variabilidade do processo é devida a causas naturais, aleatórias. Outra parte, não natural, precisa ser eliminada para obter a verdadeira capacidade do processo, a “reprodutibilidade inerente” ao processo segundo Juran et al. (1979 *apud* REIS, M. M., 2001).

Utiliza-se a análise de capacidade de processo, em dados com distribuição de frequência normal ou normalizada e sob controle estatístico, para verificar se o processo é capaz de produzir produtos ou serviços que atinjam as metas especificadas. Portanto, se o processo não estiver sob controle, a estimativa da capacidade será incorreta (MINITAB, 2003).

Um processo considerado capaz está apto a produzir produtos ou serviços conforme as especificações prévias. O desempenho de um processo sob controle é previsível, por essa razão pode-se avaliar a habilidade do processo em produzir resultados “nos padrões” e prever os resultados que se encontrarão “fora dos padrões”, conforme descreve Minitab (2003).

A capacidade do processo é determinada pela comparação entre os resultados obtidos no processo e a meta especificada. Em outras palavras, a abrangência da variação do processo é comparada com a abrangência dos limites especificados (MINITAB, 2003).

Reis, M. M. (2001) citando Montgomery (1997) relata alguns dos principais usos da análise de capacidade: prever a estabilidade do processo; auxiliar na seleção ou modificação do processo; especificar requisitos de desempenho para novos equipamentos; auxiliar na escolha entre fornecedores; planejar a seqüência dos processos produtivos; reduzir a variabilidade; aferir o sistema de medição da qualidade.

III. MATERIAL E MÉTODOS

1. Área experimental

1.1. Localização

A área experimental está situada no campo experimental do Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola (LAMMA), Departamento de Engenharia Rural, da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” UNESP, Campus de Jaboticabal.

O local de realização do trabalho, inserido no município de Jaboticabal – SP, possui latitude $-21^{\circ}14'$ e longitude $-48^{\circ}16'$, localizada na carta do Paranapanema na escala do milionésimo, (nomenclatura na Cartografia Sistemática: SF22-X-D-III-1-SE), altitude média de 560 metros e declividade média de 4%.

A área amostral foi constituída de 96 parcelas georreferenciadas em malha de 8 x 12 pontos espaçados de 10 x 10 m, constituindo os locais de amostragem dos parâmetros avaliados.

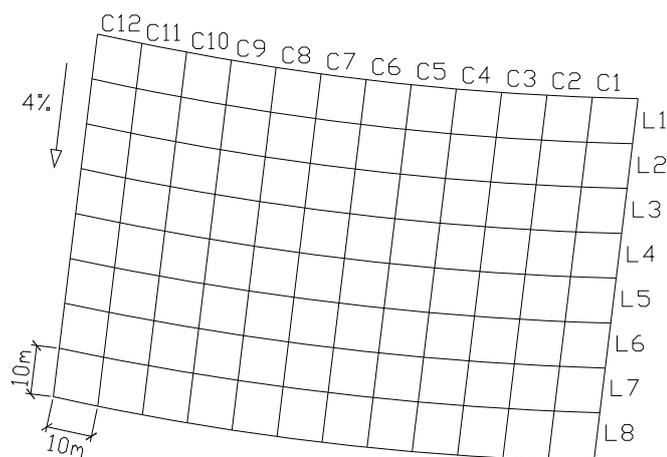


Figura 1. Croqui da área experimental

1.2. Histórico

A área experimental há 6 anos está sob sistema de preparo convencional, sendo que no ano agrícola anterior à semeadura (2005/2006) permaneceu em pousio, com leve infestação de plantas invasoras, eliminadas com o preparo do solo anteriormente à semeadura do amendoim, descrito no item 1.4. A avaliação anterior realizada na área foi conduzida por Portella, L. M. (2005), que avaliou o teor de água e a resistência mecânica do solo à penetração, como base para agricultura de precisão.

1.3. Solo e clima

O solo da área experimental é classificado como LATOSSOLO Vermelho eutroférico típico, textura muito argilosa, A moderado caulínítico-oxídico, relevo suave ondulado (EMBRAPA, 1999). O teor médio de água no perfil de 0 a 20 cm do solo, durante a semeadura do amendoim, foi de 13%.

O clima da região é considerado como tropical com chuvas de verão (Aw) pela classificação de Köppen-Geiger, com temperatura média do mês mais frio superior a 18 °C, estação invernal ausente e verão chuvoso.

Para o ano de 2006, a temperatura média foi de 22,5 °C, a precipitação média de 1 447 mm, umidade relativa do ar média de 71% e pressão atmosférica de 94,4 kPa (0,94 atm), conforme indicado por Unesp (2007).

Somente para dezembro, mês em que se realizou a semeadura, as temperaturas mínima, média e máxima foram respectivamente 20,6, 24,4 e 29,9 °C. A precipitação neste mês foi 221 mm distribuídos em 24 dias com chuva, 187,7 h de insolação e umidade relativa do ar de 82,2% (UNESP, 2007).

1.4. Preparo do solo

A semeadura do amendoim foi realizada em solo sob preparo convencional, realizado anteriormente à semeadura, em duas etapas: preparo primário e secundário.

O preparo primário, com a finalidade de incorporar a cobertura vegetal e mobilizar inicialmente o solo, foi efetuado com uma gradagem em toda a área, utilizando grade pesada de discos.

O preparo secundário foi realizado com duas gradagens niveladoras, visando nivelar e destorroar o solo.

1.5. Cultura

A semeadura do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) foi realizada em 02 de dezembro de 2006, utilizando a cultivar IAC Runner 886, de porte rasteiro (mais adequada à colheita mecanizada), descendente da cultivar multilinha Florunner, de origem americana. O ciclo, da semeadura à maturação é de 130 dias em média. Apresenta emergência, florescimento e a emissão de vagens rápidas e o desenvolvimento vegetativo praticamente cessa entre 90 e 100 dias. É recomendada para cultivo na época de verão (para o Estado de São Paulo) em fileiras espaçadas de 0,90 m e densidade de 10 a 12 plantas por metro (MAKIMOTO et al., 2003).

2. Equipamentos¹

2.1. Preparo do solo

No preparo primário do solo utilizou-se uma grade pesada de arrasto com controle remoto, marca Marchesan, modelo GASPCR/10, com 16 discos recortados de 81 cm (32") de diâmetro, largura de corte de 2,05 m e massa de 1 300 kg.

Para o preparo secundário, fez-se uso de uma grade niveladora/destorroadora de arrasto, marca Marchesan, modelo GNL/32-784, com 32 discos (16 dianteiros recortados e 16 traseiros lisos) de 51 cm (20") de diâmetro, largura de corte de 2,30 m e massa de 758 kg.

2.2. Trator

Utilizou-se neste experimento um trator instrumentado da marca Valtra, modelo BM100 4x2 com tração dianteira auxiliar (TDA), potência no motor de 73,6 kW (100 cv) a 2 300 rpm, equipado com pneus 14.9-24 no eixo dianteiro e 23.1-26 no eixo traseiro.

Durante a operação de semeadura, o trator operou na marcha 4^a baixa, com rotação de 1 900 rpm, obtendo assim velocidade teórica de 6,0 km h⁻¹. As principais especificações do trator encontram-se no Apêndice A.

O trator possuía instrumentação necessária para medir as variáveis inerentes ao desempenho operacional do conjunto (Figura 2), descritos no item 3.

¹ *AD CAUTELAM*: Nenhuma referência, citação ou comentário, explícitos ou implícitos, referente a fabricantes, produtos, marcas, modelos, instituições privadas ou públicas, constituem recomendações ou endosso por parte do autor.



Figura 2. Trator utilizado no experimento com detalhamento da instrumentação embarcada para medição das variáveis de desempenho

2.3. Biodiesel

O combustível utilizado na alimentação do trator durante a condução do experimento foi o biodiesel etílico destilado, produzido à base de óleo de amendoim, em proporção de mistura B5 (5% de biodiesel + 95% de diesel).

O processo de produção do biodiesel ficou a cargo do Laboratório de Desenvolvimento de Tecnologias Limpas (LADETEL), da Universidade de São Paulo – USP, Campus de Ribeirão Preto - SP.

2.4. Semeadora-adubadora

A semeadora-adubadora de precisão utilizada foi a Marchesan COP Suprema 7/4, com disco vertical pneumático para distribuição de sementes, discos duplos desencontrados para abertura do sulco de deposição do adubo (350 kg ha^{-1}), discos duplos para sementes ($20,5 \text{ sem m}^{-1}$), com profundidade de deposição regulada para 5 cm e rodas aterradoras-compactadoras duplas em “V”, operando com 4 fileiras de semeadura, com espaçamento entre fileiras de 0,90 m.

A regulagem do dispositivo marcador de fileiras foi realizada pelo operador, ajustada para 0,90 m, seguindo o espaçamento recomendado para a cultura.



Figura 3. Conjunto trator-semeadora-adubadora

As principais especificações técnicas da semeadora-adubadora encontram-se no Apêndice A.

3. Desempenho operacional

Nos itens de 3.1 a 3.6 são descritos os equipamentos instalados no trator para aquisição dos dados referentes ao desempenho operacional do conjunto trator-semeadora-adubadora.

Excetua-se das descrições a avaliação da rotação da tomada de potência (TDP), pois a semeadora-adubadora exige o acoplamento de um eixo cardan a esta, para o acionamento da turbina de geração de vácuo, imprescindível ao funcionamento do sistema de distribuição de sementes, impossibilitando a avaliação da rotação.

3.1. Sistema de aquisição de dados

Para realizar a aquisição e armazenamento dos dados referentes ao consumo e temperatura do combustível, força de tração, patinagem e velocidade de deslocamento, fez-se o uso de um sistema composto por um “datalogger” e sensores analógicos e digitais. Esse sistema possui conexão serial (RS232) para exportar os dados no formato de arquivo computacional.

O sistema de aquisição de dados era o Micrologger CR23X da Campbell Scientific Inc.

3.2. Consumo de combustível

Para quantificar o consumo de combustível, utilizaram-se dois medidores de fluxo (fluxômetros) da marca Oval, modelo Flowmate Oval M-III (LSN4IL8-M2), que registram um pulso a cada centímetro cúbico de combustível e vazão máxima de 100 L h⁻¹.

A temperatura do combustível (de alimentação e de retorno da bomba injetora) foi monitorada para se obter a densidade e calcular o consumo horário ponderal, obtida por sensores termopares de Platina (Pt100) da S&E Instrumentos de Testes e Medição, que tem faixa de medição de -200 a 800 °C.

A densidade ou massa específica do combustível, foi calculada conforme descreve Lopes, A. (2006), em dois momentos, na entrada e no retorno da bomba injetora, utilizando-se a temperatura em ambos os casos e a proporção biodiesel / diesel, como demonstrado na equação 1:

$$\mu = a - b \cdot \theta + c \cdot Bn \quad (1)$$

em que,

μ = massa específica do combustível (g dm^{-3});

a, b, c = coeficientes de regressão;

θ = temperatura do combustível ($^{\circ}\text{C}$);

Bn = biodiesel na proporção n (%).

3.2.1. Consumo volumétrico

Contabilizando-se a quantidade de pulsos emitidos pelos fluxômetros e o tempo gasto para percorrer uma distância conhecida, foi determinado o consumo horário volumétrico de combustível na operação de semeadura.

Portanto, em função do volume de combustível consumido e do tempo decorrido em cada parcela determinou-se o consumo horário volumétrico de combustível (eq. 2):

$$C_{VOL} = \frac{(V_a - V_r)}{\Delta t} \cdot 3,6 \quad (2)$$

em que,

C_{VOL} = consumo horário volumétrico de combustível ($\text{dm}^3 \text{h}^{-1}$);

V_a = volume de alimentação de combustível na entrada da bomba injetora (cm^3);

V_r = volume total retornado dos bicos e da bomba injetora (cm^3);

Δt = tempo de percurso na parcela (s).

3.2.2. Consumo ponderal

A influência da temperatura na massa específica (densidade) do combustível, durante a operação, foi considerada para o cálculo do consumo horário ponderal, obtido pela equação 3.

$$C_{POND} = \frac{(V_a \cdot \mu_a - V_r \cdot \mu_r)}{\Delta t} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} \quad (3)$$

em que,

C_{POND} = consumo horário ponderal de combustível (kg h^{-1});

V_a = volume de alimentação de combustível na entrada da bomba injetora (cm^3);

μ_a = massa específica do combustível no momento da alimentação (g dm^{-3});

V_r = volume total retornado dos bicos e da bomba injetora (cm^3);

μ_r = massa específica do combustível retornado pelos bicos e bomba injetora (g dm^{-3});

Δt = tempo de percurso na parcela (s).

3.2.3. Consumo específico

O consumo específico de combustível, medido em gramas por quilowatt hora fornece a quantidade de combustível consumida em massa por unidade de energia produzida pelo motor e fornecida à barra de tração, no momento da realização da operação. Este consumo foi obtido a partir da equação 4.

$$C_{ESP} = \frac{C_{POND}}{P} \cdot 10^3 \quad (4)$$

em que,

C_{ESP} = consumo específico de combustível (g kWh⁻¹);

C_{POND} = consumo horário ponderal de combustível (kg h⁻¹);

P = potência requerida na barra de tração (kW).

3.3. Consumo de energia

A energia consumida por unidade de área durante a operação de semeadura foi calculada com base na potência exigida na barra de tração e da capacidade de campo operacional, como apresentado na equação 5:

$$C_e = \frac{P}{CC_e} \quad (5)$$

em que,

C_e = consumo de energia (kWh ha⁻¹);

P = potência requerida na barra de tração (kW);

CC_e = capacidade de campo efetiva (ha h⁻¹).

3.4. Velocidade de deslocamento

A velocidade real de deslocamento do conjunto foi medida por meio de um radar instalado na parte lateral do trator, disposto em ângulo de 45° com a horizontal, cujas informações, à frequência de 1 Hz, foram armazenadas no sistema de aquisição de dados. A unidade de radar utilizada era da marca Dickey-John, modelo DJ RVS II (Radar Velocity Sensor).

3.5. Patinagem

Para avaliar a patinagem dos rodados, geradores de impulsos foram utilizados para medir a rotação das rodas do trator, que transmitiram essas informações ao sistema de aquisição e armazenamento. Os geradores convertem movimentos rotativos ou deslocamentos lineares em pulsos elétricos, gerando 60 pulsos por volta de cada roda. Para esta medição foram utilizados os “encoders” (geradores de impulso) da marca S&E Instrumentos de Testes e Medição, modelo GIDP-60-12V.

3.6. Força na barra de tração

A força requerida na barra de tração (FT) foi obtida utilizando-se uma célula de carga, instalada entre o trator e a semeadora, com uma aquisição a cada segundo, obtendo-se em torno de 18 valores por parcela (repetições), calculando-se o valor médio por parcela.

Para medir o requerimento de força de tração da semeadora-adubadora uma célula de carga M. Shimizu, modelo TF 400 foi acoplada à barra de tração.

3.7. Potência na barra de tração

A potência média requerida na barra de tração foi calculada, para cada parcela, pelo produto da força de tração média e da velocidade média de deslocamento do conjunto trator-semeadora-adubadora, como demonstrado pela equação 6.

$$P = FT \cdot v \tag{6}$$

em que,

P = potência requerida na barra de tração (kW);

FT = força requerida na barra de tração (kN);

v = velocidade de deslocamento (m s^{-1}).

4. Propriedades do solo

4.1. Teor de água do solo

Amostras de solo coletadas com auxílio de um trado manual e cápsulas de alumínio, nas camadas de 0-10, 10-20 cm durante a semeadura e 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm durante as avaliações de RMSP foram utilizadas para obtenção do teor de água do solo pelo método gravimétrico padrão, descrito em Embrapa (1979).

Foram escolhidos 8 pontos aleatórios dentro da área experimental para a caracterização do teor de água do solo, tanto no momento da semeadura quanto no das medições de resistência mecânica do solo à penetração.

4.2. Resistência mecânica do solo à penetração

A avaliação da resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) foi realizada em 96 pontos da malha amostral, um em cada parcela, anteriormente à semeadura, utilizando-se o penetrógrafo eletrônico DLG modelo PNT-2000/MOTOR, que segue a norma ASAE S313.2 (ASAE, 1996), coletando-se dados até a profundidade de 50 cm, com intervalo de uma leitura por centímetro.

O penetrógrafo hidráulico-eletrônico possuía haste com ponteira cônica, com área de 129 mm², célula de carga e sistema de aquisição de dados para medição da força de reação do solo, para posterior construção dos gráficos de resistência mecânica do solo à penetração e de variabilidade espacial.

Os dados obtidos foram separados em camadas de profundidade, utilizando-se a média dos dados na camada de 0-20 cm, por ser a camada onde atuaram os mecanismos sulcadores da semeadora.

5. Análise estatística descritiva

Como análise inicial, os dados foram submetidos à estatística descritiva, para permitir a visualização geral do comportamento dos dados, por meio do programa MINITAB[®]. Esta análise assume os dados como sendo independentes entre si, portanto, sem considerar a influência do local de amostragem e as posições relativas.

Foram calculadas as medidas de posição: média aritmética e mediana; medidas de variação: amplitude, desvio-padrão e coeficiente de variação; e os índices de assimetria e curtose. Para averiguar se os dados seguiam distribuição de frequência normal, realizou-se o teste de Anderson-Darling.

6. Análise estatística espacial

Empregou-se, para as variáveis de desempenho operacional e resistência mecânica do solo à penetração, a análise geoestatística para verificar a dependência espacial, interpolar dados e construir mapas de isolinhas destas variáveis.

Com base na teoria das variáveis regionalizadas para dados não tendenciosos, foram elaborados semivariogramas isotrópicos com o cálculo da autocorrelação

estatística entre os dados amostrais, definindo a semivariância, como demonstrado na equação 7.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z_i - Z_{i+h}]^2 \quad (7)$$

em que,

$\gamma(h)$ = semivariância para a classe de intervalos com distância h ;

$N(h)$ = número de possíveis pares de observações separadas por vetor de módulo h ;

Z_i = valor medido no ponto i ;

Z_{i+h} = valor medido no ponto $i+h$.

Conforme afirma Vieira (2000), espera-se que medições espacialmente próximas sejam mais semelhantes entre si do que aquelas mais distantes, ou seja, que a semivariância aumente com a distância até ocorrer a estabilização em um patamar, correspondendo à distância limite de dependência espacial, definindo o alcance. Portanto, medições situadas a distâncias maiores que o alcance são independentes entre si, apresentando distribuição aleatória.

Quando a autocorrelação entre os dados é presente, a semivariância é baixa para as menores distâncias. Detectada, portanto, essa autocorrelação ou dependência espacial dos dados por meio do semivariograma experimental, o ajuste do modelo foi realizado pelo software GS+ com base no menor valor da soma dos quadrados residual (SQR).

A SQR demonstra uma medida exata de quão bem o modelo ajusta o semivariograma aos dados. Quanto menor o valor, melhor ajustado está o modelo. Quando o GS+ auto-ajusta o modelo, usa a SQR para selecionar os parâmetros (efeito pepita, patamar e alcance) para cada um dos modelos de semivariograma (linear, esférico, exponencial ou gaussiano), determinando a melhor combinação entre esses parâmetros a fim de minimizar a SQR para qualquer modelo selecionado.

Portanto, a seleção entre os modelos de semivariograma fornecidos pelo programa foi baseada na observação da menor SQR.

O modelo selecionado foi ajustado, para a geração dos mapas de atributos, com base na técnica da validação cruzada, obtendo-se o melhor coeficiente de correlação. Nessa técnica, cada ponto medido na malha amostral é removido individualmente do local e tem valor estimado pela interpolação adotada, como se não existisse. Desta maneira consegue-se avaliar a aproximação do valor real com o valor interpolado, obtendo-se assim a correlação entre eles.

Após a seleção do melhor semivariograma ajustado à variável, os mapas de isolinhas para atributos foram obtidos com a interpolação via krigagem ordinária, que obtém valores para os pontos não amostrados espacialmente por meio dos semivariogramas, que fornecem as informações sobre a correlação espacial existente entre os dados amostrados.

Conforme citam Grego e Vieira (2005), a construção de mapas utilizando-se a krigagem são importantes para a verificação e interpretação da variabilidade espacial, pois, com as informações visuais fornecidas pelos mapas, pode-se inferir para melhorias nas propriedades analisadas.

Foi obtido com base nos parâmetros do semivariograma, o avaliador de dependência espacial (ADE), que é a proporção da variância estrutural (C) em relação ao patamar (C_0+C), dado pela equação 8.

$$ADE = \frac{C}{C_0 + C} \quad (8)$$

em que,

ADE = avaliador da dependência espacial;

C = variância estrutural;

C_0+C = patamar.

Se o valor de ADE for 1,00, significa que o semivariograma não apresenta efeito pepita (C_0) e, conseqüentemente, quando for zero não há dependência espacial, considerando-se efeito pepita puro. Quando o ADE for superior a 0,75 a dependência

espacial é considerada forte, entre 0,75 e 0,25 dependência moderada e abaixo de 0,25 dependência fraca (ROBERTSON, 1998 *apud* FREDDI et al., 2006).

7. Indicadores de qualidade

Para determinar a qualidade da operação de semeadura, com referência no afirmado por Embrapa (1994) quanto ao sucesso da cultura estar relacionado ao desempenho e regularidade da semeadora, foram selecionados os seguintes parâmetros como indicadores: distribuição longitudinal de plântulas, espaçamento entre fileiras de semeadura e número de dias para a emergência.

A estes parâmetros foram aplicadas técnicas de controle estatístico de qualidade, por meio de cartas de controle e análise de capacidade.

7.1. Distribuição longitudinal

A regularidade de distribuição longitudinal foi determinada pela medição da distância entre plântulas consecutivas, existentes em dois metros de fileira de semeadura para cada parcela, conforme descrito por Kurachi et al. (1989).

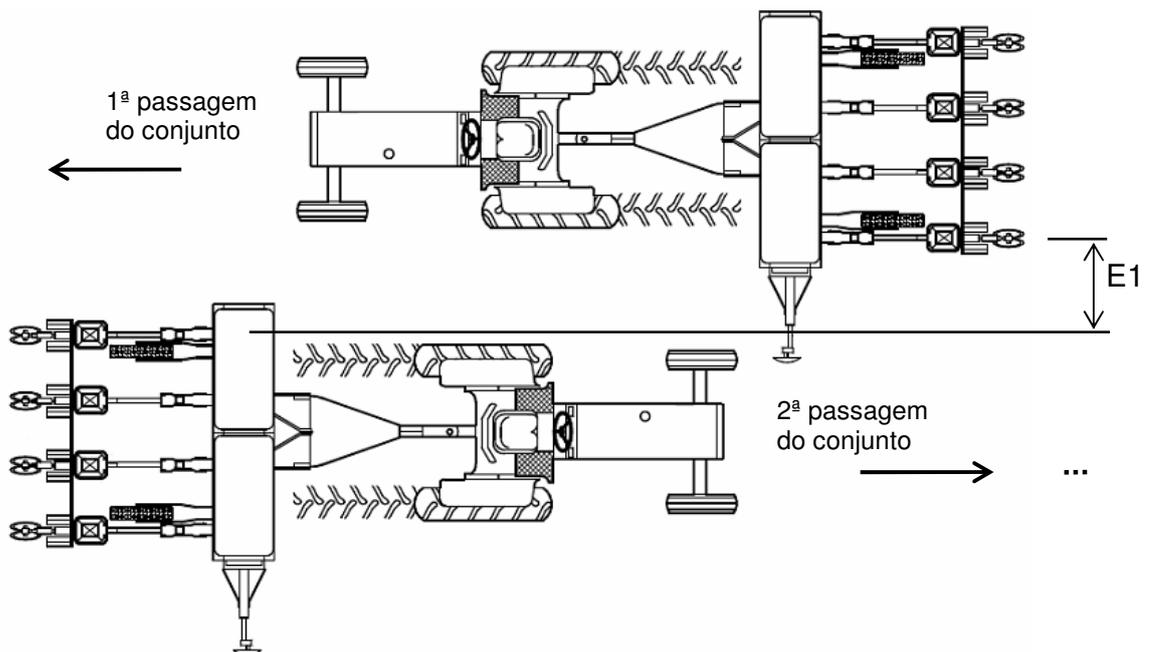
Considerando a regulagem do sistema de distribuição da semeadora para 20,5 sem m⁻¹, o espaçamento teórico entre sementes seria de 5 cm. Pela metodologia adotada, o espaçamento aceitável está entre 0,5 a 1,5 vez o espaçamento teórico. Assim, os espaçamentos medidos abaixo de 2,5 cm foram considerados como duplos e acima de 7,5 cm considerados falhos.

Para realizar a análise da distribuição longitudinal, as 96 parcelas da área experimental foram agrupadas em linhas de doze parcelas (DL1, DL2, DL3, ... DL8: Figura 1), considerando que estas parcelas representem uma fileira de semeadura.

7.2. Espaçamento entre fileiras

Os espaçamentos entre as fileiras de semeadura foram obtidos com uma trena, medindo-se a distância entre as duas fileiras mais próximas de um percurso e o subsequente, com doze repetições para cada par de fileiras em toda a área experimental.

Na área experimental foram medidos os espaçamentos entre 17 pares de fileiras, em função das passagens do conjunto trator-semeadora, durante a operação de semeadura do amendoim, que foram denominados de E1, E2, e assim sucessivamente até E17. O espaçamento teórico, utilizado na regulagem da semeadora, recomendado por Makimoto et al. (2003) foi de 90 centímetros entre fileiras.



Fonte: adaptado de TATU Marchesan (2004).

Figura 4. Esquema representativo das passagens do conjunto trator-semeadora

7.3. Número de dias para emergência

A avaliação do número médio de dias para emergência de plântulas de amendoim foi feita por meio de contagens diárias desde a primeira plântula emergida até a estabilização da contagem, em dois metros de uma fileira central de cada parcela e calculado de acordo com Edmond e Drapala (1958), equação 9.

$$NDE = \frac{\sum_{i=1}^n N_i \cdot G_i}{\sum_{i=1}^n G_i} \quad (9)$$

em que,

NDE = número médio de dias para emergência de plântulas;

N_i = número de dias decorridos entre a semeadura e a contagem i ;

G_i = número de plântulas emergidas entre as contagens i e $(i-1)$.

8. Controle estatístico de processo

Um processo sob controle demonstra somente variação aleatória, dentro dos limites de controle. Já um processo considerado fora de controle demonstra variação devido a causas especiais, não inerentes ao processo.

Para verificar a existência de causas de variação não inerentes ao processo de semeadura e também como indicadores de qualidade dessa operação, foram utilizadas cartas de controle para as variáveis: distribuição longitudinal, espaçamento entre fileiras e número de dias para emergência.

As cartas de controle para as médias das variáveis em cada ponto avaliado apresentam como linha central a média dos pontos e os limites inferior e superior de controle (LIC e LSC).

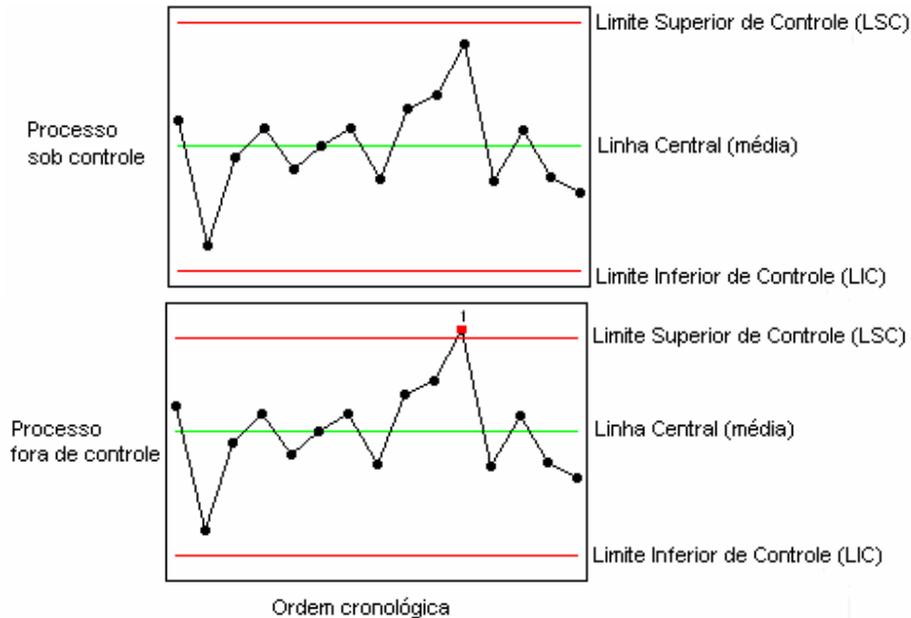


Figura 5. Estrutura das cartas de controle

O modelo de carta de controle selecionado para a distribuição longitudinal e espaçamento entre fileiras foi a Individual – Amplitude Móvel (I – MR), por representar as observações individuais em cada parcela, com a variação obtida pela amplitude calculada entre duas observações sucessivas, pressupondo que demonstre melhor a variação nestes casos, assim, evita-se utilizar médias dos dados, o que omitiria a real situação do processo.

Para o número de dias para emergência foi selecionada a carta de média dos subgrupos – desvio padrão ($\bar{X} - \bar{S}$), pois o gráfico das características é formado pelas médias das observações dos subgrupos, enquanto que a variação é obtida pelos desvios padrão, dentro de cada subgrupo. Neste caso, esta carta é recomendada para este parâmetro, calculado como descrito no item 7.3, visto que a utilização de médias não interferiria na avaliação dos resultados, que já são valores médios para cada parcela.

Estes modelos de carta de controle são utilizados para verificar conjuntamente se o processo e sua variação estão sob controle quando os dados são observações contínuas (variáveis).

Portanto, ambas as cartas contêm dois gráficos: o superior correspondendo aos valores medidos (características), e o inferior à variação existente no processo, que pode ser obtida por exemplo, pela amplitude ou pelo desvio padrão dos dados.

Para interpretar a carta de controle para dados variáveis, é necessário analisar primeiramente a carta para a variação, que deve estar sob controle, pois os limites de controle da primeira são calculados considerando ambas as variações do processo.

Quando a carta para a variação do processo está fora de controle, os limites para a carta das observações podem ser calculados erradamente, não apresentando confiabilidade para avaliação do processo. Neste caso, a falta de controle se deve mais à instabilidade do que às variações do processo. Diz-se então, que o processo está fora de controle devido à variação.

Se a carta de controle para a variação estiver sob controle, analisa-se a carta das características, e se essa demonstrar a instabilidade do processo, deve-se realizar mudanças no processo, para a obtenção da qualidade.

E, finalmente se ambas as cartas estiverem sob controle, o processo não necessita de investigações quanto à variação, pois apresenta somente variações devido a causas naturais.

8.1. Limites de controle

Os limites de controle permitem inferir se há variação dos dados devido a causas não controladas no processo (causas especiais), e são calculados com base no desvio padrão das variáveis, como demonstrado nas equações 10 e 11.

$$LSC = \bar{x} + 3 * \sigma \quad (10)$$

$$LIC = \bar{x} - 3 * \sigma \quad (11)$$

em que,

LSC: limite superior de controle;

LIC: limite inferior de controle;

\bar{x} : média da variável;

σ : desvio padrão.

Para detectar comportamentos não aleatórios (causas especiais) no processo, seguiu-se a referência utilizada pelo Automotive Industry Action Group (AIAG, formado por: Chrysler Corporation, Ford Motor Company e General Motors Company) citado em Minitab (2003), com base nos seguintes testes:

Teste 1: um ponto maior ou menor, respectivamente para a média mais ou menos três vezes o desvio padrão, ou seja, fora dos limites de controle;

Teste 2: sete pontos seqüenciais de um mesmo lado da linha central;

Teste 3: sete pontos seqüenciais, ascendentes ou descendentes.

Quando uma observação atende pelo menos um dos testes para causas especiais, o ponto é destacado na carta de controle, com o número do respectivo teste. Esse ponto é considerado como indicativo de que há variação não aleatória nos dados, variação devido a causas especiais, e tal variação deve ser investigada.

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

8.2. Limites especificados

Os limites especificados, também chamados de limites de engenharia, são parâmetros baseados em recomendações ou critérios agrícolas ou econômicos, contidos em bibliografia ou valores usuais, para as variáveis analisadas. Assim, foram definidos os limites para avaliar a qualidade da operação de semeadura da seguinte forma:

No caso da distribuição longitudinal, foi adotado como critério, os limites recomendados por Kurachi et al. (1989) de 0,5 e 1,5 vez o valor do espaçamento regulado, respectivamente para o limite inferior especificado (LIE) e limite superior especificado (LSE);

Para o espaçamento entre fileiras de semeadura, adotou-se tolerância de 10 cm, para mais ou para menos em relação ao espaçamento recomendado (90 cm), considerando que variações superiores a esta influenciariam no desenvolvimento da cultura;

Os limites para o número de dias para emergência foram estipulados entre 5 e 8 dias após a semeadura, conforme características da própria cultura, quando semeada em condições ideais (AGROBYTE, 2006).

Tabela 1. Limites especificados dos indicadores de qualidade

<i>Parâmetros</i>	<i>Distribuição Longitudinal (cm)</i>	<i>Espaçamento entre fileiras (m)</i>	<i>Dias para emergência</i>
Limite inferior especificado (LIE)	2,5	0,80	5
Meta	5,0	0,90	- -
Limite superior especificado (LSE)	7,5	1,00	8

9. Análise de capacidade do processo

Fundamentalmente, esta análise determina a capacidade do processo pela comparação da dispersão da variação do processo com a extensão dos limites especificados. Calcula, portanto, a razão entre a abrangência da variação do processo e a abrangência dos limites especificados, obtendo assim a habilidade do processo ser capaz de produzir resultados, produtos ou serviços dentro destes limites.

Além de apresentar distribuição de frequência normal ou normalizada, para se realizar a análise de capacidade do processo, os dados devem necessariamente estar

sob controle estatístico, pois a análise de capacidade de processo fora de controle pode apresentar resultados incorretos.

A análise de capacidade do processo é representada por um histograma, utilizado para verificar a normalidade dos dados e uma tabela de índices de capacidade, utilizados para calcular a quantidade de defeitos ou produtos fora das especificações que o processo poderá produzir, sem e com a remoção das causas não inerentes, quando houver.

Os limites especificados (LSE e LIE) e a meta a ser atingida são representados graficamente pelas linhas verticais no histograma de capacidade. Comparando o histograma com estas linhas, podem-se verificar a quantidade de observações próximas à meta e as observações que se encontram dentro dos limites especificados.

9.1. Índices de capacidade

Os índices de capacidade são uma maneira simples de avaliar a capacidade do processo. Como a informação sobre o processo é reduzida a um número, podem-se utilizar os índices de capacidade para comparar a capacidade entre processos.

Indicam a razão entre a abrangência da variação do processo e a abrangência dos limites especificados. São valores adimensionais, podendo ser usados para comparar a capacidade de diferentes processos.

Os índices C_p e C_{pk} são obtidos utilizando o desvio padrão do processo dentro dos subgrupos ($\sigma_{subgrupo}$), sendo um indicativo da variação dos subgrupos, calculados conforme as equações 12, 13, 14 e 15.

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6 \cdot \sigma_{subgrupo}} \quad (12)$$

$$C_{pk} = \text{mínimo}(C_{PI}, C_{PS}) \quad (13)$$

$$CPI = \frac{\bar{x} - LIE}{3 \cdot \sigma_{subgrupo}} \quad (14)$$

$$CPS = \frac{LSE - \bar{x}}{3 \cdot \sigma_{subgrupo}} \quad (15)$$

em que,

Cp = índice de capacidade potencial;

Cpk = índice de capacidade potencial mínimo;

CPI = índice de capacidade potencial em relação ao limite inferior especificado;

CPS = índice de capacidade potencial em relação ao limite superior especificado;

LSE = limite superior especificado;

LIE = limite inferior especificado;

$\sigma_{subgrupo}$ = desvio padrão dentro dos subgrupos;

\bar{x} = média da variável.

Os índices Pp e Ppk são obtidos utilizando o desvio padrão de todas as medições (σ_{geral}), indicando a variação geral do processo, utilizando as equações 16, 17, 18 e 19.

$$Pp = \frac{LSE - LIE}{6 \cdot \sigma_{geral}} \quad (16)$$

$$Ppk = \text{mínimo}(PPI, PPS) \quad (17)$$

$$PPI = \frac{\bar{x} - LIE}{3 \cdot \sigma_{geral}} \quad (18)$$

$$PPS = \frac{LSE - \bar{x}}{3 \cdot \sigma_{geral}} \quad (19)$$

em que,

Pp = índice de capacidade geral;

Ppk = índice de capacidade mínimo geral;

PPI = índice de capacidade geral em relação ao limite inferior especificado;

PPS = índice de capacidade geral em relação ao limite superior especificado;

LSE = limite superior especificado;

LIE = limite inferior especificado;

σ_{geral} = desvio padrão geral;

\bar{x} = média da variável.

O índice Cpm é a razão entre a amplitude dos limites especificados e a raiz quadrada do quadrado da média dos desvios em relação à meta. É obtido somente quando uma meta é atribuída à análise de capacidade, e baseado nos valores de LSE, LIE e da meta, conforme as equações 20 e 21.

$$C_{pm} = \frac{LSE - LIE}{6 \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - meta)^2}{n-1}}}; meta = \frac{(LSE - LIE)}{2} \quad (20)$$

$$C_{pm} = \frac{\text{mínimo}[(LSE - meta), (meta - LIE)]}{\frac{6}{2} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - meta)^2}{n-1}}}; meta \neq \frac{(LSE - LIE)}{2} \quad (21)$$

em que,

Cpm = Índice de capacidade em relação à meta;

LSE = limite superior especificado;

LIE = limite inferior especificado;

x_i = valor da variável na observação i;

n = número de observações.

Foi adotado para as avaliações índice de capacidade igual a 1,33 como referência, sendo o valor mínimo aceitável para predizer se o processo é capaz de produzir resultados satisfatórios. Se o índice obtido for maior, conseqüentemente o

processo produz resultados aceitáveis e é capaz de produzi-los dentro dos limites especificados (MINITAB, 2003).

Os índices Cpk e Ppk agregam informações sobre a média e os dois extremos do processo, sendo medida representativa do desempenho atual do processo, dentro dos subgrupos e geral, respectivamente. Consideram a localização da média do processo em relação aos limites especificados, enquanto os índices Cp e Pp não consideram.

Quando Cp e Cpk são aproximadamente iguais, então o processo é centrado entre os limites especificados. Se Cp for significativamente maior do que Cpk, o processo, não é centrado entre estes limites. A mesma interpretação é aplicada aos índices Pp e Ppk.

O índice Cpm somente é calculado quando é determinada uma meta. Este índice examina a abrangência do processo e a variação da média do processo em relação à meta, e a compara com a abrangência dos limites especificados. Quanto maior o valor de Cpm, mais capaz é o processo.

Quando os índices Pp, Ppk e Cpm são próximos, o processo é centrado na meta. Se estes índices forem maiores que o mínimo estabelecido, o processo também será capaz de produzir resultados dentro dos limites especificados.

Em resumo, a variação dentro do subgrupo corresponde à variação inerente ao processo, conforme definido no “Statistical Process Control Reference Manual” de autoria do AIAG, em Minitab (2003), enquanto que a variação geral corresponde à variação total do processo, ou seja, devido às causas inerentes (comuns ou aleatórias) e não inerentes (especiais) ao processo.

Destarte, Cp e Cpk refletem o potencial que o processo pode possuir em atender as especificações, se eliminadas as causas especiais de variação.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

1. Desempenho operacional e RMSD

1.1. Análise estatística descritiva

A estatística descritiva clássica dos dados de desempenho operacional (força de tração, velocidade, potência na barra de tração, capacidade de campo efetiva, consumos volumétrico, ponderal e específico de combustível, consumo de energia, e patinagem) e resistência mecânica do solo à penetração é apresentada na Tabela 2.

O teor de água médio do solo durante a semeadura foi de 0,24 kg kg⁻¹ na camada de 0-10 cm e de 0,22 kg kg⁻¹ para 10-20 cm.

Tabela 2. Estatística descritiva para as variáveis

Variável	Média	Mediana	Amplitude	Desvio padrão	Coeficientes			AD*
					variação (%)	assimetria	curtose	
FT (kN)	10,9	11,1	4,6	1,2	11,1	-0,38	-0,74	N
V (m s ⁻¹)	1,6	1,6	0,1	0,03	1,9	0,34	-1,19	A
P (kW)	17,7	18,0	7,0	1,9	10,6	-0,54	-0,70	A
CCe (ha h ⁻¹)	2,10	2,10	0,14	0,04	1,92	0,31	-1,24	A
C _{VOL} (dm ³ h ⁻¹)	10,3	10,2	2,1	0,5	4,9	0,24	-0,22	N
C _{POND} (kg h ⁻¹)	8,6	8,6	1,8	0,4	4,9	0,31	-0,18	N
C _{ESP} (g kWh ⁻¹)	492	495	238	58	11,8	0,35	-0,64	N
Ce (kWh ha ⁻¹)	8,43	8,58	3,49	0,92	10,96	-0,31	-0,82	N
pat (%)	12,9	12,9	5,0	1,1	8,9	-0,13	-0,83	N
RMSD (MPa)	2,48	2,45	4,00	0,98	39,62	0,21	-0,92	N

*Distribuição de frequência pelo teste de Anderson-Darling ($\alpha = 0,05$): N = normal; A = assimétrica.

Analisando os valores de média e mediana, percebe-se a proximidade destes parâmetros para cada variável. Quanto à distribuição de frequência, velocidade,

potência exigida e capacidade de campo efetiva não apresentaram distribuição do tipo normal, quando submetidas ao teste de Anderson-Darling.

Os valores de amplitude, desvio padrão da média e coeficiente de variação indicam a variabilidade dos dados existente em torno da média, e servem como medida desta variação. Os valores destes parâmetros para v , CCe , C_{VOL} e C_{POND} foram baixos, indicando que a maioria dos dados estiveram próximos à média. Para FT , P , C_{ESP} , Ce e pat a amplitude foi elevada, indicando alguns valores de extremo entre os dados, pois os coeficientes de variação destas foram moderados. Já a $RMSp$ apresentou elevados valores para estes três parâmetros, indicando alta variabilidade desse atributo.

Comparando os resultados aos relatados por Furlani et al. (2004a) para o preparo convencional em operação de semeadura, constata-se que estes são superiores para força de tração por fileira (2,7 kN em face de 2,2 kN encontrados por estes autores) e potência (4,4 versus 2,8 kW por fileira), porém inferiores para consumo de energia (8,43 contra 10,93 kWh ha⁻¹).

Da mesma maneira, o valor médio da força de tração por fileira é superior ao encontrado por Grotta et al. (2006b) e a potência requerida concorda com o exposto pelos autores, de 4,52 kW por fileira para semeadura em preparo convencional.

Quando confrontados com o exposto por Silva, A. R. B. et al. (2004) para o preparo convencional em semeadura de milho com espaçamento de 0,90 m, a força de tração e a potência por fileira de semeadura também foram superiores.

A média para C_{VOL} (10,3 L h⁻¹) foi próxima à relatada por Silva, A. R. B. et al. (2004) de 10,2 L h⁻¹ e também por Furlani et al. (2004a) de 11,4 L h⁻¹, ambos em semeadura em solo sob preparo convencional. Já quando comparada com Grotta et al. (2006a), nas mesmas condições, o consumo foi superior aos 5,4 L h⁻¹ encontrado pelos autores, o mesmo acontecendo quando comparada com o resultado de Cortez et al. (2006) que foi de 5,5 L h⁻¹, para semeadura de quatro fileiras em Latossolo sob preparo convencional a 6,0 km h⁻¹.

O C_{POND} apresentou média de 8,6 kg h⁻¹ que foi superior quando comparada à do experimento realizado por Grotta et al. (2006a) e de Cortez et al. (2006), de 4,5 kg h⁻¹ para ambos.

Para o C_{ESP} a média encontrada foi de 492 g kWh^{-1} , próximo ao encontrado por Furlani et al. (2005a) e superior ao relatado por Grotta et al. (2006a) e Cortez et al. (2006), também para preparo convencional.

A patinação dos rodados do trator obteve média de 12,9%, superior à relatada por Furlani et al. (2005a) que encontraram para semeadura em preparo convencional média de 4,3%, e próxima do relatado por Nagaoka et al. (2004) de 11,7% em solo preparado convencionalmente, atendendo ao recomendado pela ASAE (1989): de 11 a 13% de deslocamento relativo dos rodados em solos mobilizados.

Os teores médios de água no momento da avaliação da RMSP foram de: $0,20 \text{ kg kg}^{-1}$ para a camada de 0-10 cm; $0,22 \text{ kg kg}^{-1}$ para camada de 10-20 cm; $0,23 \text{ kg kg}^{-1}$ para 20-30 cm; e $0,25 \text{ kg kg}^{-1}$ para 30-40 cm. Próximos aos valores encontrados por Portella, L. M. (2005), para a mesma área.

A média para a variável RMSP, calculada para a profundidade de 0-20 cm foi de 2,48 MPa, abaixo da média encontrada por Portella, L. M. (2005) para a mesma camada, que foi de 4,7 MPa, porém, os coeficientes de variação foram próximos, 39,62% diante de 40,34% encontrado por esta autora, na mesma profundidade. Da mesma maneira, quando comparada com a média exposta por Reis, G. N. et al. (2006b), em Latossolo sob preparo convencional com duas gradagens, pesada e leve, esse valor foi inferior aos 3,88 MPa obtidos pelos autores. Por outro lado, quando comparados com os resultados de Costa, E. A. et al. (2006) estes valores foram superiores à média encontrada pelos autores na camada de 0-20 cm, que foi de 0,4 MPa para Latossolo sob preparo convencional.

A distribuição de frequência normal indica que o valor da média e da mediana estão próximos, e mesmo para as distribuições que foram assimétricas, estas duas medidas também estão próximas.

Entretanto, a normalidade da distribuição dos dados não é exigência da geoestatística (CRESSIE, 1991 *apud* CORÁ; BERALDO, 2006), mas somente sendo interessante que os valores de assimetria não sejam muito distantes de zero, ou que possam caracterizar alongamento caudal (WEBSTER, 1985 *apud* FREDDI et al., 2006).

Os coeficientes de assimetria e curtose demonstram o pouco afastamento dos dados em torno da média (valores próximos a zero), caracterizando as distribuições como normais.

Conforme afirmam Santos et al. (2005) citando Pimentel-Gomes (1984), a variabilidade de um atributo pode ser classificada pela magnitude do coeficiente de variação. Para as variáveis de desempenho operacional, os coeficientes de variação foram classificados como baixos (menores que 10%) e médios (entre 10 e 20%) segundo critérios estabelecidos por Pimentel-Gomes (2000), representando pouca variabilidade para essas variáveis.

Ainda segundo Pimentel-Gomes (2000), coeficiente de variação entre 20 e 30% é considerado alto, e acima de 30% muito alto. Para a RMSP, portanto, a variabilidade foi considerada muito alta em função do coeficiente de variação. Este fato pode ser atribuído ao sistema de preparo do solo adotado e seus efeitos, principalmente nas camadas superficiais, coincidindo com a profundidade de atuação dos equipamentos de preparo, que não ultrapassaram 20 cm.

1.2. Análise estatística espacial

Na Tabela 3 constam os parâmetros que definem os semivariogramas das variáveis de desempenho operacional e resistência mecânica do solo à penetração, apresentados nas Figuras 6 a 15.

Cardim e Cataneo (2005) explicam que o alcance da dependência espacial fornece informações sobre a distância em que os pontos amostrados estão parcialmente correlacionados. Ou seja, a distâncias iguais ao alcance existe dependência espacial, podendo ser estimados valores não amostrados dentro deste alcance para a variável. Conseqüentemente, pontos separados por distâncias superiores ao alcance, são considerados independentes entre si.

Tabela 3. Parâmetros dos semivariogramas ajustados às variáveis

Variável	Parâmetros						ADE C/(C ₀ +C)
	Modelo	C ₀	C ₀ +C	Alcance	R ²	SQR	
FT (kN)	Gauss	1,00x10 ⁻³	1,50	12,50	0,753	3,12x10 ⁻¹	0,999
v (m s ⁻¹)	Gauss	0,00	1,00x10 ⁻³	12,50	0,743	1,33x10 ⁻⁷	1,000
P (kW)	Gauss	1,00x10 ⁻²	3,62	12,90	0,844	1,13	0,997
CCe (ha h ⁻¹)	Gauss	0,00	1,68x10 ⁻³	12,60	0,737	3,86x10 ⁻⁷	1,000
C _{VOL} (dm ³ h ⁻¹)	Exp	3,81x10 ⁻²	2,67x10 ⁻¹	14,10	0,564	1,07x10 ⁻²	0,857
C _{POND} (kg h ⁻¹)	Exp	7,70x10 ⁻²	2,12x10 ⁻¹	35,90	0,641	5,48x10 ⁻³	0,637
C _{ESP} (g kWh ⁻¹)	Gauss	10,00	3,38x10 ³	11,40	0,604	2,18x10 ⁶	0,997
Ce (kWh ha ⁻¹)	Gauss	1,00x10 ⁻³	8,74x10 ⁻¹	12,60	0,768	9,88x10 ⁻²	0,999
pat (%)	Esf	1,80x10 ⁻²	1,28	15,70	0,534	4,71x10 ⁻²	0,986
RMSP (MPa)	Esf	4,30x10 ⁻²	9,65x10 ⁻¹	19,10	0,328	1,41x10 ⁻¹	0,955

C₀: efeito pepita; C₀+C: patamar; R²: coeficiente de determinação; SQR: soma de quadrados do resíduo; ADE: avaliador da dependência espacial; Gauss: Gaussiano; Exp: Exponencial; Esf: Esférico.

As variáveis de desempenho operacional apresentaram alcance próximo a 13 m, exceto para o consumo ponderal de combustível, que apresentou alcance superior a 35 m.

A maior homogeneidade entre valores distantes para o consumo ponderal, relatada pelo maior alcance, apesar da dependência espacial moderada, pode ser explicada pelo fato do cálculo desta variável considerar a densidade do combustível, que é menor quanto maior a temperatura, sendo essa, diretamente proporcional à potência disponibilizada pelo motor. Assim, quanto maior a potência exigida, maior será a temperatura do combustível e menor a densidade.

A RMSP apresentou alcance de aproximadamente 19 m, representando que, a distâncias menores que o alcance os valores de RMSP podem ser interpolados sem prejudicar a estimativa. Portella, L. M. (2005) encontrou, para a camada de 0-10 cm, alcance de 46,6 m, e para 10-20 cm, de 19,0 m, na mesma área, sendo que o maior valor encontrado para a camada superficial, foi justificado pelo maior efeito do tráfego de máquinas, entre outros fatores.

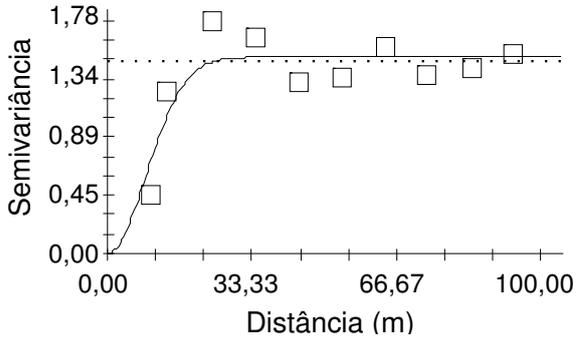


Figura 6. Semivariograma para força de tração (FT)

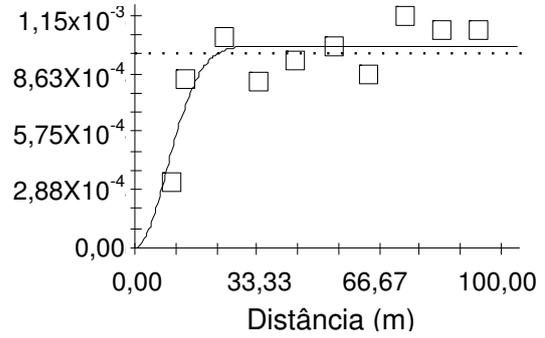


Figura 7. Semivariograma para velocidade de deslocamento (v)

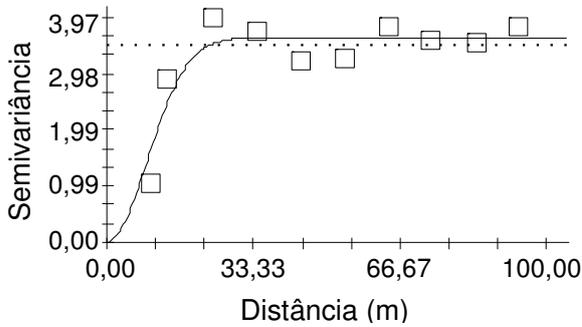


Figura 8. Semivariograma para potência na barra de tração (P)

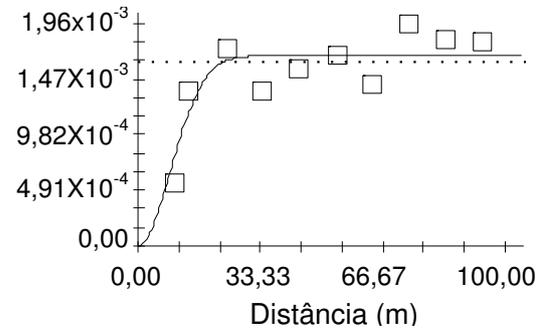


Figura 9. Semivariograma para capacidade de campo efetiva (CCe)

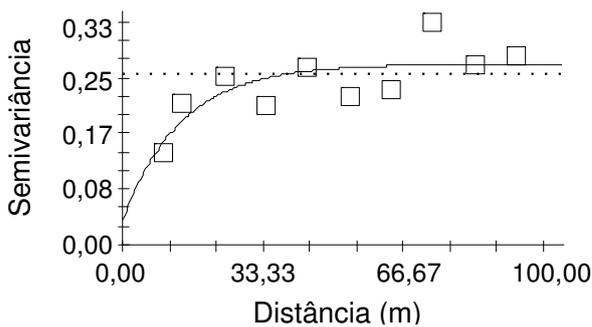


Figura 10. Semivariograma para consumo volumétrico (C_{VOL})

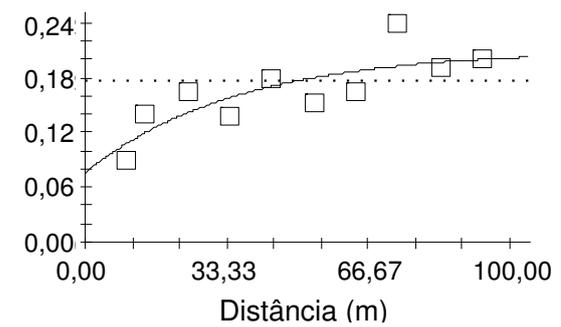


Figura 11. Semivariograma para consumo ponderal (C_{POND})

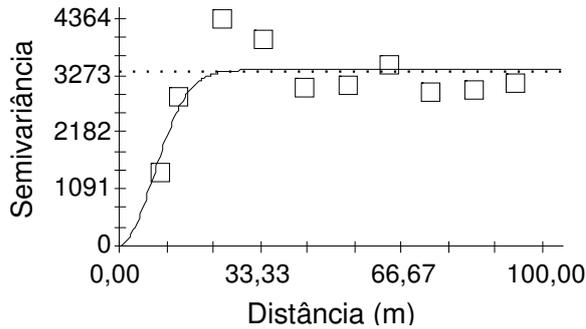


Figura 12. Semivariograma para consumo específico (C_{ESP})

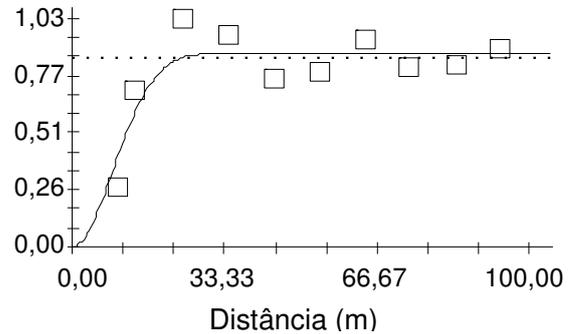


Figura 13. Semivariograma para consumo de energia (C_e)

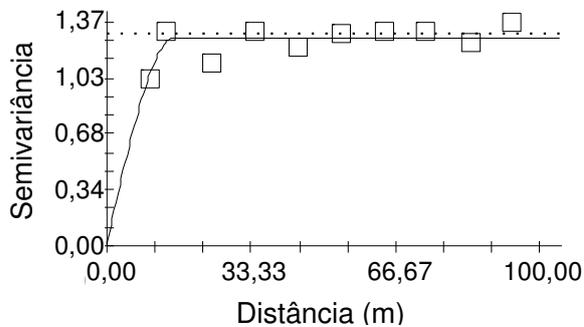


Figura 14. Semivariograma para patinação (pat)

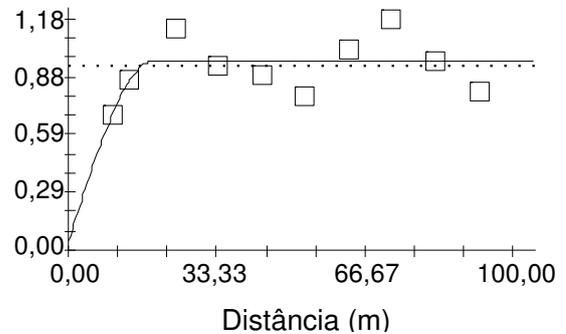


Figura 15. Semivariograma para resistência mecânica do solo à penetração (RMSP)

Pela análise geoestatística, todas variáveis apresentaram dependência espacial forte, considerando o avaliador de dependência espacial (ADE), exceto para a variável C_{POND} que demonstrou dependência moderada. Este parâmetro mostra a importância de realizar a caracterização espacial das variáveis, devido à dependência existente no espaço, conseguindo-se assim a representação visual de cada atributo. Assim, foi evidenciado que a distribuição destas não é aleatória no espaço.

Os efeitos pepita para as variáveis de desempenho operacional (FT, v, P, C_{Ce}, Ce e pat) não ultrapassaram 2% da variação total, representando que a maior parte da variação destes atributos é explicada pela dependência espacial, como explicado pelos valores de ADE próximos a 1,000. Entretanto, para C_{VOL} e C_{POND} o efeito pepita representou, respectivamente, 14 e 36% da variação, indicando menor dependência

espacial destas. Já para RMSP o efeito pepita representou 4,5% da variação total, sendo o restante da variação explicado pela dependência espacial. Para as variáveis que apresentaram alto valor de ADE, principalmente as relacionadas com o desempenho operacional do conjunto mecanizado, este comportamento pode se explicado pelo bom funcionamento e precisão dos sensores de medição utilizados.

Nas Figuras 16 a 25 estão representados os mapas de interpolação dos atributos, obtidos via krigagem ordinária dos dados, que possibilitam a visualização da dependência espacial das variáveis de desempenho operacional e da resistência mecânica à penetração do solo.

Os mapas das variáveis de desempenho operacional (FT, P, Cesp e Ce) demonstram visualmente, divisão em três grandes regiões longitudinais, coincidentes com o sentido de deslocamento do conjunto trator-semeadora, correspondendo geograficamente a três terraços, existentes na área experimental. Nota-se ainda, na região central dos mapas (terraço central), que os valores para força de tração (FT), potência requerida (P) e consumo de energia (Ce) foram menores, e mais elevados nas regiões de extremo, demonstrando que estas variáveis apresentaram correlação positiva.

Na região central da área experimental, a força de tração apresenta valores entre 8,5 e 10 kN, e nas outras faixas, valores predominantemente superiores a 11,5 kN, obtendo valores médios de 2,7 kN por fileira de semeadura. A potência requerida na barra de tração apresentou comportamento similar, visto que a velocidade foi constante, com valores abaixo de 14 kW para a região central, e acima de 18 kW para 62% da área de estudo e média de 4,4 kW por fileira. Da mesma maneira, a distribuição espacial do consumo de energia (Ce), foi inferior a 8,5 kWh ha⁻¹ na região central, chegando a no máximo 10 kWh ha⁻¹ nas áreas restantes.

A velocidade de deslocamento e a capacidade de campo efetiva demonstraram comportamento homogêneo, ou seja, com baixa variabilidade, indicada pelos baixos coeficientes de variação, 1,90 e 1,92%, respectivamente. Para a velocidade, os valores encontrados ficaram entre 1,57 e 1,67 m s⁻¹ (5,7 e 6,0 km h⁻¹), enquanto que a CCE obteve valores de 2,03 ha h⁻¹, não ultrapassando 2,20 ha h⁻¹.

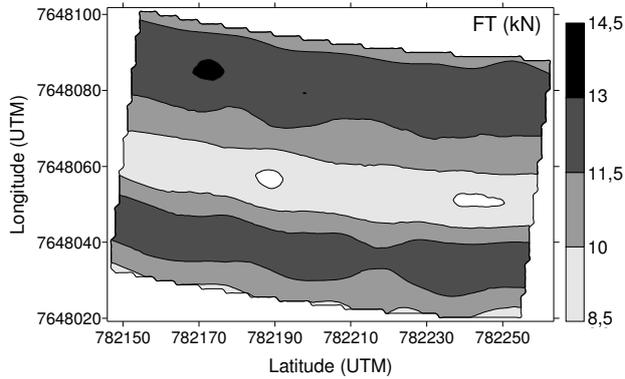


Figura 16. Mapa de isolinhas para força de tração (kN)

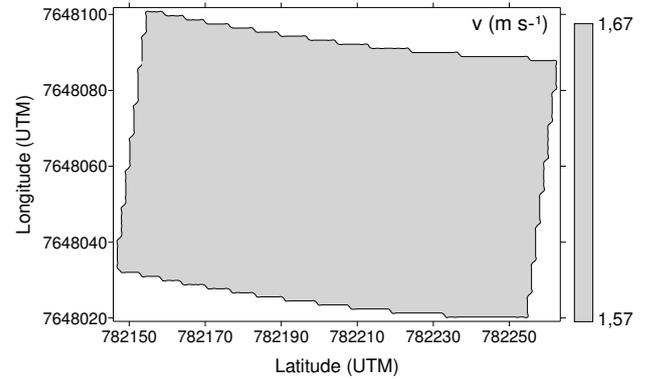


Figura 17. Mapa de isolinhas para velocidade de deslocamento (m s^{-1})

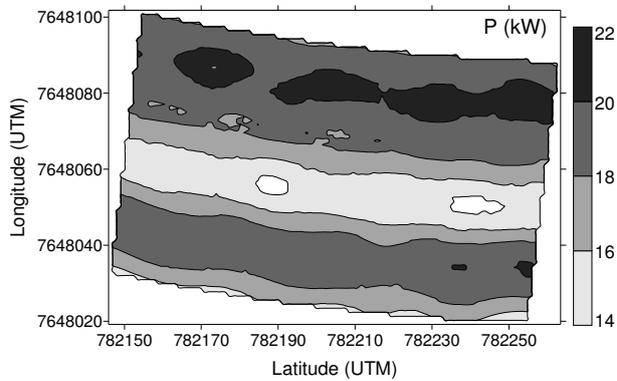


Figura 18. Mapa de isolinhas para potência na barra de tração (kW)

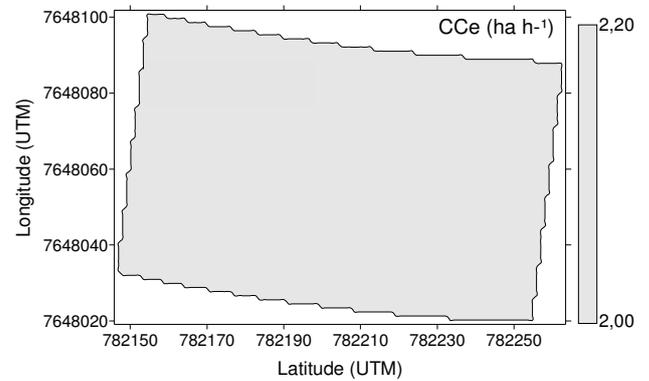


Figura 19. Mapa de isolinhas para capacidade de campo efetiva (ha h^{-1})

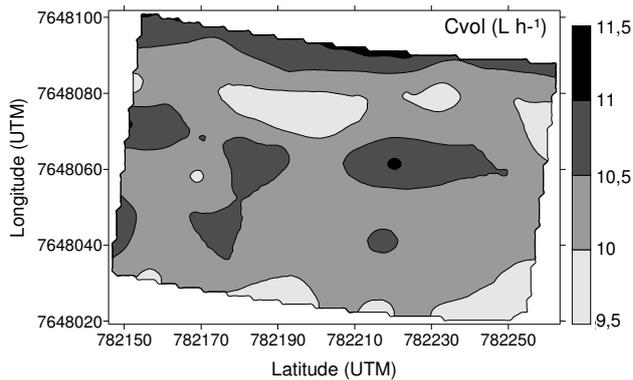


Figura 20. Mapa de isolinhas para consumo volumétrico (L h^{-1})

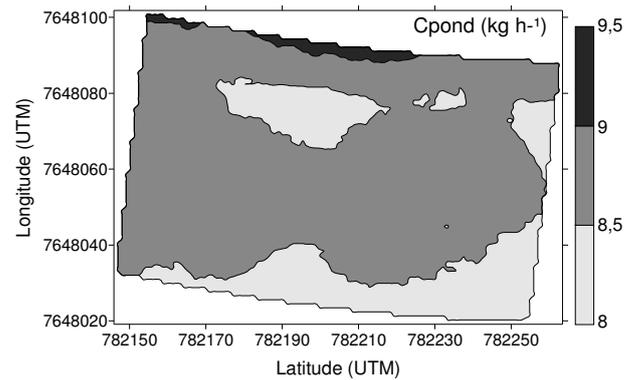


Figura 21. Mapa de isolinhas para consumo ponderal (kg h^{-1})

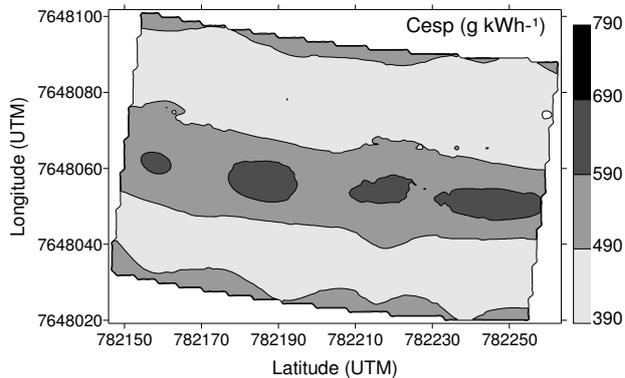


Figura 22. Mapa de isolinhas para consumo específico (g kWh^{-1})

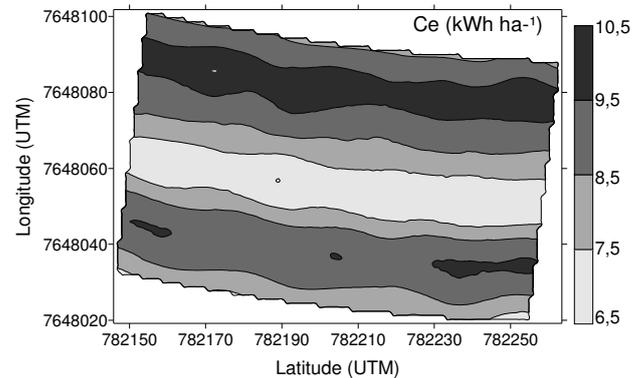


Figura 23. Mapa de isolinhas para consumo de energia (kWh ha^{-1})

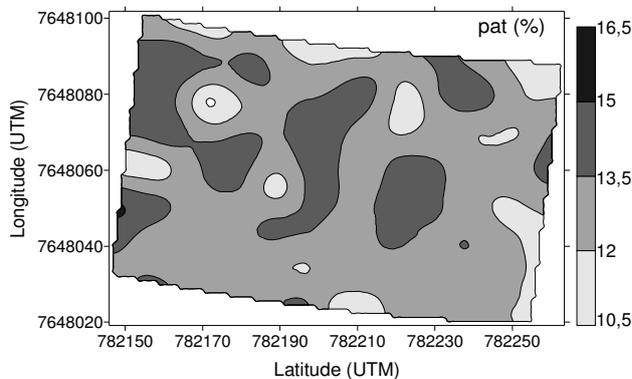


Figura 24. Mapa de isolinhas para patinação (%)

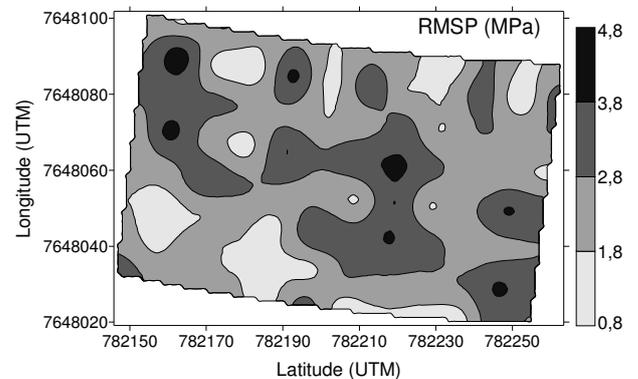


Figura 25. Mapa de isolinhas para RMSP (MPa)

O consumo de combustível, tanto volumétrico (C_{VOL}) como ponderal (C_{POND}), demonstraram pouca variação, sendo que em 47% da área o consumo volumétrico ficou entre 10 e $10,5 \text{ L h}^{-1}$, e o consumo ponderal ficou entre 8,0 e $9,0 \text{ kg h}^{-1}$ para praticamente toda a área.

O consumo específico de combustível (C_{ESP}) apresentou correlação negativa com a força de tração, potência e consumo de energia, indicando que houve melhor aproveitamento da energia fornecida pelo combustível ao motor, nas situações onde a força requerida na barra de tração foi mais elevada (acima de 11,5 kN). Percebe-se para esta variável que os valores mais elevados foram obtidos na região central da área experimental.

Este fato significa que, para gerar a mesma quantidade de energia, demandou-se menor quantidade de combustível nas situações onde a FT foi mais elevada, correspondendo em melhor aproveitamento do combustível disponibilizado ao motor, ou seja, maior rendimento operacional.

A patinação dos rodados motrizes não demonstrou comportamento espacial definido, não exercendo influência aparente sobre as variáveis de desempenho. Os valores encontrados para patinação variaram entre 10,5 e 13,5% para 66% da área em estudo, dentro dos valores preconizados para solos mobilizados pela ASAE (1989).

Os mapas permitiram constatar que a variabilidade espacial dos atributos de desempenho operacional segue padrão definido em função da direção de deslocamento, sendo essa variabilidade depende mais desta do que do acaso, relatada pelos valores de ADE.

A resistência mecânica do solo à penetração (RMSP), avaliada na camada 0-20 cm, não demonstrou interferência sobre o desempenho operacional do conjunto trator-semeadora, com 34% dos valores variando entre 1,8 e 2,8 MPa, e 38% acima de 2,8 MPa, inferiores ao exposto por Portella, L. M. (2005) em que a maior parte da área de estudo apresentou valores entre 3,1 e 4,0 MPa para 0-10 cm e de 3,8 a 5,2 MPa para a camada de 10-20 cm.

Os resultados obtidos para as variáveis de desempenho operacional (principalmente FT, P, Ce e C_{ESP}), para o terraço central em relação às outras regiões da área experimental, indicam que houve diferença no desempenho, quando esse foi analisado espacialmente. Portanto, a análise da dependência espacial para operações agrícolas com a utilização de mapas de atributos, é uma forma de verificar diferentes situações em área previamente considerada homogênea, tornando-se possível realizar a inferência sobre a operação de forma a otimizá-la.

2. Indicadores de qualidade

2.1. Análise estatística descritiva

Os parâmetros considerados como indicadores de qualidade da operação de semeadura do amendoim, foram submetidos à análise estatística descritiva, para demonstrar o comportamento geral dos dados. Para distribuição longitudinal (DL) a estatística descritiva é apresentada na Tabela 4, para espaçamento entre fileiras visualizada na Tabela 6, e para número médio de dias para emergência na Tabela 7.

Tabela 4. Estatística descritiva para distribuição longitudinal (cm)

Variável	N°	Média	Mediana	Amplitude	Desvio padrão	Coeficientes			AD*
						variação (%)	assimetria	curtose	
DL	2 837	6,6	6,0	48,0	4,7	70,8	1,62	5,61	A
DL1	298	7,8	7,0	48,0	6,0	76,0	2,06	8,20	A
DL2	362	6,5	6,0	38,0	4,6	70,4	1,94	8,15	A
DL3	366	6,4	5,0	29,0	4,5	69,5	1,38	3,08	A
DL4	366	6,5	6,0	31,0	4,5	69,5	1,41	4,06	A
DL5	336	6,9	6,0	28,0	4,7	68,1	1,11	1,79	A
DL6	340	7,0	6,0	34,0	4,7	66,9	1,45	4,31	A
DL7	372	6,4	5,5	27,0	4,4	68,8	1,32	2,79	A
DL8	397	6,0	6,0	28,0	4,3	71,6	1,36	3,24	A

*Distribuição de frequência pelo teste de Anderson-Darling ($\alpha=0,05$): N = normal; A = assimétrica.
N° = número de observações.

Os valores da média para distribuição longitudinal foram superiores aos valores encontrados para a mediana, indicando que há maior quantidade de valores elevados, ou ainda valores muito elevados. A alta amplitude e o desvio padrão encontrados demonstram esse comportamento, mostrando que há grande variação entre os valores observados. Os coeficientes de variação, classificados como muito altos também demonstram a alta variabilidade dos dados.

O índice de assimetria é quem representa este comportamento, determinado pela média e mediana (também se inclui a moda), indicando que a distribuição de freqüência destas variáveis apresentam assimetria negativa (média maior que a mediana).

Os índices de curtose maiores que zero caracterizam a distribuição como leptocúrtica, ou seja, dados mais concentrados em torno da moda.

Assim, a curva de freqüência para distribuição longitudinal foi assimétrica pelo teste de normalidade de Anderson-Darling, ao nível de 5% de probabilidade.

A Tabela 5 apresenta as percentagens de distribuição longitudinal classificadas em espaçamentos duplos ($x < 2,5$ cm), normais ($2,5 < x < 7,5$ cm) e falhos ($x > 7,5$ cm), para os oito grupos de doze parcelas da área experimental e também a média geral.

Tabela 5. Classificação da distribuição longitudinal em espaçamentos normais, falhos e duplos (%)

<i>Classificação</i>	DL1	DL2	DL3	DL4	DL5	DL6	DL7	DL8	DL (total)
<i>Normais</i>	40,8	49,9	49,3	46,3	44,9	44,9	47,1	47,7	46,4
<i>Falhos</i>	44,9	33,3	33,2	35,1	38,1	38,5	34,6	31,2	36,1
<i>Duplos</i>	14,3	16,8	17,5	18,6	17,0	16,6	18,3	21,1	17,5

Os espaçamentos normais representaram 46,4% dos espaçamentos avaliados em toda a área, enquanto que em 36,1% foram superiores a 7,5 cm de espaçamento, e a menor percentagem foi obtida para os espaçamentos duplos, menores que 2,5 cm. Em comparação aos resultados obtidos por Silveira et al. (2004), estes dados corroboram com o que estes encontraram: 17% de espaçamentos duplos, 50% normais e 33% falhos, em semeadura em Latossolo, utilizando mecanismo dosador de sementes pneumático e sulcador do tipo discos duplos para sementes e adubo. Souza (2005) relatou 27% de espaçamentos duplos e 24,7% falhos, concluindo que estes resultados comprometeriam a produção, ressaltando a necessidade de melhorias ao processo de semeadura.

A maior quantidade de espaçamentos falhos (44,9%) foi observada para as parcelas DL1, que correspondem à primeira passagem do conjunto trator-semeadora, e apresentando conseqüentemente, as menores percentagens para espaçamentos duplos (14,3%) e normais (40,8%).

Tabela 6. Estatística descritiva para espaçamento entre fileiras (m)

Variável	Média	Mediana	Amplitude	Desvio padrão	Coeficientes			AD*
					variação (%)	assimetria	curtose	
E	0,98	0,96	0,42	0,09	9,33	0,59	-0,27	A
E1	1,13	1,13	0,17	0,05	4,39	-0,34	-0,10	N
E2	0,93	0,91	0,17	0,05	4,91	0,95	1,36	A
E3	0,95	0,94	0,14	0,04	4,66	0,76	-0,20	N
E4	0,89	0,90	0,17	0,05	5,55	-0,25	-0,16	N
E5	0,97	0,98	0,13	0,04	4,34	-0,23	-1,19	N
E6	1,03	1,04	0,11	0,04	4,03	-0,15	-1,97	A
E7	0,98	0,97	0,14	0,04	4,49	0,93	0,24	N
E8	0,88	0,88	0,15	0,05	5,15	-0,22	-0,69	N
E9	0,96	0,96	0,15	0,04	4,43	1,07	1,39	N
E10	1,13	1,13	0,20	0,06	5,22	-0,15	-0,29	N
E11	1,09	1,10	0,12	0,04	3,82	0,30	-1,29	N
E12	0,90	0,91	0,12	0,04	4,36	0,25	-0,91	N
E13	0,94	0,95	0,16	0,05	5,41	-0,67	-0,46	N
E14	0,91	0,90	0,11	0,03	3,54	-0,04	0,00	N
E15	0,93	0,92	0,22	0,08	8,09	0,50	-0,86	N
E16	1,00	0,99	0,25	0,08	7,60	0,12	-0,71	N
E17	0,99	0,98	0,23	0,07	7,05	0,57	-0,42	N

*Distribuição de freqüência pelo teste de Anderson-Darling ($\alpha = 0,05$): N = normal; A = assimétrica.

Para o espaçamento entre fileiras de semeadura de duas passagens subseqüentes (E) considerando as 204 medições em toda área experimental, a média foi 0,98 m, acima do espaçamento utilizado de 0,90 m. A amplitude dos valores foi elevada (0,42 m), chegando a quase metade do espaçamento recomendado de 0,90 m, contudo, o coeficiente de variação foi baixo. Pelo teste de Anderson-Darling a distribuição de freqüências não seguiu distribuição normal.

Valores médios de espaçamento entre fileiras acima do recomendado, como por exemplo para E1 e E10, que foram os casos de máximo extremo, acarretariam em

redução de 5% no estande final, significando que, em área de 100 hectares, cinco deles não estariam sendo efetivamente ocupados pela cultura, devido somente ao espaçamento entre fileiras de duas passagens subseqüentes do conjunto, o que poderia afetar drasticamente a produção da cultura.

Contudo, o espaçamento entre fileiras demonstrou distribuição normal para praticamente todas variáveis, excetuando-se E2 e E6, pois, apresentaram média e mediana muito próximas, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação baixos e índices de assimetria e curtose próximos a zero, caracterizando a distribuição normal.

Para E2 o coeficiente de assimetria de 0,95 e o de curtose de 1,36 demonstram que a distribuição desses dados apresenta obliquidade negativa e uma curva levemente leptocúrtica, tornando-a assimétrica. Já E6 apresentou coeficiente de assimetria próximo a zero (-0,15), porém o coeficiente de curtose (-1,97) representou que esta distribuição é platicúrtica.

Tabela 7. Estatística descritiva para número de dias para emergência

<i>Variável</i>	<i>Média</i>	<i>Mediana</i>	<i>Amplitude</i>	<i>Desvio padrão</i>	<i>Coeficientes</i>			<i>AD*</i>
					<i>variação (%)</i>	<i>assimetria</i>	<i>curtose</i>	
NDE	7,03	7,00	1,10	0,21	3,04	-0,16	0,31	N

*Distribuição de freqüência pelo teste de Anderson-Darling ($\alpha=0,01$): N = normal; A = assimétrica.

A média e a mediana para o número de dias após a semeadura para emergência de plântulas foram muito próximas, praticamente de 7 dias, e a variação dos dados classificada como baixa, relatada pelo coeficiente de variação. O teste de normalidade de Anderson-Darling indicou que o processo segue distribuição normal, ao nível de 1% de significância.

Estes resultados demonstram que ocorreu uniformidade na fase de germinação e emergência do amendoim em toda área experimental, com média dentro do relatado em Agrobayte (2006) que cita emergência entre 5 e 8 dias, para condições normais de semeadura.

2.2. Controle estatístico de processo

Nas Figuras 26 a 33 são apresentadas as cartas de controle para distribuição longitudinal de sementes, separadas para os oito conjuntos de doze parcelas da área experimental.

A investigação da variabilidade do processo dada pelas cartas de controle demonstrou que o processo de distribuição longitudinal de sementes não é estável, ou seja, fora de controle estatístico.

Um processo instável apresenta além da variação devido a causas comuns, inerentes a todo processo, as causas especiais, as quais devem ser monitoradas e corrigidas para garantir a estabilidade.

Causas comuns são atribuídas a fatores não controláveis e indicam o potencial do processo, ou seja, da tecnologia que possui. Causas especiais são consideradas como a que geram variabilidade devido a fatores como mão-de-obra, meio ambiente, máquina, método, medição e matéria-prima, o chamado "6 Ms".

Assim, as causas especiais em operações agrícolas podem estar ligadas a diversos fatores, neste caso, podemos citar: regulagem incorreta dos equipamentos, experiência do operador, diferenças nas condições do solo, variações na velocidade de deslocamento, ataque de pragas, entre outros. Identificar exatamente quais são estas causas e realizar melhorias no processo é um dos objetivos do CEP.

Nos gráficos apresentados para distribuição longitudinal percebe-se grande quantidade de pontos fora dos limites de controle, tanto no gráfico de amplitude, que avalia a variação do processo, como no de valores individuais, demonstrando que há alta variabilidade entre os pontos.

Entretanto, a maioria das médias permaneceu dentro dos limites propostos por Kurachi et al. (1989) que definiram os limites especificados selecionados para a distribuição longitudinal neste estudo. Investigar, apontar e corrigir os fatores que tornaram o processo fora de controle é essencial para a melhoria da qualidade da operação.

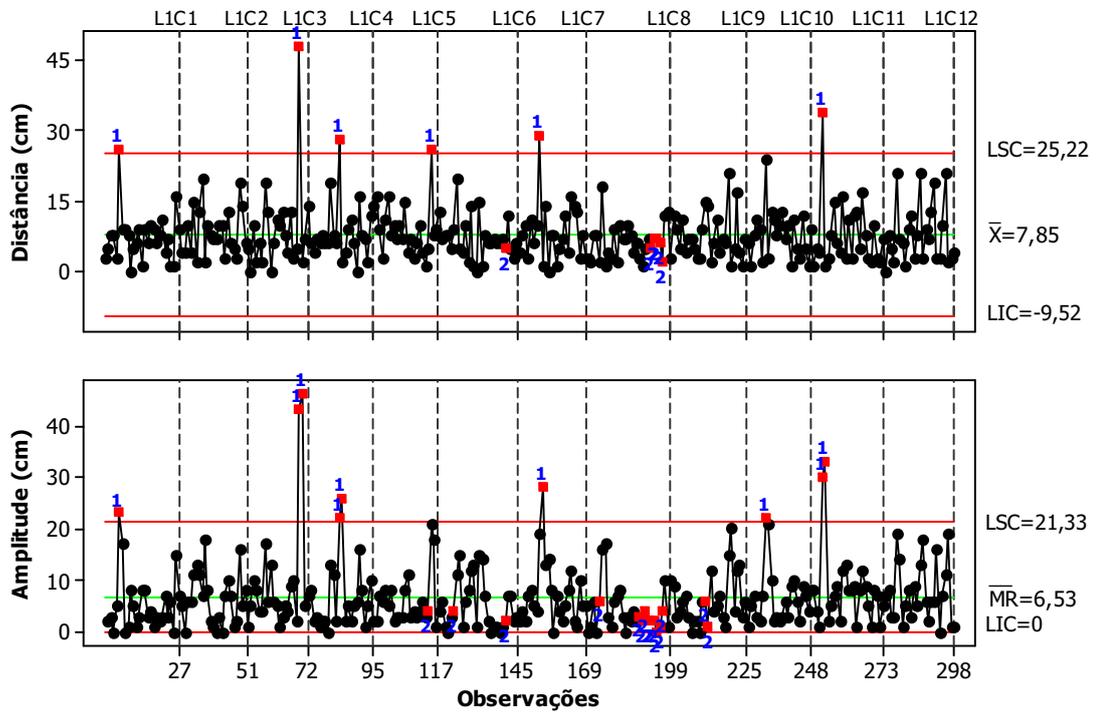


Figura 26. Carta de controle para distribuição longitudinal nas parcelas DL1

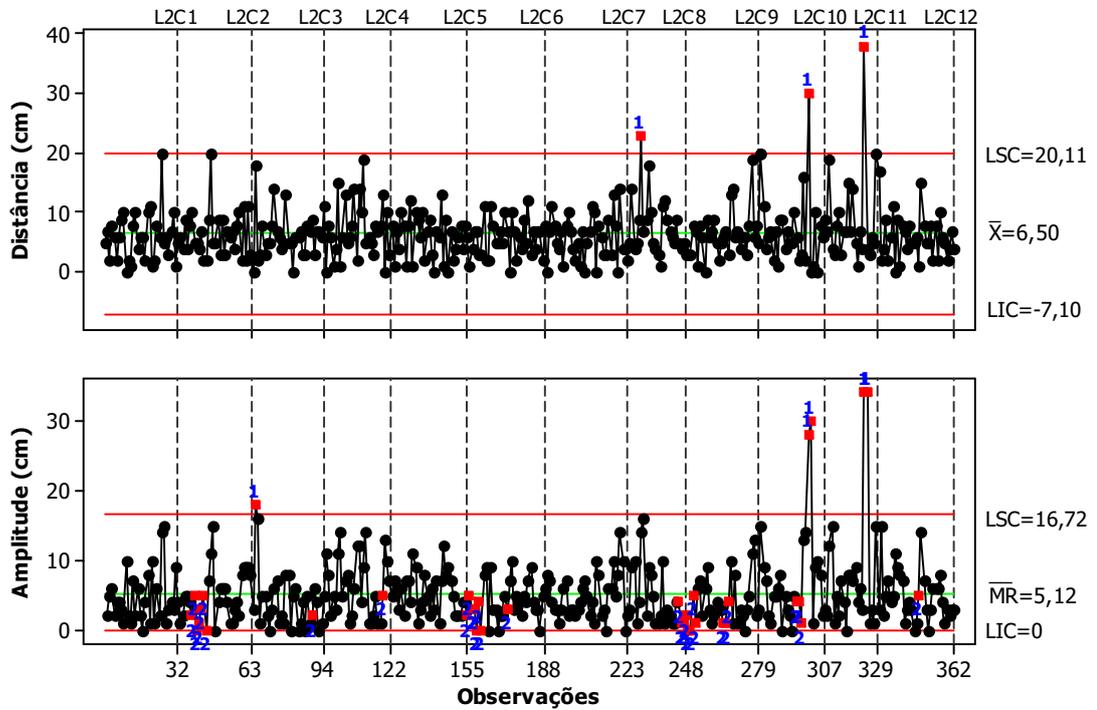


Figura 27. Carta de controle para distribuição longitudinal nas parcelas DL2

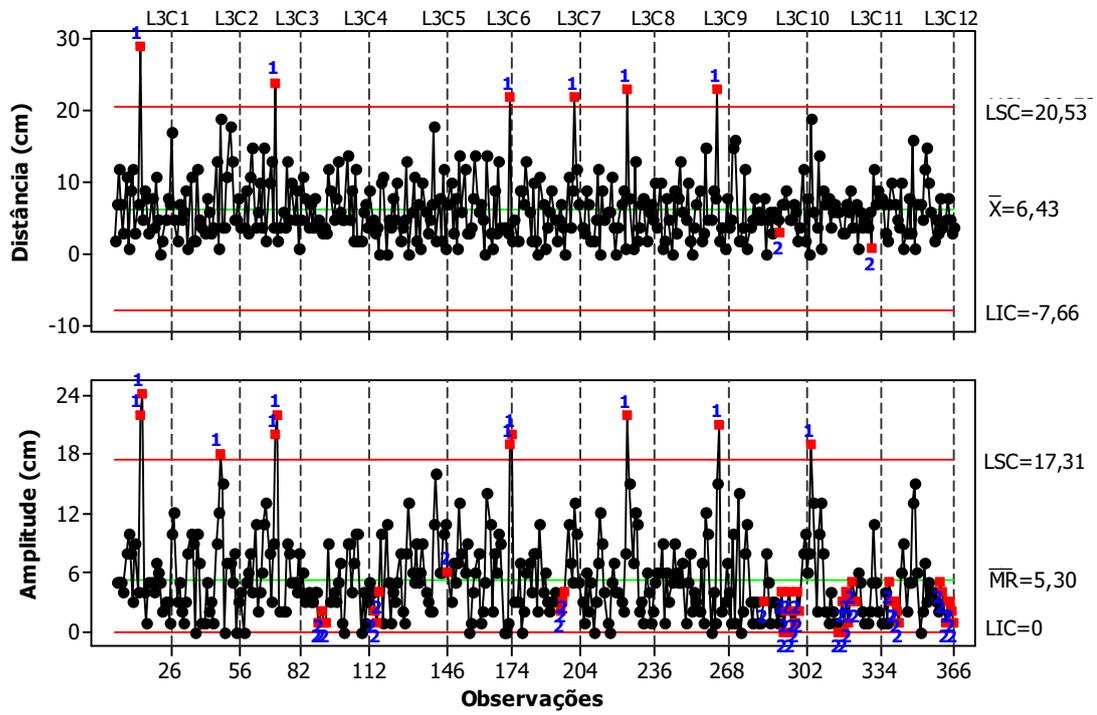


Figura 28. Carta de controle para distribuição longitudinal nas parcelas DL3

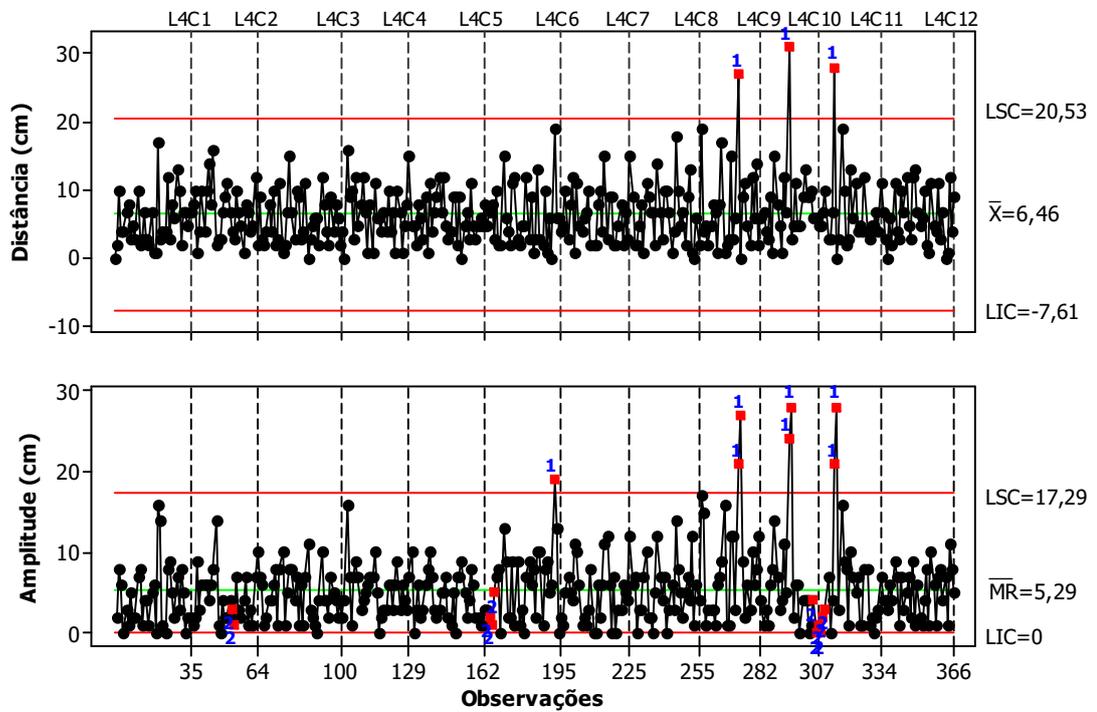


Figura 29. Carta de controle para distribuição longitudinal nas parcelas DL4

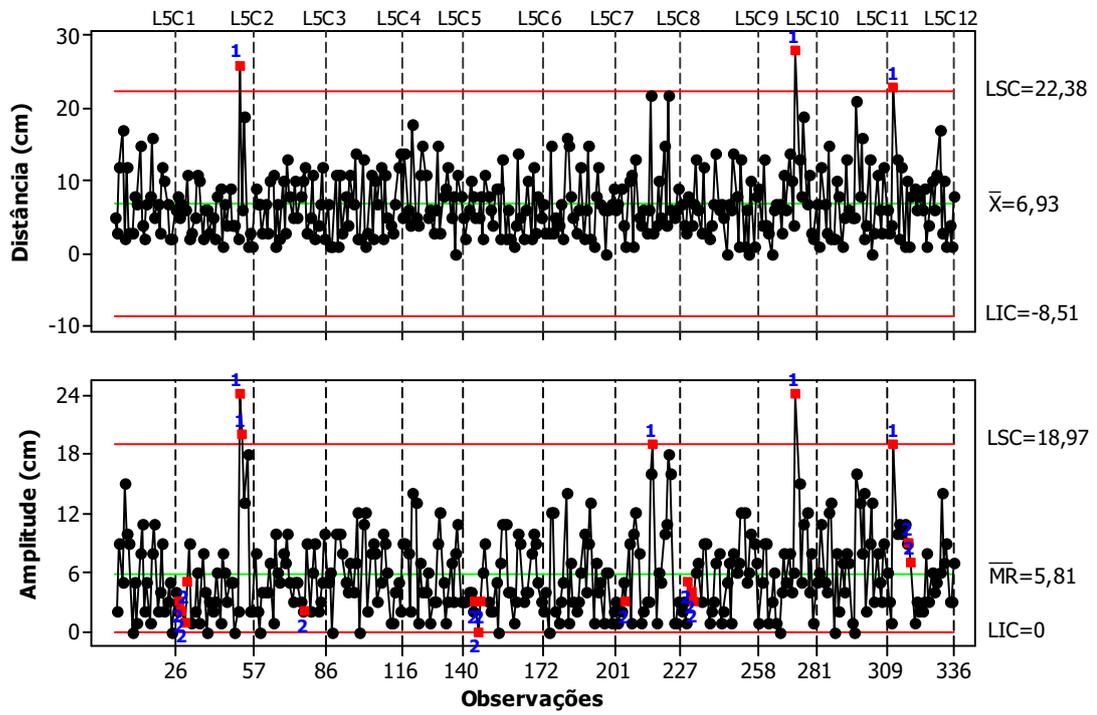


Figura 30. Carta de controle para distribuição longitudinal nas parcelas DL5

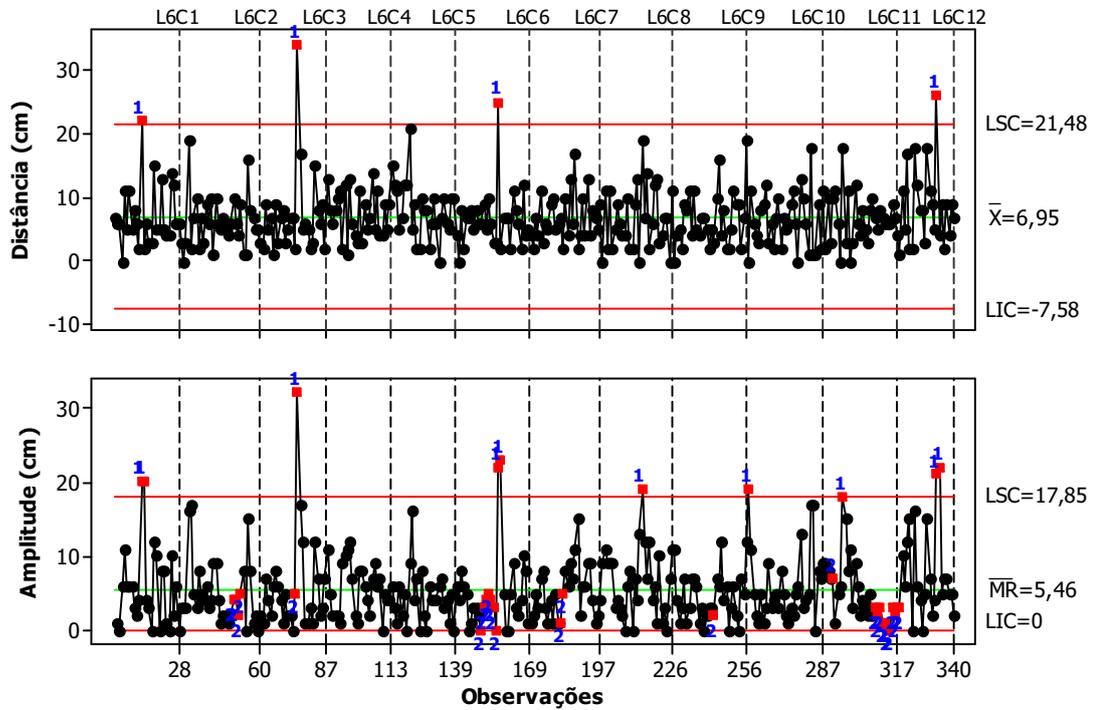


Figura 31. Carta de controle para distribuição longitudinal nas parcelas DL6

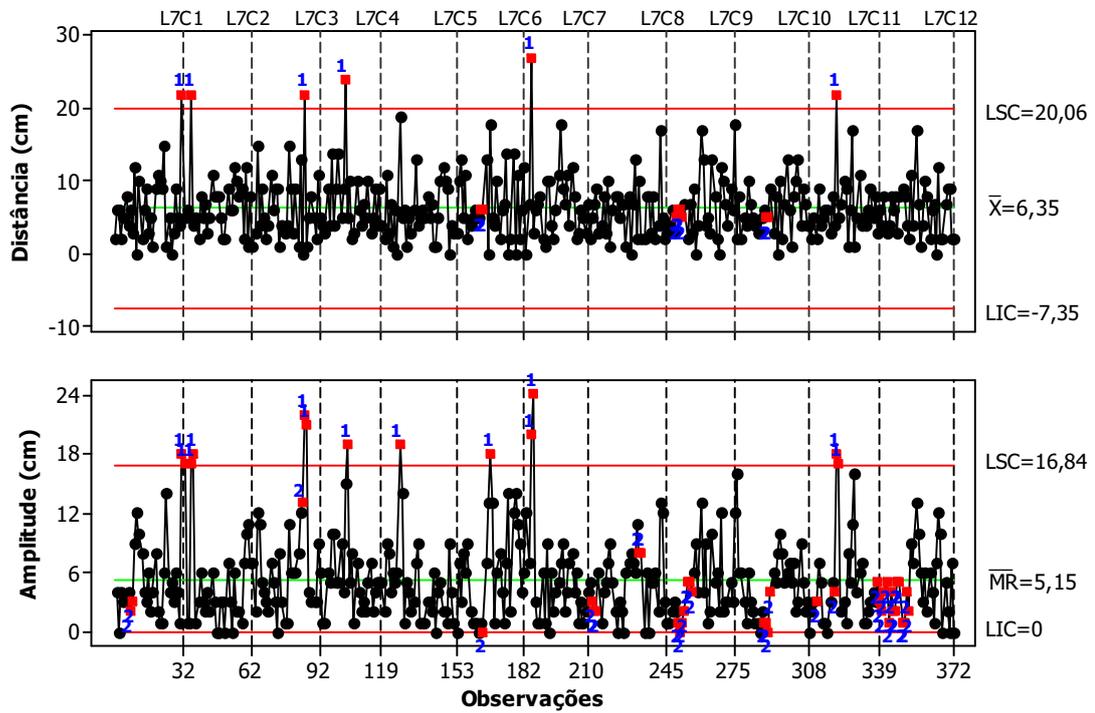


Figura 32. Carta de controle para distribuição longitudinal nas parcelas DL7

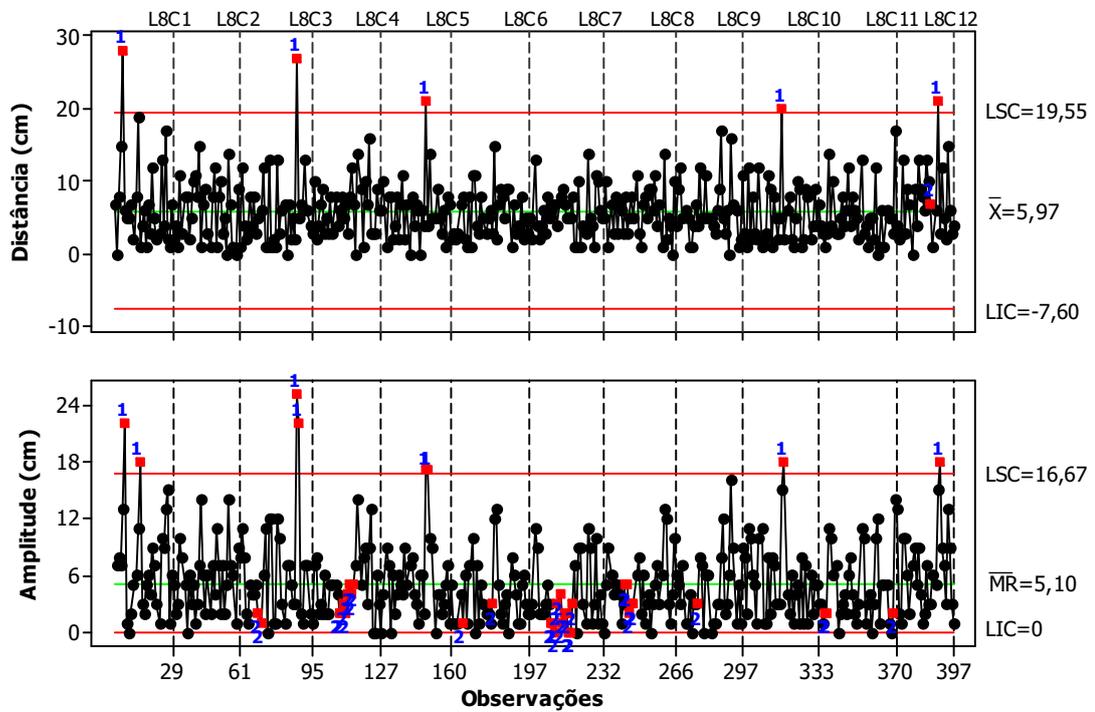


Figura 33. Carta de controle para distribuição longitudinal nas parcelas DL8

O espaçamento entre as fileiras de semeadura de duas passagens subseqüentes está representado na Figura 34 sob a forma de carta de controle para subgrupos e desvio padrão, onde os subgrupos são formados pela média dos espaçamentos medidos nas 12 parcelas de uma mesma linha da área experimental. Em seguida, nas Figuras 35 a 51, são apresentadas as cartas de controle de dados individuais para os 17 espaçamentos entre fileiras subseqüentes.

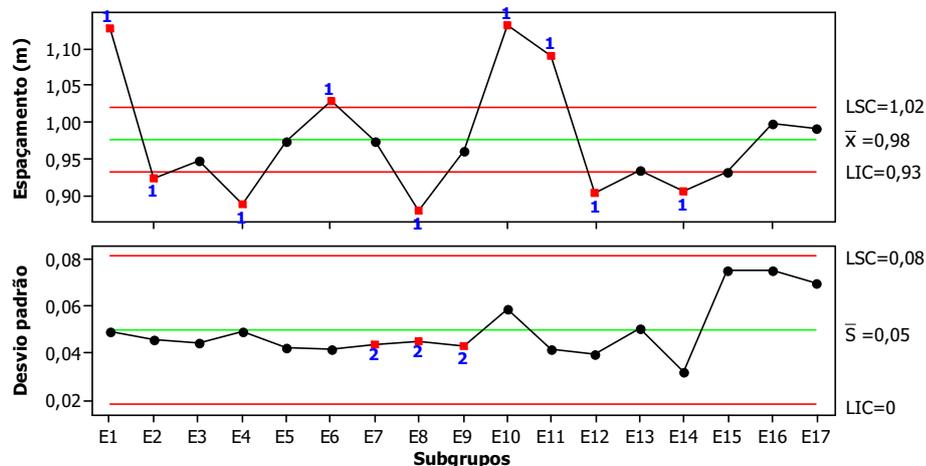


Figura 34. Carta de controle para espaçamento entre fileiras (E)

O espaçamento entre fileiras para os subgrupos (Figura 34), apresentou processo instável, com fileiras apresentando espaçamento médio das 12 parcelas acima de 1,10 m e outras abaixo de 0,90 m, demonstrando alta variabilidade entre os subgrupos. Pode ser considerado como o fator mais influente na variação do espaçamento entre fileiras, a habilidade do operador em manter a direção de deslocamento do conjunto perpendicular à passagem anterior, guiado neste caso, pelo dispositivo marcador de fileiras da semeadora, o que provavelmente fez com que o processo atingisse a instabilidade.

Mesmo com o espaçamento entre fileiras apresentando processo fora de controle estatístico, optou-se pela aplicação das cartas de controle para observações individuais em cada subgrupo, a fim de se averiguar e representar a variabilidade

existente nestes e compará-los entre si e, se possível, aplicar a análise de capacidade do processo.

Avaliando as cartas de controle para E3 e E11, o gráfico da amplitude demonstra que houve grande variação entre dois pontos consecutivos, causando instabilidade ao processo. No caso de E3, ocorreu uma redução superior a 12 cm no espaçamento entre as parcelas 11 e 12. Por se tratar da última parcela da fileira, pode ter ocorrido um desvio antecipado na direção, gerando essa diferença.

Em E11 ocorreu variação positiva de mais de 10 cm entre as parcelas 5 e 6, ocasionando uma mudança de patamar bem caracterizada no gráfico das observações individuais (Figura 45), após a parcela 5. Percebe-se que até a parcela 5, a variação do processo era baixa, próxima a zero, na 6ª parcela a variação aumentou abruptamente, passando a decair a partir da 7ª parcela. Uma guinada repentina por descuido do operador é justificativa plausível para este comportamento.

Encontraram-se ainda em processo fora de controle as parcelas de E1, E2, E7 e E8, pois apresentaram observações individuais que extrapolaram os limites de controle, indicando que causas especiais de variação (a precisão do marcador de fileiras ou a habilidade do operador, por exemplo) influenciaram o processo nas parcelas correspondentes.

Nos outros grupos de parcelas avaliados, o processo permaneceu estável, ou seja, dentro dos limites de controle. De maneira geral, o processo não demonstrou excessivas causas especiais de variação, sendo que a adoção de equipamentos que auxiliem o operador, como os sistemas de direcionamento por barra de luz, ou mesmo direcionamento automático por GPS, poderiam reduzir de forma considerável as variações no processo, mas o custo de implantação justifica somente o uso em grandes áreas produtivas.

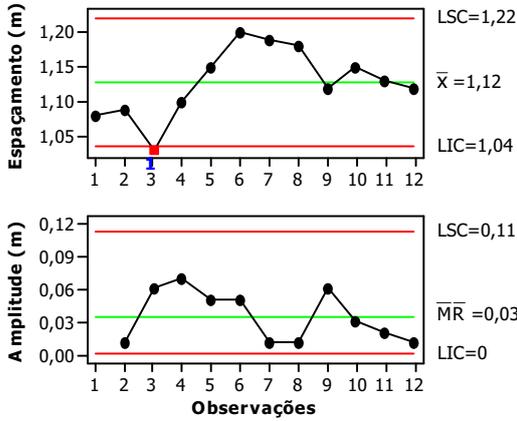


Figura 35. Carta de controle para espaçamento E1

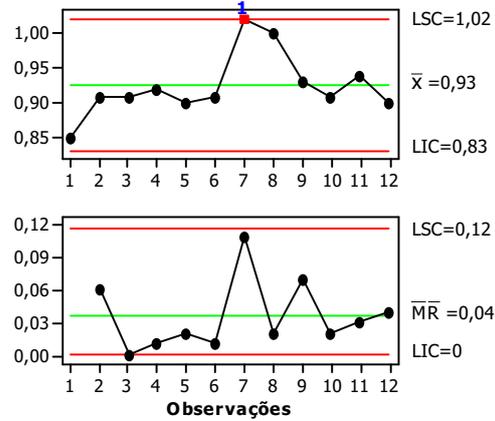


Figura 36. Carta de controle para espaçamento E2

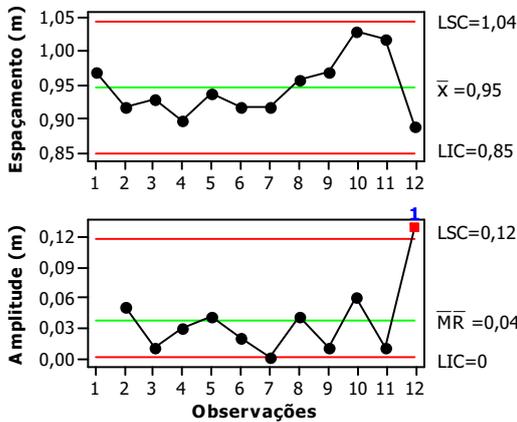


Figura 37. Carta de controle para espaçamento E3

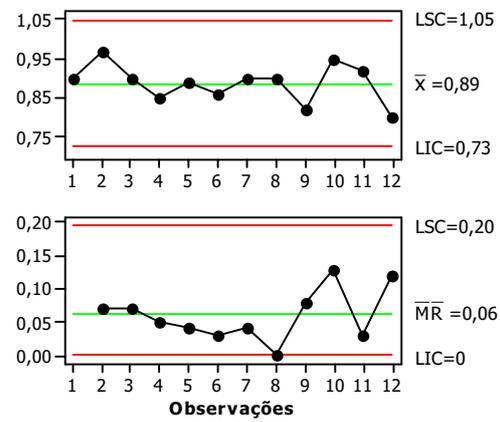


Figura 38. Carta de controle para espaçamento E4

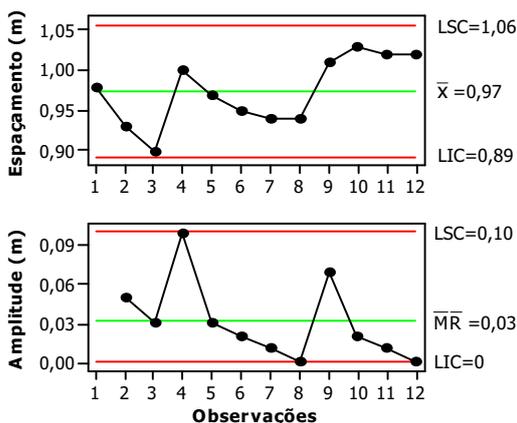


Figura 39. Carta de controle para espaçamento E5

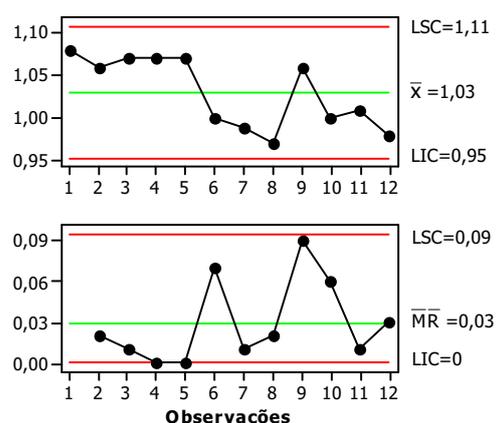


Figura 40. Carta de controle para espaçamento E6

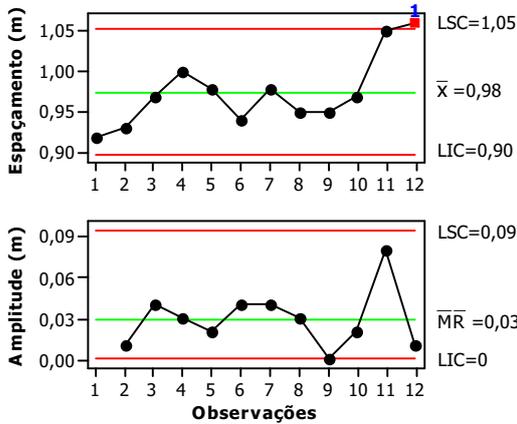


Figura 41. Carta de controle para espaçamento E7

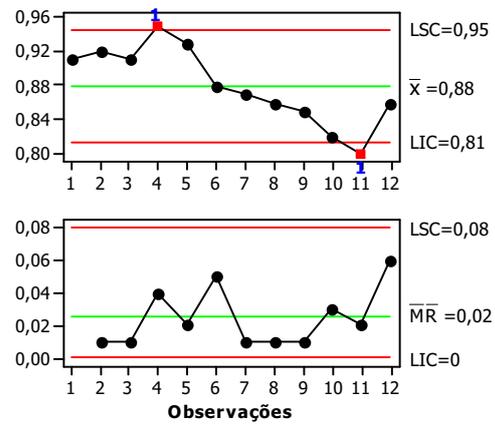


Figura 42. Carta de controle para espaçamento E8

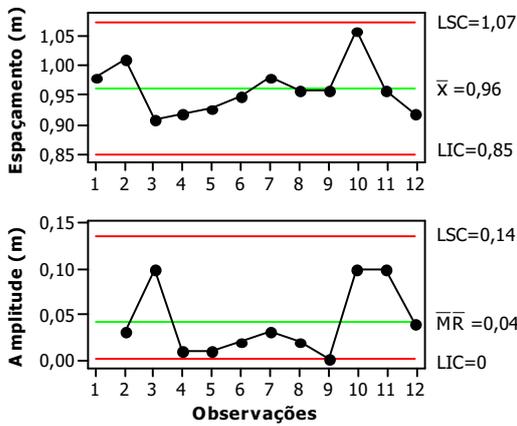


Figura 43. Carta de controle para espaçamento E9

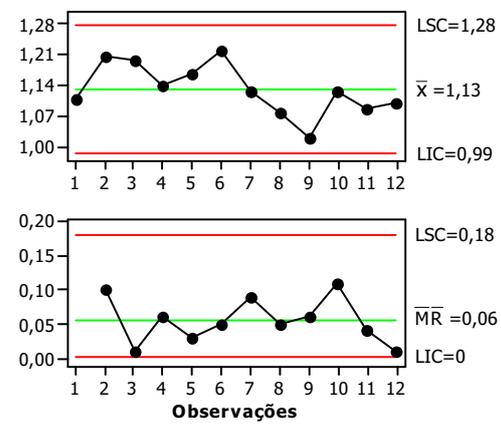


Figura 44. Carta de controle para espaçamento E10

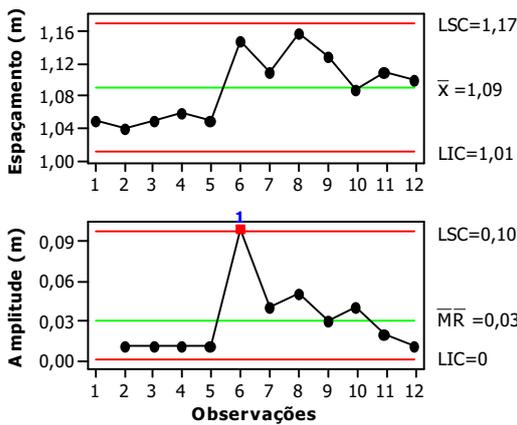


Figura 45. Carta de controle para espaçamento E11

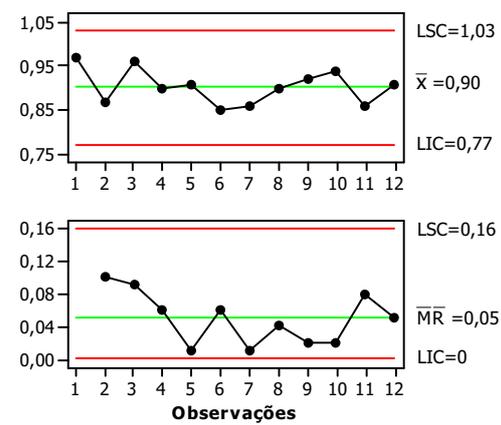


Figura 46. Carta de controle para espaçamento E12

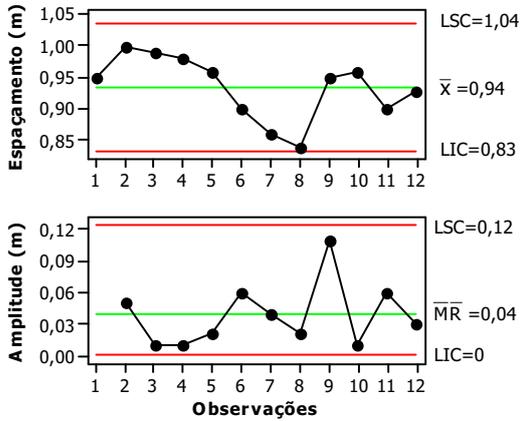


Figura 47. Carta de controle para espaçamento E13

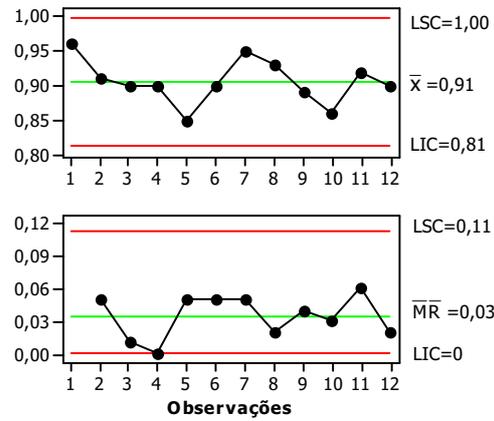


Figura 48. Carta de controle para espaçamento E14

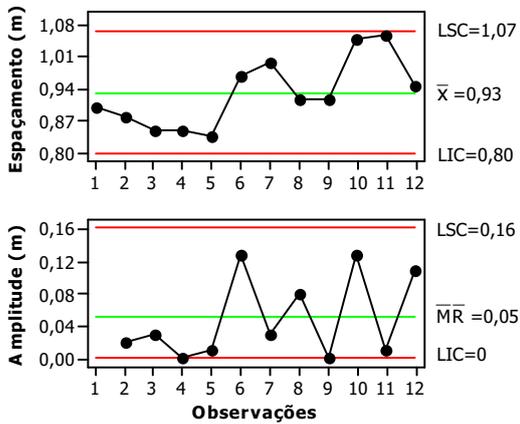


Figura 49. Carta de controle para espaçamento E15

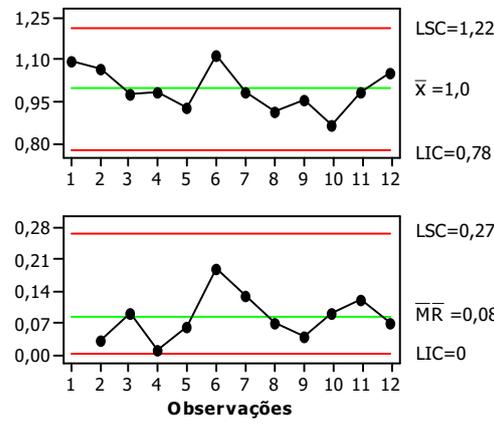


Figura 50. Carta de controle para espaçamento E16

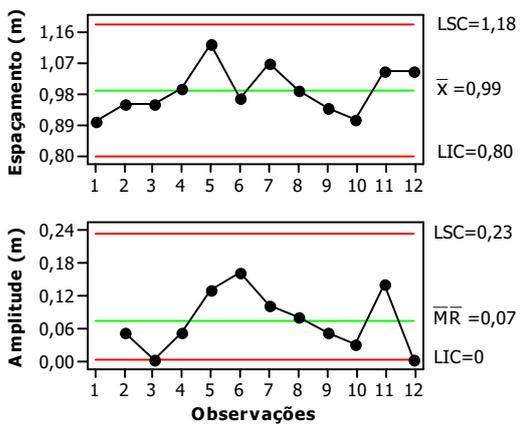


Figura 51. Carta de controle para espaçamento E17

A Figura 52 apresenta a carta de controle para número de dias após a semeadura para emergência de plântulas, que possui os dados organizados na forma de média de subgrupos da variável.

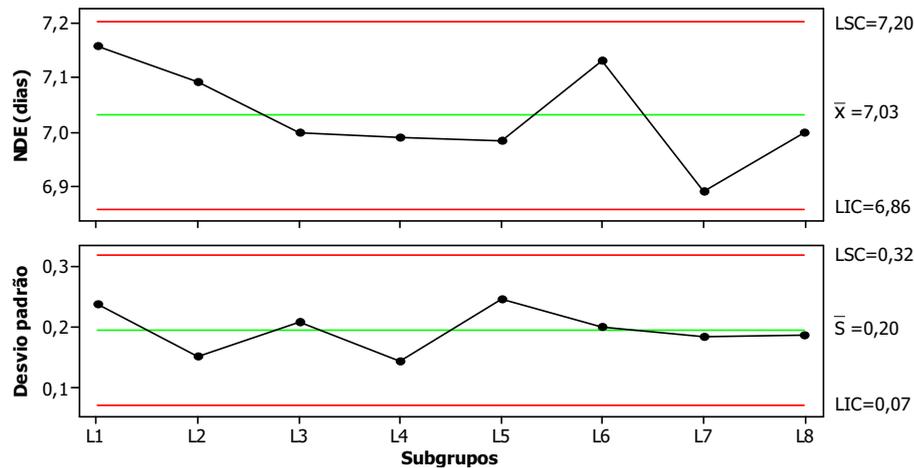


Figura 52. Carta de controle para número de dias para emergência (NDE)

O número de dias para emergência demonstrou somente variação aleatória, mantendo-se em processo estável, apresentando baixo desvio padrão para todos os subgrupos e pouca variação em torno da média.

2.3. Análise de capacidade do processo

Para realizar a análise de capacidade do processo, os dados devem atender a duas exigências básicas, ter distribuição de frequência normal e apresentar processo estável, ou seja, estar sob controle estatístico.

Os dados de distribuição longitudinal não apresentaram normalidade dos dados e nem estiveram sob processo controlado, inviabilizando a análise de capacidade, assim como os dados de espaçamento entre fileiras avaliados em subgrupos.

Para o espaçamento entre fileiras avaliado individualmente, E2 e E6 tiveram distribuições assimétricas, enquanto que E1, E2, E3, E7, E8 e E11 apresentaram processo instável, logo, a análise de capacidade foi realizada somente para os outros espaçamentos, como demonstrado nas Figuras 53 a 62.

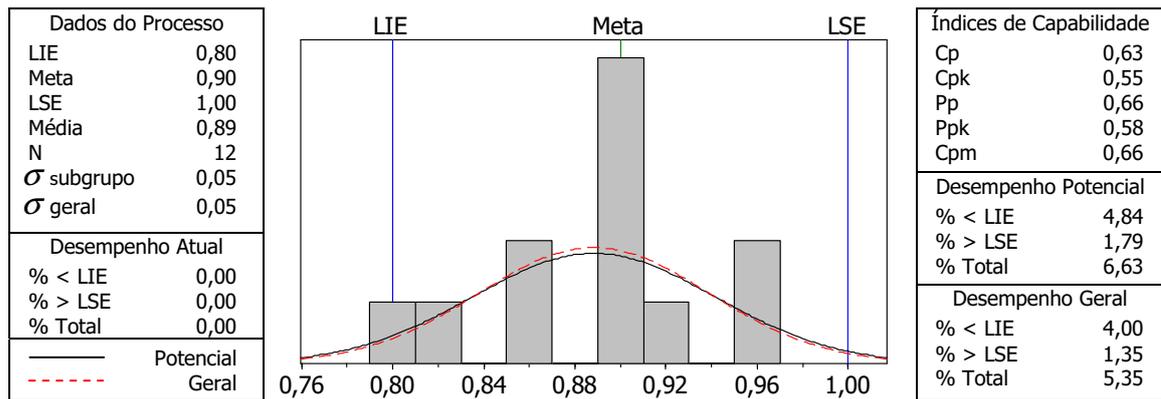


Figura 53. Análise de capacidade para espaçamento E4

O espaçamento E4 não apresentou pontos fora dos limites especificados, contudo, os índices de capacidade foram inferiores ao estipulado como mínimo aceitável (1,33) para avaliar o processo como capaz de produzir resultados dentro dos limites especificados em longo prazo.

Os índices Cp e Cpm (0,63 e 0,66) são próximos, porém como Cpk (0,55) é inferior, não se pode afirmar que o processo está centrado na meta. A previsão de desempenho do processo é de produzir 5,35% de resultados fora das especificações, considerando-se as causas de variação comuns e especiais. A eliminação das causas especiais do processo, acarretaria em 6,63% de resultados além dos limites especificados, não justificando a investigação sobre estas.

O considerável afastamento entre as curvas de distribuição potencial e geral para o espaçamento E5 já indicam que o processo não está centrado na meta, comprovado pela substancial diferença entre o índice Cp e os índices Cpk e Cpm. Esta diferença é devida ao cálculo de Cp, que não considera a posição da média do processo em relação aos limites especificados.

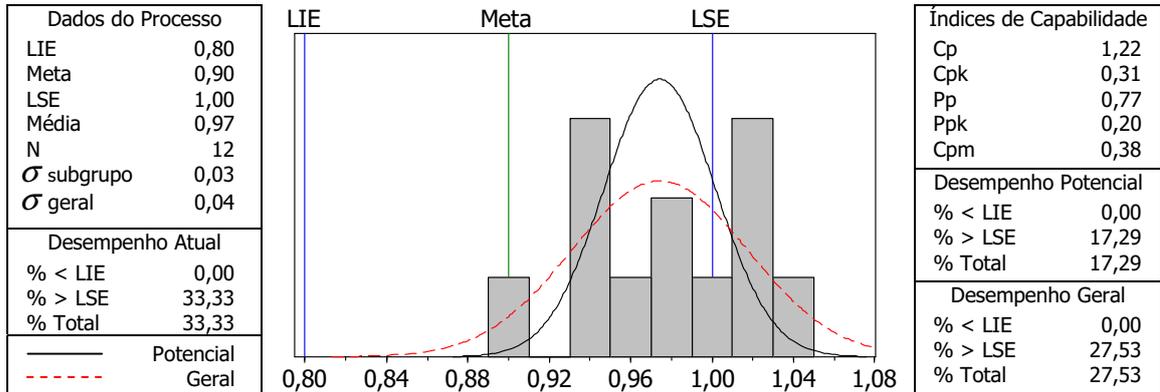


Figura 54. Análise de capacidade para espaçamento E5

Quanto ao desempenho atual do processo, percebe-se que 33,33% dos dados estão acima do LSE, e que a previsão é de que 27,53% dos resultados estejam nesta condição (acima de 1,0 m) se não excluídas as causas especiais de variação. Com a remoção destas causas de variação, o desempenho potencial do processo pode chegar a 17,29% dos dados fora dos limites especificados, o que leva o processo a ser considerado incapaz de produzir resultados dentro dos limites de especificação.

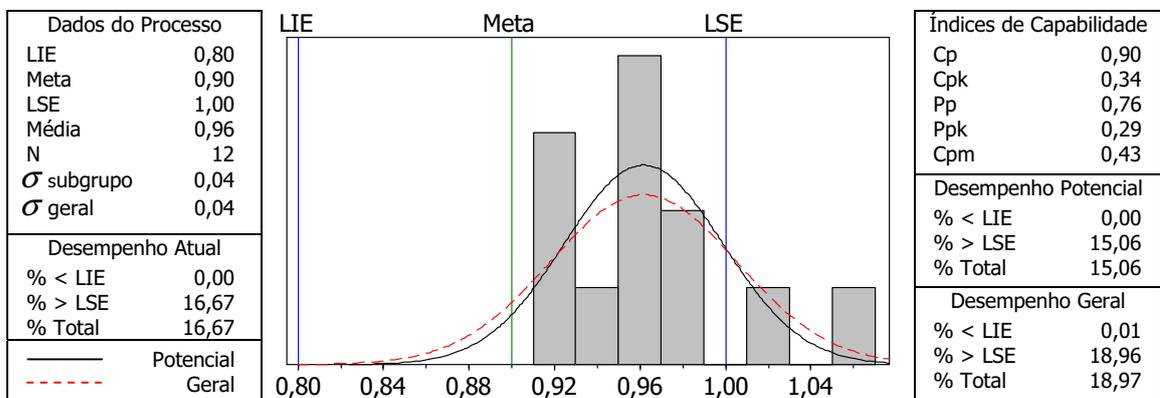


Figura 55. Análise de capacidade para espaçamento E9

Para o espaçamento E9, a análise de capacidade demonstrou que o processo não é capaz de produzir resultados dentro dos limites especificados, com base nos índices de capacidade inferiores a 1,33, e com 15,06% dos espaçamentos superiores a 1,0 m, mesmo após eliminação de causas especiais de variação presentes no

processo. Além disso o processo não está centrado na meta, e possui 16,67% dos dados mensurados acima do LSE.

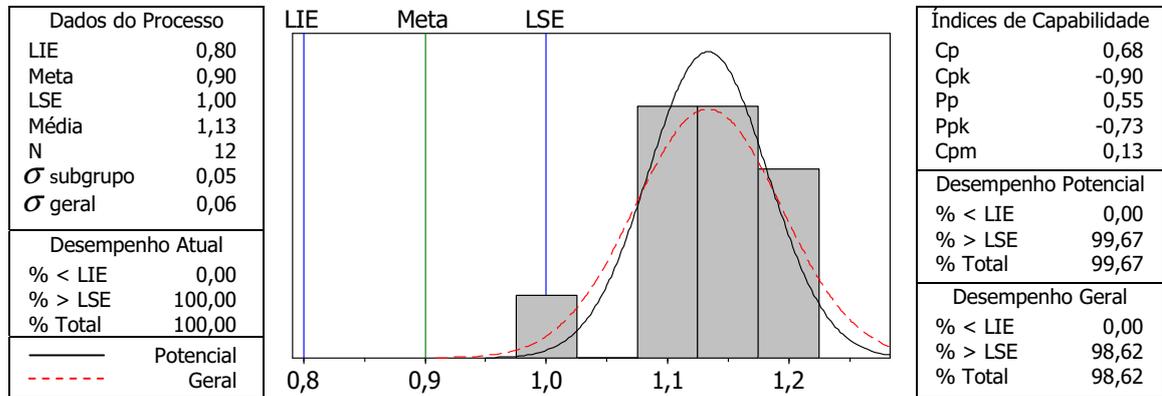


Figura 56. Análise de capacidade para espaçamento E10

O caso do espaçamento de E10 é o mais crítico dentre os avaliados, com 100% dos dados acima do limite superior especificado. O processo encontra-se sob controle estatístico devido à sua baixa variação, mas longe de ser capaz de produzir resultados dentro dos limites de especificação.

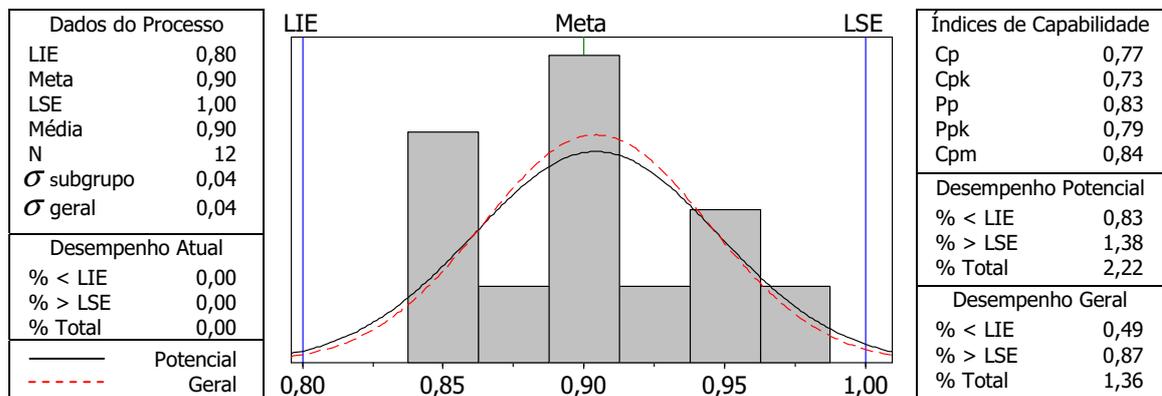


Figura 57. Análise de capacidade para espaçamento E12

Em E12 ocorreu o inverso, demonstrando que todos os dados mensurados encontram-se dentro dos limites especificados, e com processo centrado na meta, justificado pela proximidade entre Cp (0,77), Cpk (0,73) e Cpm (0,84). Entretanto, estes

Índices continuam inferiores a 1,33, o que torna o processo incapaz de produzir resultados satisfatórios, conforme as especificações. Neste processo existem causas especiais de variação, que levariam o processo a atingir 1,36% de resultados fora dos limites especificados.

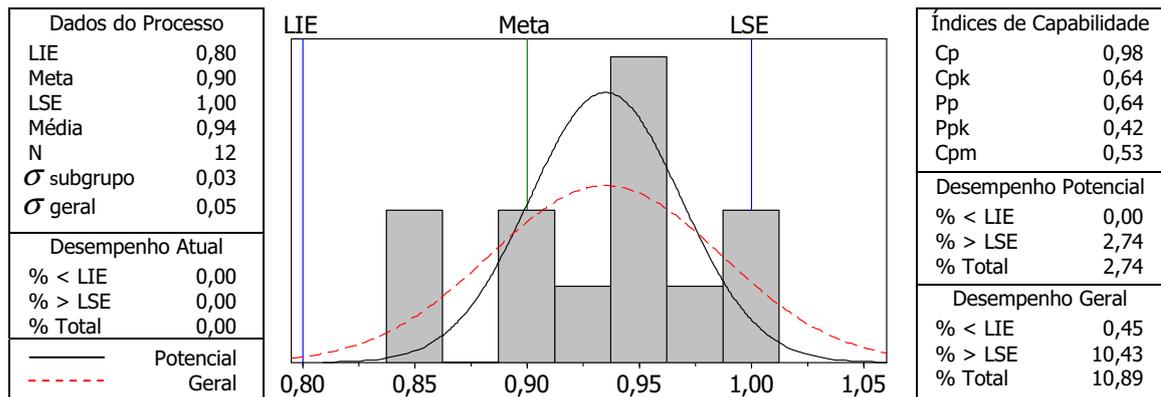


Figura 58. Análise de capacidade para espaçamento E13

Os índices de capacidade e o afastamento entre as curvas de frequência potencial e geral para o espaçamento E13 demonstram que o processo não está centrado na meta, mesmo não apresentando nenhum resultado fora dos limites especificados.

Como os índices são inferiores a 1,33, o processo não está apto a produzir resultados dentro dos limites especificados em longo prazo, sendo que 10,89% dos dados estarão fora destes limites se não forem eliminadas as causas de variação não aleatórias, e 2,74% ultrapassariam estes limites após a eliminação destas causas.

Dentre os espaçamentos, o E14 foi o que melhores resultados apresentou, comparando os índices de capacidade deste processo com o dos outros. Valores menores do que 1,00 para os índices de capacidade indicam que a abrangência da variação do processo ultrapassa a abrangência dos limites de especificação, o que não é verificado no caso de E14.

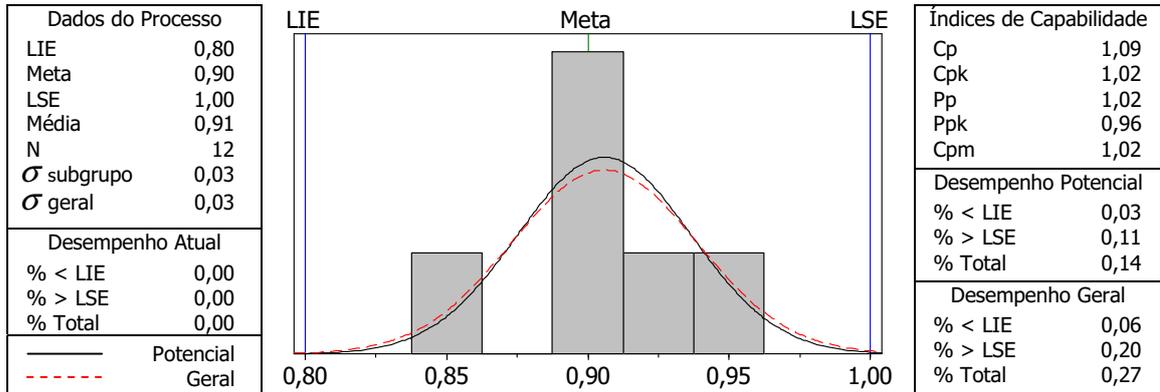


Figura 59. Análise de capacidade para espaçamento E14

Assim, pela proximidade entre os índices Cp, Cpk e Cpm, o processo é considerado centrado na meta, porém como os índices Pp e Ppk foram inferiores a 1,33, o processo não possui potencial para produzir resultados dentro dos limites de especificação, mesmo sendo apenas 0,14% dos dados além destes limites.

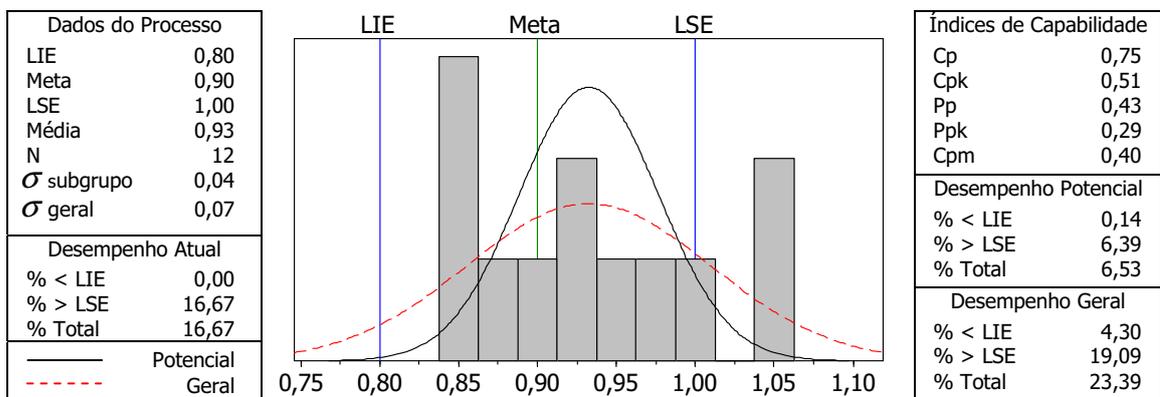


Figura 60. Análise de capacidade para espaçamento E15

Pelo afastamento entre as curvas potencial e geral é possível afirmar que o processo em E15 não está centrado na meta. Este processo demonstra 16,67% dos espaçamentos superiores a 1,0 m, apresentando causas especiais de variação, que se não eliminadas do processo, resultarão em 23,39% dos espaçamentos fora dos limites especificados.

Após a eliminação destas causas de variação não inerentes, o processo ainda continuaria com dados além dos limites, 0,14% abaixo de 0,80 m e 6,53% acima de 1,0 m. Portanto, este processo não é considerado capaz de produzir resultados dentro dos limites de especificação.

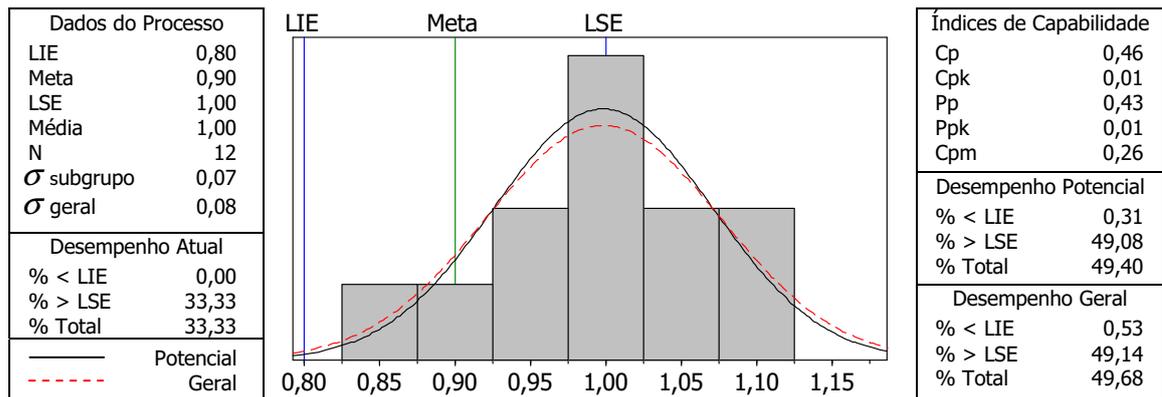


Figura 61. Análise de capacidade para espaçamento E16

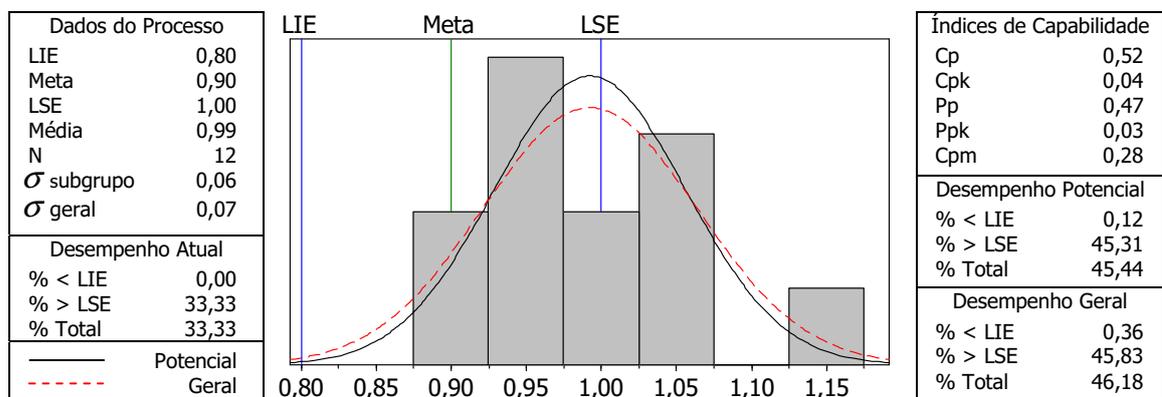


Figura 62. Análise de capacidade para espaçamento E17

Os espaçamentos E16 e E17 apresentaram comportamentos análogos e incapazes de obter resultados dentro dos limites especificados. Ambos os processos demonstram que 33,33% dos espaçamentos estão acima do LSE (1,0 m) devido à causas especiais de variação.

Os índices demonstram que a abrangência da variação do processo é muito maior do que a dos limites de especificação (índices de capacidade Cpk e Ppk próximos a zero), em função da quantidade de valores acima do limite superior.

Mesmo com a eliminação das causas especiais de variação nestes dois processos, poucos dados passariam a atender os limites especificados.

De maneira geral para as variáveis de espaçamento entre fileiras, alterações no processo devem ser realizadas, tanto para eliminar as causas de variação não aleatórias, como para que os processos atinjam a meta e atendam os limites de especificação, reduzindo a abrangência da variação do processo.

O espaçamento E14 foi o que demonstrou maior capacidade de atingir a meta e se enquadrar nos limites especificados, mesmo apresentando causas especiais de variação que interfeririam no processo em longo prazo, porém de forma reduzida.

O ideal seria que isso não ocorresse, e que o processo apresentasse 100% dos espaçamentos dentro dos limites especificados. Para isso, as causas de variação devem ser investigadas, iniciando-se pela verificação da regulagem e funcionamento dos dispositivos que auxiliam na demarcação dos espaçamentos. A experiência do operador também é fator significativo para a redução desta variação, devendo ser considerada no processo de melhoria da qualidade dos espaçamentos.

Na Figura 63 é apresentada a análise de capacidade para o número de dias necessários para a emergência de plântulas após a realização da semeadura do amendoim.

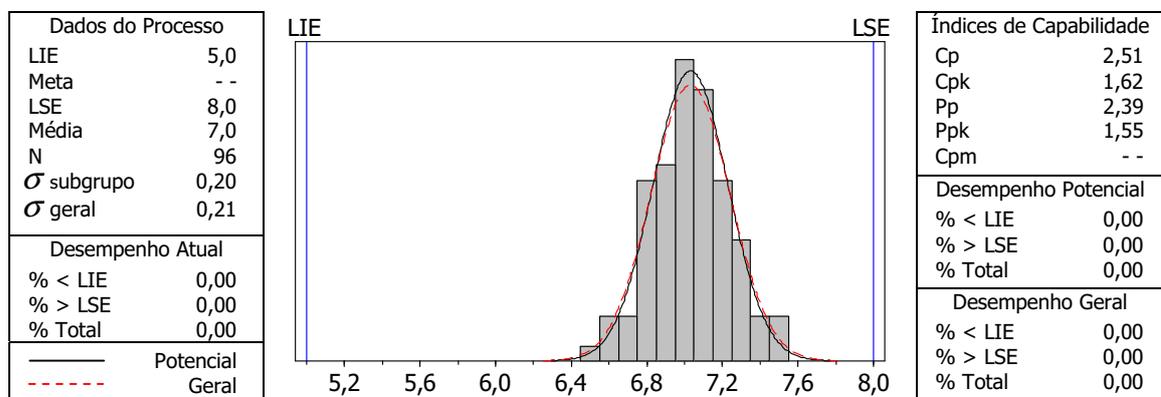


Figura 63. Análise de capacidade para número de dias para emergência (NDE)

A razão entre a abrangência da variação do processo e a dos limites especificados, representada pelos índices de capacidade, foi superior a 1,33, indicando que a semeadura foi realizada de forma correta, proporcionando condições necessárias e ideais para a emergência das plântulas de amendoim dentro dos limites especificados.

Assim, o desempenho do processo demonstrou que nenhuma plântula emergiu antes do LIE (5 dias) ou após o LSE (8 dias), e ainda que a realização da semeadura mantendo estas condições às sementes, continuaria a apresentar 0,00% de plântulas emergidas fora dos limites.

V. CONCLUSÕES

As variáveis de desempenho operacional demonstraram média e baixa variabilidade, com forte dependência espacial, exceto para o consumo ponderal com dependência moderada, indicando que o estudo espacial desses atributos é ferramenta útil na identificação do comportamento de sistemas mecanizados.

A resistência mecânica do solo à penetração apresentou variabilidade muito alta e dependência espacial forte, não apresentando correlação com as variáveis de desempenho operacional.

O consumo específico de combustível foi menor para as maiores exigências de tração, indicando melhor utilização do combustível disponibilizado ao motor, ou seja, melhor rendimento.

A distribuição longitudinal de plântulas apresentou grande quantidade de espaçamentos falhos, indicando irregularidade na distribuição, considerada insatisfatória, necessitando de ajustes ao processo para a melhoria da qualidade, como o aumento da eficiência dos dispositivos dosadores e maior monitoramento nas regulagens destes.

As técnicas de controle de qualidade demonstraram que o espaçamento entre fileiras de semeadura, de modo geral, apresenta processo fora de controle e incapaz de atingir a meta e se manter dentro dos limites especificados, podendo afetar outrossim a produtividade da cultura devido à redução do número de plantas por área. Portanto, deve-se atentar para a correta regulagem do dispositivo marcador de fileiras e, quando possível, adoção de métodos mais precisos para esta medição.

O número de dias para emergência manteve-se sob processo estável, com grande potencial de se manter dentro dos limites de especificação, indicando que houve boas condições para o desenvolvimento da cultura.

Causas especiais de variação foram identificadas para os processos fora de controle, sendo que a eliminação dessas, dificilmente proporcionaria o atendimento das especificações.

VI. IMPLICAÇÕES

A análise da variabilidade e dependência espacial dos atributos de desempenho operacional auxiliou de forma satisfatória na identificação do comportamento espacial destas variáveis e permitiu identificar áreas em que o desempenho foi diferenciado.

A utilização das ferramentas de controle estatístico de processo (CEP) e análise da capacidade do processo, pertencentes ao controle estatístico de qualidade (CEQ), auxiliaram a identificar causas de variação não inerentes ao processo, indicando em que pontos do processo devem-se atuar para a melhoria da qualidade.

Entretanto, a aplicação de técnicas de controle de qualidade na agricultura pode ser considerada mais complexa do que num processo industrial, para qual o CEQ foi concebido. Em processos agrícolas, há a interferência de diversos fatores não controláveis, como intempéries, além das fases vegetativas das culturas, tornando os processos extremamente dinâmicos.

Dessa maneira, surgem oportunidades de novas pesquisas para se determinar os limites aceitáveis para o controle de qualidade em operações agrícolas, e as interações que possam existir entre estes. Sugere-se também correlacionar a utilização das ferramentas de controle de qualidade com análises de custos em operações agrícolas.

VII. REFERÊNCIAS

AGROBYTE. Amendoim. *Agrobyte*, [2006]. Disponível em: <<http://www.agrobyte.com.br/amendoim.htm>>. Acesso em: 26 ago. 2006, 15:11.

ANTUNES, L. M.; ENGEL, A. *Qualidade total na agropecuária*. 2. ed. Guaíba: Agropecuária, 1999. 116 p.

ASAE. AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Agricultural tractor test code. In: *ASAE standards 1989: standards engineering practices data*. St. Joseph, 1989. p. 44-48. (ASAE S209.5)

ASAE. AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Soil cone penetrometer. In: *ASAE standards 1996: standards engineering practices data*. St. Joseph, 1996b. p.719. (ASAE S313.2).

ASAE. AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Agricultural machinery management. In: *ASAE standards 1999: standards engineering practices data*. St. Joseph, 1999. p. 359-366. (ASAE D497.4)

BOMFIM, O. S.; MOURA, R. S.; MARINHO, N. S. A.; LUZ, J. W. *Controle estatístico de processo aplicado à fabricação de álcool*. [2005]. Disponível em: <www.grupocalibracao.com/arquivos-htm/downloads.htm> Acesso em: 24 jan. 2008, 14:52.

BONATO, R. G.; MILAN, M. Controle de qualidade na agricultura: Utilização de ferramentas de 5'S na manutenção de máquinas agrícolas. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 1., 2001, São Paulo. *Anais...* São Paulo: USP, 2001. p. 68.

BONILLA, J. A. *Gestão de qualidade total na agropecuária*. Belo Horizonte: Secretaria de agricultura, pecuária e abastecimento de Minas Gerais, DENACOOOP – Ministério da Agricultura, 1999. 375 p.

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

BORSARI FILHO, S. *Potencial da cultura do amendoim como fonte de matéria-prima para o PNPB*. 2006. Disponível em: <<http://www.ciagri.usp.br/~simpol/palestras.htm>> Acesso em: 24 jan. 2008, 16:19.

CARDIM, D.; CATANEO, A. Distribuição espacial da produtividade média anual da cultura do feijão no Estado de São Paulo e sua correlação com índices climáticos. *Energia na Agricultura*, Botucatu, v. 20, n. 1, p. 11-28, 2005.

CARVALHO, J. R. P.; SILVEIRA, P. M.; VIEIRA, S. R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 37, n. 8, p. 1151-1159, ago. 2002.

CASÃO JÚNIOR, R.; ARAÚJO, A. G.; RALISCH, R. Metodologia para a avaliação de semeadoras-adubadoras de plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28, 1999, Pelotas. *Anais...* Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 1999. 1 CD-ROM.

CASÃO JÚNIOR, R.; ARAÚJO, A. G.; RALISCH, R.; SILVA, A. L.; LADEIRA, A. S.; SILVA, J. C.; MACHADO, P.; ROSSETO, R. *Avaliação do desempenho da semeadora-adubadora Magnum 2850 PD no basalto paranaense*. Londrina: Instituto Agrônomo do Paraná, 1998. 47 p. (Circular técnica 105).

CENTURION, M. A. P. C.; CENTURION, J. F. *Cultura do amendoim*. Jaboticabal: UNESP, 1998. 23 p.

CONTE, O.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; CEPIK, C. T. C.; DEBIASI, H. Demanda de tração em haste sulcadora na integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo e sua relação com o estado de compactação do solo. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 220-228, jan./abr. 2007.

CORÁ, J. E.; BERBALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura de cana-de-açúcar. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 374-387, maio/ago. 2006.

CORDEIRO, M. A. L.; BENEZ, S. H.; SOUSA, A. P. Consumo de combustível em tratores agrícolas trabalhando com semeadoras adubadoras e com pulverizadores. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 17, 1988, Iperó. *Anais...* Sorocaba: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1988. p. 339-349.

CORTEZ, J. W.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P.; GROTTA, D. C. C.; REIS, G. N. Demanda energética do conjunto trator-semeadora-adubadora de precisão em preparo convencional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35, 2006, João Pessoa. *Anais...* João Pessoa: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2006. 1 CD-ROM.

COSTA, E. A.; GOEDERT, W. J.; SOUSA, D. M. G. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 41, n. 7, p. 1185-1191. 2006.

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 27, n. 3, p. 527-535. 2003.

CRIAR E PLANTAR. Agricultura: Amendoim. *Criar e Plantar*. [2006]. Disponível em: <www.criareplantar.com.br/agricultura/amendoim/index.php> Acesso em: 23 nov. 2006, 21:48.

DODSON, M. S. *Avaliação da influência de indicadores de qualidade no custo operacional de um sistema de produção de milho (Zea mays L.): estudo de caso de semeadura*. 1998. 80 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 1998.

EDMOND, J. B.; DRAPALA, W. L. The effects of temperature, sand and soil acetone on germination of okra seed. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*, Alexandria, v. 71, p. 428-434, 1958.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Trigo (Passo Fundo, RS). *Avaliação do desempenho de plantadoras diretas para culturas de verão*. Passo Fundo, 1994. não paginado.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de levantamento e conservação do solo. *Manual de métodos e análise de solo*. Rio de Janeiro, 1979. não paginado.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 1999. 412 p.

FARIAS, P. R. S.; NOCITI, L. A. S.; BARBOSA, J. C.; PERECIN, D. Agricultura de precisão: mapeamento da produtividade em pomares cítricos usando geoestatística. *Revista Brasileira de Fruticultura*. Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 235-241, 2003.

FERNANDES, R. A. T. *Aplicação de conceitos de qualidade em operações agrícolas mecanizadas na produção de milho (Zea Mays L.) para silagem*. 2000. 81 f. Dissertação (Mestrado), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

FERNANDES, R. A. T.; MILAN, M.; PECHE FILHO, A. Gerenciamento da qualidade em operações mecanizadas de um sistema de produção de cana-de-açúcar. *Stab: Açúcar, Alcool e Subprodutos*, Piracicaba, v. 18, n. 1, p. 29-30, 1999.

FREDDI, O. S.; CARVALHO, M. P.; VERONESI JÚNIOR, V.; CARVALHO, G. J. Produtividade do milho relacionada com a resistência mecânica à penetração do solo sob preparo convencional. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 113-121, jan./abr. 2006.

FURLANI, C. E. A.; GAMERO, C. A.; LEVIEN, R.; LOPES, A.; SILVA, R. P. Desempenho operacional de uma semeadora-adubadora de precisão, em função do preparo do solo e do manejo da cobertura de inverno. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 388-395, maio/ago. 2004a.

FURLANI, C. E. A.; LOPES, A.; SILVA, R. P.; GROTTA, D. C. C.; REIS, G. N. Desempenho de uma semeadora-adubadora em função do preparo do solo e da velocidade de deslocamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33, 2004, São Pedro, SP. *Anais...* São Pedro: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2004b. 1 CD-ROM.

FURLANI, C. E. A.; LOPES, A.; SILVA, R. P. Avaliação de semeadora-adubadora de precisão trabalhando em três sistemas de preparo do solo. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 458-464, maio/ago. 2005a.

FURLANI, C. E. A.; LOPES, A.; SILVA, R. P.; REIS, G. N. Exigências de uma semeadora-adubadora de precisão variando a velocidade e a condição da superfície do solo. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 35, n. 4, p. 920-923, jul./ago. 2005b.

GODOY, I. J.; MORAES, S. A.; MINOTTI, D.; KASAI, F. S.; MAKIMOTO, P.; NOMI, A. K. *Prevenção de aflatoxina em amendoim*. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. (Boletim Técnico).

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 29, n. 2, p. 169-177, maio/abr. 2005.

GROTTA, D. C. C.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P.; REIS, G. N.; CORTEZ, J. W. Consumo de combustível de um trator agrícola na semeadura do milho (*Zea mays* L.) em diferentes sistemas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35, 2006, João Pessoa. *Anais...* João Pessoa: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2006a. 1 CD-ROM.

GROTTA, D. C. C.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P.; REIS, G. N.; CORTEZ, J. W. Plantio direto x convencional: exigência de um trator agrícola na semeadura do milho (*Zea mays* L.) tracionando uma semeadora-adubadora com diferentes pressões de inflação nos pneus. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35, 2006, João Pessoa. *Anais...* João Pessoa: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2006b. 1 CD-ROM.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Levantamento sistemático da produção agrícola*. 2007a. Disponível em: <www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/defaulttab.shtm> Acesso em: 24 jan. 2008, 16:01.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Produção Agrícola Municipal*. 2007b. Disponível em: <www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=sp> Acesso em: 24 jan. 2008, 16:05.

JACOVINE, L. A. G. *Gestão da qualidade na colheita de madeira em povoamento equiâneos*. 2000. 136 f. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2000.

JOHNSON, G. A.; MORTENSEN, D. A.; GOTWAY, C. A. Spatial and temporal analysis of weed seedling populations using geostatistics. *Weed Science*, Lawrence, v. 44, n. 3, p. 704-710, 1996.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L.; SILVA, A. P. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes condições de densidade e teor de água. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 18, n. 2, p. 45-54, dez. 1998.

KURACHI, S. A. H.; COSTA, J. A. S.; BERNARDI, J. A.; COELHO, J. L. O.; SILVEIRA, G. M. Avaliação tecnológica de semeadoras e/ou adubadoras: tratamento de dados de ensaios e regularidade de distribuição longitudinal de sementes. *Bragantia*, Campinas, v. 48, n. 2, p. 249-262, 1989.

LEIRAS, A.; EPPRECHT, E. K.; COSTA, A. F. B. Planejamento do controle estatístico de processos com baixa fração não conforme restrito a amostras pequenas. *Produção*, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 139-150, jan./abr. 2007.

LEVIEN, R.; MARQUES, J. P.; BENEZ, S. H. Desempenho de uma semeadora-adubadora de precisão, em semeadura de milho (*Zea mays* L.) sob diferentes formas de manejo do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28, 1999, Pelotas. *Anais...* Pelotas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1999. 1 CD-ROM.

LIMA, J. M. S. *Qualidade Total no Campo*. [200-?] Disponível em: <www.tecnologiaetreinamento.com.br/sessao.php?go=materiastecnicas&mat=0059> Acesso em: 24 jan. 2008, 11:20.

LINO, A. C. L.; PECHE FILHO, A.; STORINO, M. Análise da fragmentação de fitomassa realizada por uma roçadora em área com predominância de capim-colonião. *Bragantia*, Campinas, v. 58, n. 2, p. 401-407, 1999.

LOPES, A. *Biodiesel em trator agrícola: desempenho e opacidade*. 2006. 158 f. Tese (Livre Docência), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2006.

LOPES, A.; LANÇAS, K. P.; FURLANI, C. E. A.; NAGAOKA, A. K.; CASTRO NETO, P.; GROTTA, D. C. C. Consumo de combustível de um trator em função do tipo de pneu, da lastragem e da velocidade de trabalho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 382-386, maio/ago. 2003.

LOPES, M. B.; LUNARDI FILHO, D.; PECHE FILHO, A.; COELHO, J. L. D.; MILAN, M. Qualidade em operações agrícolas mecanizadas na cultura de cana-de-açúcar. *Stab: Açúcar, Álcool e Subprodutos*, Piracicaba, v. 13, n. 3, p. 26-30, 1995.

MAKIMOTO, P.; NOMI, A. K.; RIBEIRO, R. P. Cultivares IAC de amendoim. *O Agrônomo*, Campinas, v. 55, n. 1, p. 26-29, 2003.

MANTOVANI, E. C.; BERTAUX, S.; ROCHA, F. E. C. Avaliação da eficiência operacional de diferentes semeadoras-adubadoras de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 27, p. 1579-1586, 1992.

MERCANTE, E.; URIBE-OPAZO, M. A.; SOUZA, E. G. Variabilidade espacial e temporal da resistência mecânica do solo à penetração em áreas com e sem manejo químico localizado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 27, n. 6, p.1149-1159, nov./dez. 2003.

MICHEL, R.; FOGLIATTO, F. S. Projeto econômico de cartas adaptativas para monitoramento de processos. *Gestão & Produção*, São Carlos, v. 9, n. 1, p. 17-31, abr. 2002.

MILAN, M. *Controle de qualidade em operações agrícolas*. Piracicaba: NOTESALQ, v. 5, n. 11, p. 4-5, maio 1997.

MILAN, M.; FERNANDES, R. A. T. Qualidade das operações de preparo do solo por controle estatístico de processo. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 59, n. 2, p. 261-266, abr./jun. 2002.

MINITAB. *MINITAB Release 14.1: Meet MINITAB 14 (Versão em Português)*; MINITAB StatGuide; MINITAB Help. [S.l.]: Minitab Inc., 2003.

NAGAOKA, A. K.; JASPER, S. P.; NERBASS, F. R.; IGLIKOSVSKI, S.; PICCINI, M. A. Avaliação das características operacionais na semeadura do milho (*Zea mays*) em dois sistemas de preparo do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33, 2004, São Pedro, SP. *Anais...* São Pedro: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2004. 1 CD-ROM.

PASQUA, S. E. Controle de qualidade em operações agrícolas mecanizadas. In: CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO. *Prêmio jovem cientista 1995*: publicação resumida dos trabalhos vencedores. Porto Alegre: CNPq; Fundação Roberto Marinho; Grupo Gerdau, 1999. p. 53-84.

PASQUA, S. E.; MILAN, M.; PECHE FILHO, A. Controle de qualidade em operações agrícolas mecanizadas na cultura do milho (*Zea mays* L.) In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 25, 1996, Bauru. *Resumos...* Bauru: UNESP; SBEA; ALIA, 1996. p. 409.

PECHE FILHO, A.; COSTA, J. A.; FERRETI, G.; STORINO, M. Qualidade total na Agricultura. In: SIMPÓSIO DE QUALIDADE TOTAL NA AGRICULTURA, 1., 1994, São Paulo. *Anais...* São Paulo: AEASP, 1994. p. 19-35.

PIMENTEL GOMES, F. *Curso de estatística experimental*. 14. ed. Piracicaba: Degaspari, 2000. 477 p.

PORTELLA, J. A.; SATLER, A.; FAGANELLO, A. Índice de emergência de plântulas de soja e de milho em semeadura direta no sul do Brasil. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 17, n. 2, p. 71-78, maio/ago. 1997.

PORTELLA, L. M. Parâmetros físicos do solo como base para a agricultura de precisão. 2005. 69 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2005.

PRADO, R. M.; NATALE, W.; FURLANI, C. E. A. *Manejo mecanizado de atividades para implantação de culturas*. Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002a. 99 p., 21 cm. (Série Engenharia Agrícola).

PRADO, R. M.; ROQUE, C. G.; SOUZA, Z. M. Sistema de preparo e resistência à penetração e densidade de um Latossolo Vermelho eutrófico em cultivo intenso e pousio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 37, n. 12, p. 1795-1801, dez. 2002b.

RAMOS, A. W. *Controle estatístico de processos para pequenos lotes*. São Paulo: Fundação Vanzoline, Edgard Blucher Ltda, 1995. 151 p.

REIS, G. N.; LOPES, A.; FURLANI, C. E. A.; DABDOUB, M. J.; SILVA, R. P.; GROTTA, D. C. C.; CAMARA, F. T. Análise comparativa entre biodiesel filtrado e biodiesel destilado em trator agrícola. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, Lages, v. 5, n. 2, p. 149-155, 2006a.

REIS, G. N.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P.; BIZZI, A. C.; GROTTA, D. C. C.; CORTEZ, J. W. Efeito de diferentes sistemas de preparo no solo e na cultura da soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35, 2006, João Pessoa. *Anais...* João Pessoa: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2006b. 1 CD-ROM.

REIS, M. M. *Um modelo para o ensino do controle estatístico de qualidade*. 2001. 380 f. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

REYES, A. E. L.; VICINO, S. R. *Controle estatístico da qualidade: Conceitos gerais e histórico*. CIAGRI-USP / CENA-USP / ESALQ-USP. [2001]. Disponível em: <www.qualidade.esalq.usp.br/qttotal.html> Acesso em: 25 out. 2006, 17:06.

SANTOS, P. A.; CARVALHO, M. P.; FREDDI, O. S.; KITAMURA, A. E.; FREITAG, E. E.; VANZELA, L. S. Correlação linear e espacial entre o rendimento de grãos do feijoeiro e a resistência mecânica à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 29, n. 2, p. 287-295, maio/abr. 2005.

SILVA, A. R. B.; BENEZ, S. H.; SILVA, P. R. A.; GERMINO, R.; MAHL, D. Desempenho operacional de semeadora-adubadora em dois sistemas de preparo do solo e espaçamento entre linhas na cultura do milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33, 2004, São Pedro, SP. *Anais...* São Pedro: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2004. 1 CD-ROM.

SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 34, n. 2, p. 399-406, mar./abr., 2004.

SOUZA, A. B. M. *Sistema de informações aplicado ao processo mecanizado de semeadura direta*. 2005. 75 f. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

SUGUISAWA, J. M. *Diagnóstico da condição tecnológica, sob a ótica da qualidade, das operações mecanizadas da cultura do trigo em sistema plantio direto*. 2004. 110 f. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

SUGUISAWA, J. M.; SILVA, S. S. S.; MILAN, M. Qualidade operacional da semeadura mecanizada de milho (*Zea mays* L.) em sistema plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32, 2003, Goiânia. *Anais...* Goiânia: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2003. 1 CD-ROM.

TATU MARCHESAN. Setor de publicações técnicas. *Manual de instruções COP e COP SUPREMA*. fev. 2004. Disponível em: <www.marchesan.com.br>. Acesso em: 12 ago. 2007, 14:21.

TOLEDO, A.; TABILE, R. A.; PEREIRA, J. O.; GREJIANIN, R. L.; ANDREOLLA, V. R. M.; KONOPATZKI, M. R. S. Efeito do sistema de cultivo e da compactação na propriedade estrutural de um solo argiloso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35, 2006, João Pessoa. *Anais...* João Pessoa: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2006. 1 CD-ROM.

TRINDADE, C.; REZENDE, J. L. P.; JACOVINE, L. A. G.; SARTORIO, M. L. *Ferramentas da qualidade: aplicação na atividade florestal*. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2000. 124 p.

UNESP. UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO". Campus de Jaboticabal. Departamento de Ciências Exatas: Estação meteorológica. *Dados meteorológicos mensais do ano de 2006 em Jaboticabal*. Disponível em: <http://www.exatas.fcav.unesp.br/estacao/est_tab_meteor_01_02.htm>. Acesso em: 6 nov. 2007, 23:22.

VENDRUSCULO, L. G. *Desenvolvimento de um sistema computacional para análise geoestatística*. 2001. 87 f. Dissertação (Mestrado), Universidade de Campinas, Campinas, 2001.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. V. H.; SCHAEFER, G. R., eds. *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p.1-54.

APÊNDICE

APÊNDICE A. Especificações técnicas dos principais equipamentos

Tabela 1A. Características do trator VALTRA BM100

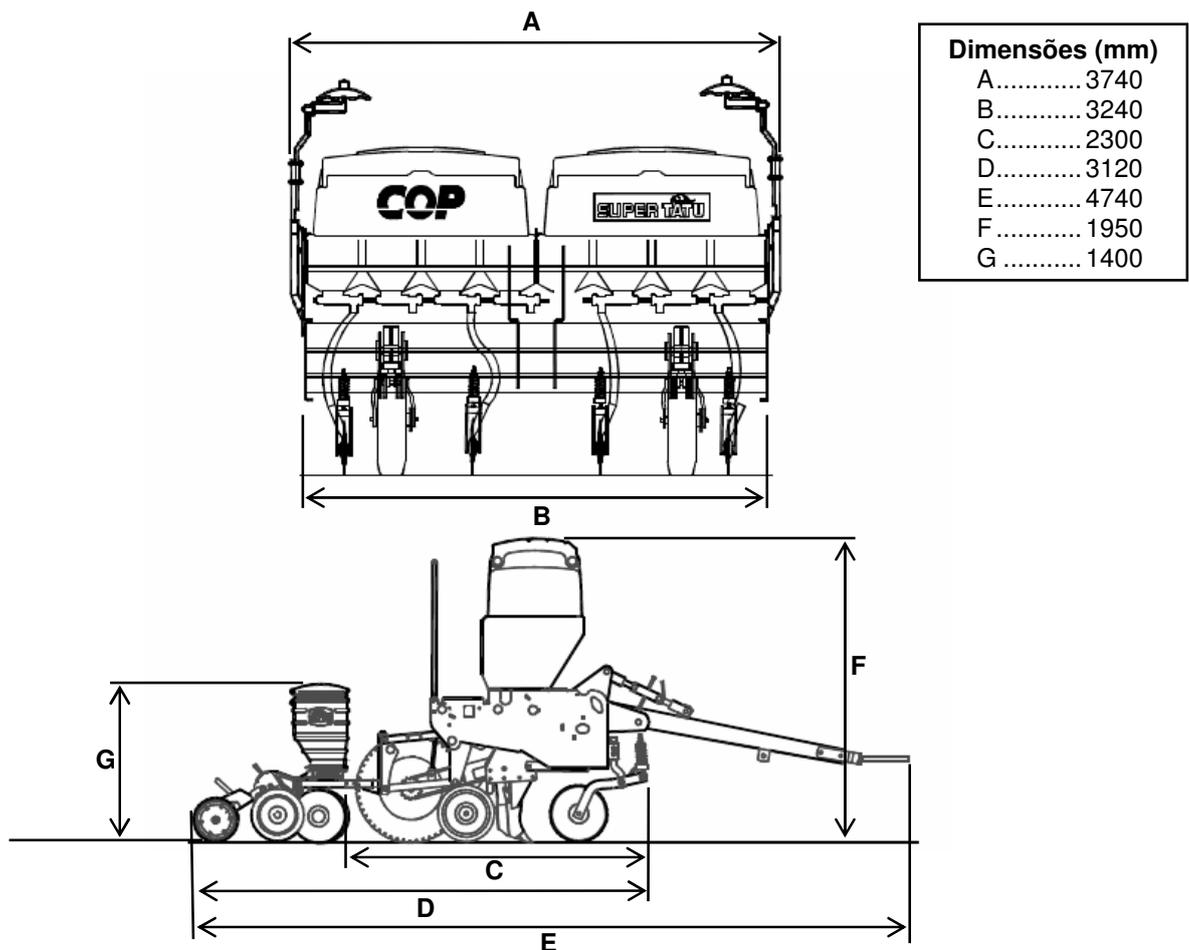
VALTRA BM100			
Motor		Dimensões	
Marca	Valtra	Distância entre eixos	2 525 mm
Modelo	420DS	Bitola máxima	2 240 mm
Tipo	Turbo alimentado	Altura da barra de tração	400 mm
Arrefecimento	Líquido	Tanque de combustível	140 L
Cilindrada	4 400 cm ³	Pneus	
N° de cilindros	4	Dianteiro	14.9-24
Potência máxima no motor	73,6 kW (100 cv)	Traseiro	23.1-26
		Distribuição de massa	
Rotação de potência máxima	2 300 rpm	Trator sem Lastro	
Torque máximo	367 N m	Dianteiro	1 406 kg
Rotação de torque máximo	1 400 rpm	Traseiro	2 109 kg
Bomba injetora	Rotativa	Total	3 515 kg
Tração	4x2	Trator com Lastro	
Dianteira	Auxiliar (TDA)	Dianteiro	2 160 kg
Traseira	Integral	Traseiro	3 240 kg
Número de marchas	16 à frente, 8 à ré	Total	5 400 kg

Fonte: Lopes, A. (2006).

Tabela 2A. Características da semeadora-adubadora COP SUPREMA 7/4

COP SUPREMA 7/4			
Especificações		Capacidades	
Marca	Tatu Marchesan	Depósito de adubo	1 170 L 1 310 kg
Tipo	COP SUPREMA	Depósito de sementes	248 L 200 kg
Modelo	7/4	Massa	2070 kg
Espaçamentos (mm)	700, 750, 800, 850, 900, 950	Potência exigida	Disco duplo 65-75 cv Haste 89-90 cv
Largura útil (mm)	2900	Pneus (2)	700x16, 10 lonas
Discos de sementes	48 furos ϕ 5,5 mm		

Fonte: TATU Marchesan (2004).



Fonte: adaptado de TATU Marchesan (2004).

Figura 1A. Principais dimensões da semeadora-adubadora