

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ – UNIOESTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

VARIABILIDADE ESPACIAL DO DESENVOLVIMENTO E DA
PRODUTIVIDADE DO TRIGO -*Triticum aestivum*

MARI ROMAN

Cascavel – PR
Fevereiro – 2005

MARI ROMAN

**VARIABILIDADE ESPACIAL DO DESENVOLVIMENTO E DA
PRODUTIVIDADE DO TRIGO - *Triticum aestivum***

Dissertação apresentada em
cumprimento parcial aos requisitos para
obtenção do título de Mestre em
Engenharia Agrícola, área de
concentração Engenharia de Sistemas
Agroindustriais.

Orientador: Prof. Dr. Miguel Angel
Uribe Opazo

Co-orientadora: Profa. Dra. Lúcia
Helena Pereira Nóbrega.

Cascavel – PR
Fevereiro – 2005

Mari Roman

“Variabilidade Espacial do Desenvolvimento e da Produtividade do Trigo –
Triticum aestivum”

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, pela comissão formada pelos professores:

Orientador: Prof. Dr. Miguel Angel Uribe Opazo
UNIOESTE/CCET – Cascavel - PR

Prof. Dr. Paulo Justiniano Ribeiro Júnior
UFPR – Curitiba - PR

Prof. Dr. Marcio Antonio Vilas Boas
UNIOESTE/CCET – Cascavel - PR

Prof. Dr. Eduardo Godoy de Souza
UNIOESTE/CCET – Cascavel - PR

Cascavel, 28 de fevereiro de 2005.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter feito a natureza tão rica em detalhes e pela capacidade de compreensão concedida.

Ao doutor Miguel Angel Uribe Opazo, pela orientação prestada, pelo incentivo, atenção e amizade.

À doutora Lúcia Helena Pereira Nóbrega, pelas excelentes sugestões no enriquecimento do trabalho.

À CAPES, pela bolsa concedida.

Ao Fernando de Col, pela compreensão e carinho.

Aos colegas: Joelmir André Borssoi, Clementina Scherpinski, Dione Christ Milani, Lairton Milani, Daniela Trentin Nava, Claudinei Lunkes, Jerry Adriani Johnn e Karison Pan, pela ajuda na árdua labuta de coletar dados.

Ao também colega e vizinho Josimar Postal, pelos socorros computacionais.

SUMÁRIO

<u>1 INTRODUÇÃO.....</u>	<u>1</u>
<u>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</u>	<u>3</u>
<u>2.1 ESTATÍSTICA ESPACIAL.....</u>	<u>3</u>
<u>2.1.1 Dados de Interação Espacial.....</u>	<u>4</u>
<u>2.1.2 Dados de Processos Pontuais.....</u>	<u>4</u>
<u>2.1.3 Dados de Área.....</u>	<u>5</u>
<u>2.1.4 Dados de Superfície Aleatória.....</u>	<u>5</u>
<u>2.1.5 Formas de Variação de Dados.....</u>	<u>6</u>
<u>2.2 VARIABILIDADE ESPACIAL.....</u>	<u>7</u>
<u>2.3 GEOESTATÍSTICA.....</u>	<u>9</u>
<u>2.3.1 Semivariograma.....</u>	<u>12</u>
<u>2.3.1.1 Semivariograma teórico.....</u>	<u>14</u>
<u>2.3.1.2 Validação de modelos.....</u>	<u>17</u>
<u>2.3.2 Anisotropia.....</u>	<u>18</u>
<u>2.3.3 Krigagem.....</u>	<u>20</u>
<u>2.3.4 Semivariograma Cruzado.....</u>	<u>21</u>
<u>2.4 O TRIGO.....</u>	<u>22</u>
<u>2.5 APROXIMAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO DISCRETA PARA A</u> <u>DISTRIBUIÇÃO NORMAL.....</u>	<u>25</u>
<u>3 MATERIAL E MÉTODOS.....</u>	<u>26</u>
<u>3.1 ARÉA DO EXPERIMENTO.....</u>	<u>26</u>
<u>3.2 AS CULTIVARES.....</u>	<u>27</u>
<u>3.3 COLETA DE DADOS.....</u>	<u>28</u>
<u>3.3.1 Emergência de Plântulas.....</u>	<u>30</u>
<u>3.3.2 Altura da Planta.....</u>	<u>30</u>
<u>3.3.3 Número de Perfilhos.....</u>	<u>31</u>
<u>3.3.4 Número de Espigas.....</u>	<u>31</u>
<u>3.3.5 Comprimento da Espiga.....</u>	<u>31</u>
<u>3.3.6 Número de Grãos por Espiga.....</u>	<u>31</u>

3.3.7 Produtividade.....	32
3.3.8 Peso de Mil Sementes.....	32
3.3.9 Dados Climáticos.....	32
3.4 ANÁLISE DOS DADOS.....	33
3.4.1 Análise Descritiva.....	33
3.4.2 Análise Espacial.....	34
3.4.2.1 Tendência.....	34
3.4.2.2 Normalidade.....	37
3.4.2.3 Anisotropia.....	37
3.4.2.4 Variabilidade espacial.....	38
3.4.2.5 Predição e correlação.....	39
3.5 COMPARAÇÃO DE MÉDIAS.....	40
3.6 RECURSOS COMPUTACIONAIS.....	41
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	42
4.1 ESTATÍSTICA DESCRITIVA.....	42
4.1.1 Análise Descritiva das Variáveis Obtidas por Processo de Medição.....	42
4.1.2 Análise Descritiva das Variáveis Obtidas por Processo de Contagem.....	49
4.2 TENDÊNCIAS.....	55
4.2.1 Gráfico de Dispersão dos Dados pelas Coordenadas Cartesianas.....	56
4.2.2 Gráfico Postplot.....	60
4.2.3 Variação da Média nas Direções X e Y.....	65
4.2.4 Efeito Proporcional.....	68
4.2.5 Influência de Covariáveis.....	70
4.2.6 Síntese da Análise de Tendência.....	71
4.3 VARIABILIDADE ESPACIAL.....	73
4.3.1 Estimador de Semivariância.....	73
4.3.2 Normalidade na Distribuição de Probabilidade.....	73
4.3.3 Anisotropia.....	75
4.3.4 Modelagem da Variabilidade Espacial.....	77
4.3.5 Emergência de Plântulas (E) com Transformação log (E).....	79
4.3.6 Altura de Plantas 30 DAS (A1), Transformação de Box e Cox ($=-0,5$).....	85

<u>4.3.7</u>	<u>Altura de Plantas 60 DAS (A2), Transformação de Box e Cox (= -0,6).....</u>	<u>89</u>
<u>4.3.8</u>	<u>Altura de Plantas 90 DAS (A3), Transformação de Box e Cox (= 4).....</u>	<u>92</u>
<u>4.3.9</u>	<u>Altura de Plantas na Colheita (A4), Transformação Box e Cox (= 5,5).....</u>	<u>97</u>
<u>4.3.10</u>	<u>Número de perfilhos 60 DAS (P2).....</u>	<u>101</u>
<u>4.3.11</u>	<u>Peso de Mil Sementes (P1000), Transformação por Box e Cox (=5).....</u>	<u>105</u>
<u>4.3.12</u>	<u>Produtividade do Trigo (PROD).....</u>	<u>109</u>
<u>4.3.13</u>	<u>Número de perfilhos 30 DAS (P1).....</u>	<u>112</u>
<u>4.3.14</u>	<u>Número de Espigas 90 DAS (NE3).....</u>	<u>114</u>
<u>4.3.15</u>	<u>Número de Espigas na Colheita (NE4).....</u>	<u>115</u>
<u>4.3.16</u>	<u>Comprimento de Espigas na Colheita (CE4).....</u>	<u>117</u>
<u>4.3.17</u>	<u>Número de Grãos por Espiga (NG).....</u>	<u>118</u>
<u>4.3.18</u>	<u>Correlação Espacial.....</u>	<u>119</u>
<u>5</u>	<u>CONCLUSÕES.....</u>	<u>122</u>
	<u>REFERÊNCIAS.....</u>	<u>123</u>

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Estatísticas descritivas das características fisiológicas do trigo, das variáveis obtidas por medição, para as cultivares e o conjunto total de dados.....	43@~
Tabela 2 - Índices de crescimento de plantas das cultivares estudadas.....	46@~
Tabela 3 - Estatísticas descritivas das características fisiológicas do trigo, das variáveis obtidas por processo de contagem, para as cultivares e o conjunto total de dados.....	50@~
Tabela 4 - Tendências direcionais detectadas pela análise do gráfico de dispersão dos dados pelas coordenadas cartesianas dos pontos amostrais....	56@~
Tabela 5 - Relações de tendência das variáveis detectadas pela variação da média segundo as coordenadas X e Y.....	66@~
Tabela 6 - Coeficiente de determinação (R ²) da relação entre média e desvio padrão dos dados agrupados por linhas e colunas, do plano amostral para as variáveis estudadas.....	69@~
Tabela 7 - Tendências consideradas nas coordenadas das variáveis estudadas e o efeito da covariável.....	72@~
Tabela 8 - Valores estimados para ρ e seus respectivos intervalos de 95% de confiança.....	74@~
Tabela 9 - Fator de anisotropia (Fa) e ângulo θ de maior variabilidade espacial.....	76@~
Tabela 10 - Modelos teóricos e seus parâmetros, descrevendo a variabilidade espacial das características fisiológicas do trigo.....	77@~
Tabela 11 - Coeficiente de efeito pepita relativo, segundo os três métodos de ajustes utilizados.....	78@~
Tabela 12 - Coeficientes de Indicação de Akaike (AIC) para dependência espacial ajustada pela MV e independência espacial.....	79@~
Tabela 13 - Correlação espacial das variáveis do trigo.....	119@~
Tabela 14 - Alcance das correlações espaciais das variáveis do trigo.....	120@~

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema amostral da área do experimento, junto à Cooperativa Central de Pesquisa Agrícola.....	27@~
Figura 2 - Localização da estaca em relação ao quadro utilizado para delimitar a área da coleta.....	29@~
Figura 3 - Boxplot da altura de plantas 60 DAS e na colheita de estratificado pela cultivar.....	45@~
Figura 4 - Boxplot dos dados da altura de planta 30 DAS (A1), 60 DAS (A2), 90 DAS (A3) e na colheita (A4).....	45@~
Figura 5 - Gráfico de controle do peso de mil sementes em comparação com a média histórica das cultivares utilizadas.....	48@~
Figura 6 - Gráfico de controle da altura de plantas na fase da colheita, comparativamente à média esperada para o experimento.....	48@~
Figura 7 - Gráfico de controle da produtividade, comparativamente à média nacional do ano de 2003 (2,4 t ha ⁻¹).....	49@~
Figura 8 - Boxplot da emergência de plântulas.....	53@~
Figura 9 - Gráfico de controle da emergência de plântulas, comparando com média esperada de 288 plântulas emersas por m ²	53@~
Figura 10 - Distribuição dos dados do número de perfilhos 30 e 60 dias após semeadura, pelas cultivares.....	54@~
Figura 11 - Gráficos de controle da variável número de perfilhos 60 DAS...	55@~
Figura 12 - Gráfico de dispersão pela coordenada X (oeste-leste) dos dados da altura de plantas em duas fases do desenvolvimento.....	57@~
Figura 13 - Relação dos dados de altura de plantas aos 90 DAS e na colheita com a coordenada X.....	58@~
Figura 14 - Gráfico de dispersão pela coordenada Y (sul-norte) das alturas de plantas 30 DAS e aos 60 DAS.....	59@~
Figura 15 - Relação do número de perfilhos 60 DAS com as coordenadas cartesianas da área de amostragem.....	60@~

Figura 16 - Classificação das alturas de planta 30 DAS, pelos valores amostrados em cada parcela.....	61@~
Figura 17 - Produtividade do trigo nos locais de amostragem.....	62@~
Figura 18 - Classificação dos dados amostrados do comprimento de espigas na colheita, pelos quartis, considerando os locais de amostragem.....	63@~
Figura 19 - Representação dos dados amostrados referentes ao número médio de perfilhos por planta.....	64@~
Figura 20 - Médias dos dados da altura de plantas 60 DAS, com agrupamento por linhas (oeste-leste) e por colunas (sul-norte).....	67@~
Figura 21 - Dispersão das médias dos dados da altura de planta 90 DAS, com agrupamento por linhas (sul-norte) e colunas (leste-oeste).....	68@~
Figura 22 - Distribuição dos dados da altura de plantas 60 DAS nas sub-áreas.	70@~
Figura 23 - Distribuição dos dados da altura de plantas 90 DAS nas sub-áreas.	71@~
Figura 24 - Gráfico da estimação por máxima verossimilhança do ótimo para a transformação de Box e Cox para a altura de plantas 30 DAS.....	75@~
Figura 25 - Semivariogramas direcionais e envelopes da semivariância omnidirecional da emergência de plântulas.....	76@~
Figura 26 - Limitantes das semivariâncias experimentais isotrópicas, considerando independência entre as amostras, para o logaritmo da emergência de plântulas.....	80@~
Figura 27 - Nuvem variográfica do logaritmo da emergência de plântulas....	81@~
Figura 28 - Mapa de contorno da emergência de plântulas, gerado pelo processo de interpolação krigagem com parâmetros estimados por WLS1.	83@~
Figura 29 - Diferença entre os valores amostrados e os estimados pela krigagem, para a emergência de plântulas.....	83@~
Figura 30 - Dispersão das estimativas de krigagem em relação aos valores observados para a emergência de plântulas.....	84@~

Figura 31 - Limitantes das semivariâncias experimentais isotrópicas, considerando independência entre as amostras (envelopes) para os dados transformados da altura de plantas 30 DAS.....	85@~
Figura 32 - Representação gráfica dos modelos da variabilidade espacial dos dados transformados da altura de plantas 30 DAS.....	86@~
Figura 33 - Mapas das predições das alturas de plantas 30 DAS, obtidos por krigagem.....	87@~
Figura 34 - Dispersão dos valores amostrados pelos valores estimados pela krigagem da altura de plantas 30 DAS, utilizando o modelo gerado pela MV.....	88@~
Figura 35 - Diferença entre os valores amostrados e os estimados por krigagem para a altura de plantas 30 DAS.....	89@~
Figura 36 - Limitantes das semivariâncias experimentais isotrópicas, considerando independência entre as amostras (envelopes), para dados transformados da altura de plantas 60 DAS.....	90@~
Figura 37 - Mapa das estimativas da altura de plantas 60 DAS obtidos por krigagem.....	91@~
Figura 38 Dispersão dos valores amostrados pelos valores estimados pela krigagem para a altura de plantas 60 DAS, utilizando o modelo gerado pelo WLS1.....	92@~
Figura 39 - Comparação dos valores amostrados e estimados utilizando o modelo obtido por OLS, para a altura de plantas 60 DAS, considerando a localização na área.....	92@~
Figura 40 - Modelos da variabilidade espacial dos dados transformados da altura de plantas 90 DAS.....	93@~
Figura 41 - Semivariâncias experimentais isotrópicas e envelopes determinados, considerando independência entre as amostras, para os dados transformados da altura de plantas 90 DAS.....	94@~
Figura 42 - Mapa de contorno da altura de plantas 90 DAS, gerado por krigagem.	95@~

Figura 43 - Dispersão entre os valores amostrados e estimados para a altura de plantas 90 DAS.....	96@~
Figura 44 - Comparação nos locais de amostragem dos valores amostrados e os valores preditos, utilizando ajuste por MV.....	97@~
Figura 45 - Semivariograma dos dados transformados da altura de plantas na colheita e os modelos da variabilidade espacial ajustados.....	98@~
Figura 46 - Limitantes das semivariâncias experimentais isotrópicas considerando independência entre as amostras (envelopes), dos dados transformados da altura de plantas na colheita.....	99@~
Figura 47 - Mapas das estimativas da altura de plantas na colheita.....	99@~
Figura 48 - Comparação dos valores amostrados e estimados da altura de plantas na colheita.....	100@~
Figura 49 - Comparação localizada dos valores amostrados e os valores preditos utilizando o ajuste por MV, para a altura de plantas na colheita.....	101@~
Figura 50 - Semivariograma do número de perfilhos 60 DAS com modelos ajustados.....	102@~
Figura 51 - Envelopes do semivariograma do número de perfilhos 60 DAS.....	103@~
Figura 52 - Mapas das predições do número de perfilhos 60 DAS, utilizando krigagem.....	103@~
Figura 53 - Dispersão entre valores amostrado estimados para o número de perfilhos 60 DAS.....	104@~
Figura 54 - Comparação dos valores amostrados e os valores preditos utilizando o modelo ajustado pela MV, considerando as localizações na área.....	105@~
Figura 55 - Semivariograma dos dados transformados do peso de mil sementes com modelos de variabilidade espacial.....	106@~
Figura 56 - Envelopes do semivariograma dos dados transformados do peso de mil sementes.....	107@~
Figura 57 - Dispersão entre valores amostrados e preditos para o peso de mil sementes.....	108@~

Figura 58 - Mapas das predições do peso de mil sementes..... 108@~

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo estudar e modelar a variabilidade espacial de variáveis referentes ao desenvolvimento do trigo cultivado no ano de 2003 em área de 22,62 ha pertencente à Cooperativa Central de Pesquisa Agrícola (COODETEC). Foram utilizadas cultivares CD 101 (3,52 ha) e CD 103 (18,10 ha). As amostragens foram em grade de 50 x 50 m, totalizando 89 pontos, a unidades de análise um quadrado de 0,25 m². Foram obtidos dados de emergência de plântulas, número de perfilho, altura de plantas, número de espigas, comprimento de espigas, número de grãos por espiga, peso de mil sementes e produtividade. A dependência espacial foi mais evidente para o número médio de perfilhos por planta coletado 60 dias após a semeadura (DAS) e para a altura de plantas na colheita do trigo. Nas variáveis relacionadas com a espiga do trigo e os dados do número médio de perfilhos por planta 30 dias após semeadura não identificou-se dependência espacial. As demais variáveis foram consideradas espacialmente dependentes. Para as variáveis consideradas independentes espacialmente, comparou-se a média entre as cultivares, o número médio de perfilhos aos 30 DAS e o comprimento da espiga apresentaram médias significativamente diferentes ao nível de 5 % de significância pelo teste de Tukey. Estimou-se os valores das variáveis para locais não amostrados pela técnica da krigagem e foram gerados mapas de contorno, para as variáveis consideradas espacialmente dependentes ou independentes. Houve correlações espaciais negativas e positivas entre as variáveis consideradas, com alcances de correlação de 200 a 700 m.

PALAVRAS CHAVES: krigagem, semivariograma, altura de plantas, número de perfilhos

SUMMARY

This work had by objective to study and to model the spatial variability of variables relative at the wheat development cultivated in year 2003 in 22,62 ha pertain at Central Co-operative of Agricultural Research (COODETEC). Went used the cultivates Coodetec 101 (3,52 ha) and Coodetec 103 (18,10 ha). The samples went collected in gride of 50 x 50 m, totalized 89 points, the analysis unity a square with 0,25 m². Went obtained data of emergency seedling, number of s-shoot, height of plants, number of spikes, length spikes, number of grain by spike, weight of thousand seed and production. The spatial dependence went more clear by mean number of s-shoot collected 60 days after to sow and crop height of plants. Variables with relation at the spike and the number of s-shoot 30 days after sow don't had spatial dependence. The others variables went considered with spatial dependence. To the variable spatial independence, compared the mean between the cultivates, and by mean number of s-shoot collected 30 days after to sow and length spikes the mean had difference signification in level of 5 %, by Tukey test. Went made prediction of all variables, spatial dependence or independence, to places no sampled by kriging technical and begot contour maps. There was spatial correlation negative and positive between variables, with correlation range of 200 till 700 m.

KEY WORDS: kriging, semivariance, height of plants, number of s-shoot.

1 INTRODUÇÃO

O trigo é um produto fundamental para a alimentação humana e uma das suas principais fontes de alimento. No Brasil, foi a primeira cultura cultivada em escala comercial o que ocorreu em meados de 1534, permitindo ao Brasil antecipar-se aos demais países americanos na exportação do produto. Com o surgimento da ferrugem, principal inimiga da produção do trigo, já na metade do século XVIII, as terras brasileiras deixaram de produzir excedentes, o que motivou o início das pesquisas. Em 1912, foram instaladas duas estações experimentais para estudos relacionados com o trigo (ABITRIGO, 2004). Atualmente, o Brasil ainda não é auto-suficiente na produção e ocupa o segundo lugar no *ranking* dos importadores mundiais de trigo (FAEP, 2002).

Dada a importância econômica e para alimentação, estudos para melhor conhecer o desenvolvimento da cultura do trigo contribuem para a elaboração de técnicas de produção e em tomadas de decisão durante o processo de produção, auxiliando no avanço das pesquisas e, futuramente, na diminuição da quantidade importada e da dependência brasileira da produção estrangeira.

Com as ferramentas certas, é possível verificar se o valor de uma variável amostrada em determinado ponto da área de produção possui relação com valores amostrados em outros locais. Se existir relação e esta depender da distância euclidiana entre as amostras, diz-se que a variável apresenta dependência espacial.

A geoestatística é um conjunto de métodos estatísticos que consideram na análise os dados amostrados e a localização das amostras, desenvolvidos para tratar e descrever dados com dependência espacial.

Para que a dependência espacial possa ser modelada por métodos geoestatísticos, os dados devem apresentar variação espacial contínua, característica apresentada também por dados originários de contagem.

Conforme RIBEIRO JUNIOR e DIGGLE (2001), a ferramenta comumente usada para descrever a dependência espacial na geoestatística é o semivariograma empírico, que descreve a associação espacial como função da distância.

A emergência de plântulas, número de perfilhos, número de grãos por espigas variam continuamente no espaço e são obtidos por processos de contagem. Nesses dados como nos demais: altura de plantas, número de espigas, comprimento das espigas, peso de mil sementes e produtividade, é necessário verificar se apresentam estrutura de dependência espacial e posteriormente modelar essa dependência. Com o modelo de dependência espacial é possível utilizar a krigagem, estimador sem tendência e com variância mínima (VIEIRA, 1998), para estimar valores para locais dentro da área, gerando desse modo mapas temáticos.

Conhecer o comportamento de variáveis ligadas ao desenvolvimento do trigo é importante para compreender a cultura. Os mapas temáticos facilitam essa compreensão, o que pode auxiliar na identificação de problemas e particularidades da cultura que não são percebidos no manejo tradicional.

O objetivo deste trabalho foi estudar as estruturas de dependência espacial de variáveis relacionadas ao desenvolvimento e à produtividade do trigo nas cultivares COODETEC 101 e COODETEC 103.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ESTATÍSTICA ESPACIAL

ASSUNÇÃO (2001) definiu estatística espacial como o ramo da estatística que estuda os métodos científicos para a coleta, descrição, visualização e análise de dados que possuem coordenadas geográficas e que possam ser modelados como processos estocásticos e acrescentou que a marca distintiva dessa forma de estatística é o uso implícito ou explícito das coordenadas na modelagem.

A modelagem de dados é alavancada pelo desenvolvimento computacional que agiliza os processos tornando mais dinâmicos e ágeis os seus estudos.

A estatística espacial é utilizada e estudada em diversas áreas de conhecimento: agronomia, engenharia agrícola, mineração, geologia, biologia, saúde, segurança pública e todas têm contribuído para o seu desenvolvimento e para o aprimoramento das técnicas.

Ao referir-se à estatística espacial, surge a idéia de mapas temáticos, nos quais se pode expressar o comportamento de variáveis. ASSUNÇÃO (2001 p. 2) chamou atenção para um ponto importante a ser considerado quando se propõem estudar estatística espacial e utilizar suas ferramentas a fim de obter resultados: “... mapas por si mesmos não são úteis ao menos que possamos descrevê-los, compará-los e interpretá-los”. Enfatizou também a importância da veracidade das informações apresentadas pelos mapas.

Quatro categorias de dados são estudadas por métodos de estatística espacial: dados de interação espacial; dados de processos pontuais; dados de área e dados de superfície aleatória.

2.1.1 Dados de Interação Espacial

ASSUNÇÃO (2001) relatou que neste tipo de dados os locais de amostragem S_i e S_j são fixos e considerados como pares ordenados. S_i corresponde ao local (x_i, y_i) que é origem do evento e o ponto S_j corresponde ao local (x_j, y_j) , correspondente ao destino do evento. O que é aleatório nesses dados é o fluxo F_{ij} , ocorrido entre os locais S_i e S_j do par ordenado. Enfatizou que o principal interesse de um estudo desse tipo de dados é verificar como e quais as características das estações de coleta S_i e S_j determinam o volume do fluxo entre elas e determinar onde colocar uma nova estação para minimizar o custo global do fluxo.

2.1.2 Dados de Processos Pontuais

Dados de processos pontuais correspondem a um conjunto de dados formado por coordenadas geográficas representando as localizações exatas da ocorrência de um determinado evento, que é qualquer tipo de fenômeno localizável no espaço e que possa estar associado à representação pontual. Sendo aleatória nesses casos a própria localização espacial do fenômeno (ASSUNÇÃO, 2001).

CÂMARA et al. (2002a) relataram que, na análise de padrões de pontos, o objeto de interesse é a própria localização espacial do evento em estudo. ASSUNÇÃO (2001) considerou que, tomando-se como ponto de partida a localização espacial dos eventos, deve-se buscar aglomerações de casos,

verificando se as ocorrências estão próximas de uma fonte geradora e se há relação com a ocorrência de outro evento e quantificar a evidência do excesso de eventos ocorridos próximos no tempo e no espaço. CÂMARA e CARVALHO (2002) consideraram como objetivo da análise de dados de processos pontuais, a sua forma de distribuição, que pode ser aleatória, em aglomerados ou regularmente distribuída.

2.1.3 Dados de Área

CÂMARA et al. (2002b) relataram que a localização dos dados de área está associada a delimitações por polígonos, ocorrendo com frequência em eventos agregados por municípios, bairros ou setores censitários, onde não se dispõe da localização exata dos eventos, mas de um valor por área. Alguns desses indicadores são contagens, como é o caso da maior parte das variáveis coletadas no censo. A forma usual de apresentação de dados agregados por áreas é o uso de mapas coloridos com o padrão espacial do fenômeno.

ASSUNÇÃO (2001) relatou que o principal interesse na análise de dados de área é o de testar se o padrão de distribuição dos dados é aleatório ou não e produzir mapas mais suaves que o observado, detectando sub-regiões com valores mais elevados que o esperado.

2.1.4 Dados de Superfície Aleatória

ASSUNÇÃO (2001) relatou que categoria de dados de superfície aleatório encaixa-se a área da estatística espacial chamada geoestatística e que, nesse tipo de dados, o que é aleatório é a superfície $Z(s)$ do fenômeno estudado (temperatura, índice pluviométrico, pH da água em um lago, acidez do solo e demais características físicas e químicas do solo, entre outras).

Para esse tipo de dados, geralmente, existem n pontos de coleta, cujas localizações são fixas e conhecidas (s_1, s_2, \dots, s_n). Nesses pontos é feita a coleta dos dados de superfície $Z(s)$, gerando um conjunto de variáveis aleatórias ($Z(s_1), Z(s_2), \dots, Z(s_n)$).

2.1.5 Formas de Variação de Dados

RIBEIRO JUNIOR (2002) apresentou uma classificação da estatística espacial com os seguintes aspectos:

a) Variação espacial discreta: formada por dados com estrutura básica da forma Z_i , para $i = 1, \dots, n$, os quais dificilmente surgem naturalmente, mas são usados freqüentemente como estratégia pragmática, cujos modelos são tipicamente definidos indiretamente de condicionais completas |.

b) Variação espacial contínua: formada por dados com estrutura básica da forma |, em que os dados correspondem a um par ordenado (y_i, x_i) : $i = 1, \dots, n$, sendo Z_i os valores amostrados, S_i a localização geográfica do local de amostragem.

c) Processo de pontos espaciais: cuja estrutura básica corresponde à contagem de um conjunto de pontos $s_i \in R^2$, gerados estocasticamente. Tais dados são, muitas vezes, convertidos para variações espaciais aparentemente discretas, com agregação em sub-regiões.

CÂMARA et al. (2002a) também consideraram esses três grupos de dados da estatística espacial e relataram que a resolução de um problema espacial pode envolver a utilização de um deles, ou a interação de alguns, ou mesmo de todos. Os autores citados acima apresentaram ainda um exemplo do controle e tratamento da Leishmaniose visceral, doença transmitida por mosquitos que ataca principalmente animais, mas também o homem. Nesse exemplo mostraram a aplicabilidade de cada uma das três categorias de dados da estatística espacial,

com seus objetivos imediatos diferentes, mas que, ao final, buscam o controle da doença.

RIBEIRO JUNIOR (2002) chamou atenção para dois assuntos estratégicos no estudo e aplicação da estatística espacial: a) não confundir o formato dos dados com o processo que o gerou; e b) que a escolha do modelo pode ser influenciada pelos objetivos científicos do estudo e considerar a análise do problema e não dos dados.

2.2 VARIABILIDADE ESPACIAL

VIEIRA (1998) definiu dependência espacial como a variação de um local para outro com algum grau de organização e continuidade e apresentou o semivariograma como ferramenta capaz de avaliar e detectar essa dependência. Afirmou também que existindo dependência espacial a média e o desvio padrão dos dados não são ferramentas apropriadas para representar o fenômeno, que pode ser melhor descrito por técnica de geoestatística.

No início do século XX já havia interesse em estudos de variabilidade espacial. Em 1910, Smith estudou a disposição de parcelas no campo em experimento de rendimento de variedades de milho. Em 1913, Montgomery estudou o efeito do nitrogênio no rendimento de trigo. Em 1919, Waynick e Sharp buscaram caracterizar ou conhecer a variabilidade espacial do nitrogênio total e do carbono em variados esquemas de amostragem.

Dessa forma, a variabilidade espacial é motivo de preocupação desde o início do século passado, mas seu estudo foi interrompido por um certo tempo. A maior causa dessa descontinuidade foi a adoção da técnica de amostragem como casualização e repetição, como também o maior conhecimento e conseqüente utilização de funções de distribuição, levando a amostragem ao acaso, sem considerar as coordenadas geográficas do ponto amostrado (VIEIRA, 1998).

Essas novas técnicas de amostragem são regidas pelas suposições de normalidade da variável, homocedasticidade de variância e independência dos erros. As duas primeiras suposições são de fácil verificação, porém a independência dos erros não pode ser testada por métodos simples (GUIMARÃES, 2001). O mesmo autor relatou que a aleatorização e repetição, propostas pela estatística não espacial para garantir a independência dos erros, nem sempre a garante, isso porque algumas variáveis apresentam forte dependência espacial, que não é eliminada pelas técnicas adotadas.

No entanto, na mineração havia necessidade do desenvolvimento e uso de ferramental estatístico que fosse capaz de traduzir a estrutura de variabilidade espacial de um determinado atributo, bem como permitir interpolações que levassem a boas estimativas para locais não amostrados (RIBEIRO JUNIOR, 1995).

Informações referenciadas não são privilégios da mineração. Diversos campos do conhecimento passaram a utilizar tais procedimentos de estudos RIBEIRO JUNIOR (1995), porém foi em estudos da área da mineração que a variabilidade espacial obteve os primeiros avanços práticos, quando se concluiu que a variância dos dados possuía uma estruturação dependente da distância de amostragem (GUIMARÃES, 2001).

A partir de 1980, a aplicação da técnica de geoestatística ganhou impulso e grande aplicabilidade na ciência do solo (GUIMARÃES, 2001). O que justificou essa difusão do uso foi a facilidade computacional que viabilizou alguns cálculos relativamente trabalhosos nessa metodologia.

CÂMARA et al. (2002a p. 11) escreveram que um conceito chave na compreensão e análise dos fenômenos espaciais é a dependência espacial, e que esta noção partiu de que Waldo Tobler chama de primeira lei da geografia: “todas as coisas são parecidas, mas coisas mais próximas se parecem mais que coisas mais distantes”.

CAMARGO, FUCKS e CÂMARA (2002) afirmaram que a variação espacial de uma variável regionalizada pode ser expressa pela soma de três componentes: a) uma componente estrutural, associada a um valor médio

constante ou a uma tendência constante, b) uma componente aleatória, espacialmente correlacionada e c) um ruído aleatório ou erro residual. Se o vetor s representa uma posição em uma, duas ou três dimensões, então o valor da função aleatória Z , em s , é dada por:

$$Z(s) = \mu(s) + e'(s) + e''(s) \quad (1)$$

em que:

- $\mu(s)$ é uma função determinística que descreve a componente estrutural de Z em s ;
- $e'(s)$ é um termo estocástico correlacionado, que varia localmente;
- e'' é um ruído aleatório não correlacionado, com distribuição normal com média zero e variância σ^2 .

2.3 GEOESTATÍSTICA

A geoestatística foi inicialmente conhecida como Teoria das Variáveis Regionalizadas, organizada por George Matheron. VIEIRA (1998) afirmou que Matheron definiu variável regionalizada como uma função espacial numérica que varia de um local para outro, com uma continuidade aparente e cuja variação não pode ser representada por uma função matemática simples.

PANNATIER (1996) definiu variável regionalizada como uma variável distribuída no espaço a qual é usada para representar um fenômeno natural, e contínuo, afirmando que, usualmente, um fenômeno natural apresenta um aspecto estruturado tão bem como apresenta um aspecto errático. O aspecto estruturado está relacionado à distribuição global, enquanto o aspecto errático está relacionando ao comportamento local do fenômeno natural.

Segundo GUERRA (1988) e PERES (1998), a geoestatística possui três características estreitamente ligadas à estrutura do fenômeno natural que elas representam. Essas características são: localização, continuidade e anisotropia.

GUERRA (1988) atribuiu à geoestatística dois objetivos principais: extrair dos dados disponíveis uma imagem da variabilidade e a correlação existente entre os valores tomados em dois pontos no espaço e medir a precisão de toda estimativa feita através dos dados disponibilizados.

DIGGLE e RIBEIRO JUNIOR (2000) relataram que o formato dos dados utilizados na geoestatística é $\{s_i, Z_i\}$ em que s_i identifica a localização espacial, a qual é tipicamente referência de um espaço bidimensional (x_i, y_i) , muito embora possa indicar uma ou três dimensões e Z_i uma medida escalar obtida na localização s_i .

CÂMARA et al. (2002a) afirmaram que as técnicas da geoestatística possuem como hipótese central o conceito de estacionaridade, a qual supõe um comportamento homogêneo da estrutura de correlação espacial na região de estudo.

Um interesse da geoestatística é a predição da superfície espacial de determinada variável sobre a região na qual obteve-se dados da variável, os quais provêm de medidas possivelmente imperfeitas, em que se assume que a superfície espacial é uma realização de um processo gaussiano estocástico condicionado ao fato de que em $Z(\cdot)$ os valores amostrados são mutuamente independentes, normalmente distribuídos com média igual ao valor observado e variância σ^2 constante (DIGGLE; LOPHAVEN, 2004).

Existem conjuntos de dados em que na análise geral são homogêneos, mas que em regiões menores a homogeneidade não é comprovada. Seguir com a análise, ignorando esta falta de estacionaridade do processo, é inapropriado. Se os dados apresentarem uma gradual tendência nos seus valores, isso já é um indicativo de falta de estacionaridade do processo (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989).

Outra condição para o emprego da geoestatística é a de que os dados não apresentem tendência direcional. Um conjunto de dados distribuídos no espaço

pode apresentar variação devido à influência de fatores não estacionários, caracterizando tendência espacial. Essas tendências, segundo GUERRA (1988), podem camuflar a dependência espacial apresentada pelo semivariograma. No caso de existência de tendência, o semivariograma pode apresentar uma dependência espacial que não existe, ou então indicar que não existe dependência quando ela ocorre. O autor observa também que tendência é o crescimento da variância com o aumento da distância, e que havendo, ela deve ser eliminada e se trabalhar com os resíduos.

A tendência corresponde, na prática, à variação gradativa da variável em certa direção (RIBEIRO JUNIOR et al., 2003). Quando ocorre entre dados e coordenadas da área, pode ser verificada utilizando gráficos de correlação das amostras com as coordenadas (DIGGLE; RIBEIRO JUNIOR, 2000).

ISAAKS e SRIVASTAVA (1989) recomendaram, em casos de tendências, buscar o fenômeno que a causa, retirar a tendência e trabalhar com os resíduos.

DIGGLE e RIBEIRO JUNIOR (2000) apresentaram estudo da precipitação pluvial do Paraná, no qual a tendência foi detectada pela observação do gráfico *postplot*, evidenciando a elevação dos valores quando se desloca do nordeste para o sudoeste.

CAMARGO, FUCKS e CÂMARA (2002) observaram que podem existir situações em que variabilidade local não é constante e se modifica ao longo da área em estudo (heterocedasticidade). Um caso particular desse fato, denominado efeito proporcional, ocorre quando as distribuições são assimétricas e a média correlaciona-se à variância.

Efeito proporcional é uma relação direta ou inversa entre a média e a variância dos dados, segundo alguma direção (GUERRA, 1988). Esse autor ressaltou ainda que ele afeta as características de dispersão dos dados sem afetar as características geométricas e por isso interfere na análise de anisotropia dos dados. Sendo assim, a existência de efeito proporcional afeta as semivariâncias e, conseqüentemente, os parâmetros a elas ajustados.

ISAAKS e SRIVASTAVA (1998) relataram que em variáveis com distribuição normal de probabilidade, usualmente, não existe efeito proporcional.

2.3.1 Semivariograma

O semivariograma é uma ferramenta básica de suporte às técnicas de krigagem, pois permite representar quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado no espaço (CAMARGO, FUCKS; CÂMARA, 2002).

Para GUERRA (1988) o semivariograma é a ferramenta que permite alcançar o principal objetivo da geoestatística. ASSUNÇÃO (2001) definiu semivariograma como uma função que mede o grau de independência dos erros de acordo com a distância.

Cada conjunto de dados possui três semivariogramas: i) semivariograma verdadeiro que é o semivariograma real da variável; ii) semivariograma observado ou semivariograma experimental, obtido utilizando-se o conjunto de dados amostrados; iii) semivariograma teórico que é o semivariograma ajustado às semivariâncias experimentais, utilizado para descrever o comportamento dos dados.

O semivariograma experimental clássico de Matheron está definido na equação (2).

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

em que:

- $Z(s_i)$ e $Z(s_i + h)$ são valores da variável regionalizada em estudo nas posições s_i e $s_i + h$, sendo s_i uma coordenada espacial (x_i, y_i) ;

- $N(h)$ corresponde ao número de pares de valores amostrados separados por uma distância h .

RIBEIRO JUNIOR (1995) observou que outros estimadores têm sido propostos para se obter maior qualidade da estimação.

A idéia de zona de influência, na qual se considera que pontos mais próximos tendem a ter valores mais parecidos que pontos mais distantes, ou ainda, que quanto mais distantes forem os pontos, maior a diferença entre os seus valores, dá um sentido crescente a qualquer função que venha a descrever esse comportamento e, dessa forma, o semivariograma confirma a idéia intuitiva que se tem de zona de influência, por ser uma função crescente e positiva (GUERRA, 1988).

GUERRA (1988) evidenciou que o crescimento mais ou menos rápido do semivariograma representa, com efeito, a maneira mais ou menos rápida com a qual é reduzida a influência de uma amostra sobre as zonas mais afastadas.

Um semivariograma experimental é obtido na aplicação da equação (2), no entanto, devem ser consideradas algumas características estruturais da variável regionalizada a estudar, podendo tornar a análise um tanto quanto enganosa.

RIBEIRO JUNIOR et al. (2003) apresentaram uma técnica para checar a evidência de correlação espacial denominada de técnica dos envelopes, a qual é um recurso de simulação baseado em um teste gerado por simulação de Monte Carlo, o qual está disponibilizado no software geoR. Esse teste traz as seguintes hipóteses:

- H_0 : não existe correlação espacial dos dados (hipótese nula);

Versus

- H_1 : os dados apresentam evidências de correlação espacial (hipótese alternativa).

Como o teste é feito sobre a hipótese nula, H_0 , supondo-se que não existe correlação espacial, pode-se mudar de posição os valores observados que isso não influenciará nos resultados de variância. Dessa forma: a) permutam-se os dados das posições; b) para cada permutação gera-se um semivariograma; c) calcula-se o semivariograma envelope usando os valores mínimo e máximo de cada semivariograma calculado; d) gera-se o semivariograma para os dados originais e observa-se se está entre os envelopes.

MOLLER e WAAGEPETERSEN (2002) observaram que um estimador pode ser incerto a determinadas distâncias e a escolha de uma faixa de variação é importante. Ressaltaram também há maior certeza na decisão quando são utilizados os envelopes obtidos por processos de simulação de um modelo específico.

PENG (2002) utilizou o programa computacional R para gerar envelopes de confiança para o estudo que fazia em processos pontuais.

Um semivariograma pode ser direcional ou omnidirecional. ISAACS e SRIVASTAVA (1989) relataram que a utilização do semivariograma omnidirecional tem suas vantagens por dispor de maior número de pares de semivariâncias e, por isso, mostrar mais claramente a estrutura de dependência espacial, porém ele assume que a continuidade espacial é a mesma em todas as direções, podendo não ocorrer. Para detectar a anisotropia é necessária a construção de vários semivariogramas direcionais, trazendo informações sobre eixos de anisotropia, ou seja, quanto às direções que apresentam máxima e mínima continuidade.

Conhecer as semivariâncias para distâncias distintas e apresentá-las em gráfico, não é suficiente para o emprego de técnicas de interpolação. Para tanto, é necessário descrever a forma da continuidade que os dados apresentam e, além disso, até que ponto as amostras estão relacionadas e qual é o valor da semivariância para esta distância. Isto tudo é obtido no semivariograma teórico.

2.3.1.1 Semivariograma teórico

CRESSIE (1993) apresentou modelos teóricos de semivariogramas isotrópico, linear, esférico, exponencial, quadrático, *wave* e potência. O esférico e o *wave* são válidos para os espaços R^1 , R^2 , R^3 ; os demais valem para qualquer dimensão $d \geq 1$. ISAACS e SRIVASTAVA (1989) apresentaram os modelos esférico, exponencial, gaussiano e linear e relataram que o modelo esférico é,

talvez, o modelo mais usado e que apresenta comportamento linear no crescimento das variâncias a pequenas distâncias. Os modelos exponencial e gaussiano são classificados como transitivos, sendo o primeiro mais comumente usado.

Para RIBEIRO JUNIOR (1995) os principais modelos utilizados em geoestatística são: esférico, exponencial, gaussiano, potência.

Os modelos matemáticos mais usados no contexto agropecuário para o estudo da variabilidade espacial são os modelos esférico, exponencial e gaussiano (VENDRUSCULO, 2003). CARVALHO e VIEIRA (2004) ressaltaram que esses três modelos são os mais utilizados na geoestatística, e VIEIRA, CARVALHO e MORAES (2004) enfatizaram que embora existam outros, esses três podem satisfazer a maioria das situações encontradas.

Alcance, patamar e efeito pepita são os parâmetros que norteiam os semivariogramas teóricos e juntamente com o modelo ajustado são os que descrevem a variabilidade do fenômeno.

Alcance (a) corresponde à distância dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente. Também é denominado como zona de influência de uma amostra. Deste ponto em diante, considera-se que não existe mais dependência espacial entre as amostras, porque a variância da diferença entre pares de amostras ($\text{Var}[Z(s) - Z(s+h)]$) torna-se aproximadamente constante.

Patamar ($C = C_0 + C_1$) é o valor da variância no qual o semivariograma se estabiliza, também conhecido como variância total da variável em questão. É o valor da variância para o alcance (a) da dependência espacial.

O Efeito pepita (C_0) no semivariograma ideal tem valor é zero, no entanto, como apresentou GUERRA (1988), podem ocorrer variações locais ou a pequena escala, como erro de análise, de leitura ou de amostragem. É a esses valores que o efeito pepita está associado. CAMARGO, FUCKS e CÂMARA (2002) afirmaram também que o efeito pepita revela a descontinuidade do semivariograma a distâncias menores do que a menor distância entre as amostras e representa a componente da variabilidade espacial que pode ser relacionada

com uma causa específica (variabilidade ao acaso). Parte dessa descontinuidade pode ser também devida a erros de medição, sendo impossível quantificar se a maior contribuição provém dos erros de medição ou da variabilidade de pequena escala, não captada pela amostragem.

GUERRA (1988) apresentou um coeficiente denominado de efeito pepita relativo, que é uma combinação dos parâmetros efeito pepita e patamar, como apresentado na equação (3), afirmando ser um meio conveniente de expressar a relativa aleatoriedade da regionalização. ISAAKS e SRIVASTAVA (1989) mencionaram o efeito pepita relativo e ainda afirmaram que, geralmente, ele é apresentado como porcentagem.

$$\epsilon = \frac{C_o}{C_o + C_1} \quad (3)$$

Em que C_o é o efeito pepita e C_1 é a diferença entre o patamar e o efeito pepita.

Segundo ROYLE (1979), citado por GUERRA (1988), se:

I – $\epsilon < 0,15$ a componente aleatória é pequena;

II – ϵ a componente aleatória é importante;

III – $\epsilon > 0,30$ a componente aleatória é bastante importante;

JOURNAL (1979), citado por GUERRA (1988), apresentou outro parâmetro de decisão: se $\epsilon > 0,80$ então tem-se que a estatística e a geoestatística não se diferenciam. Desse modo, pode-se analisar o quanto a variância total é causada por variações aleatórias.

GUIMARÃES (2001) apresentou outros intervalos de análise do efeito pepita relativo que chamou de grau de dependência espacial e estabeleceu quatro níveis:

I - $\epsilon \leq 0,25$ - variável com forte dependência espacial;

II - ϵ - variável com moderada dependência espacial;

III - ϵ - variável com fraca dependência espacial;

IV - $\epsilon = 1,00$ - variável independente espacialmente;

Quando a dependência espacial é baixa, a predição valoriza mais os valores médios, enquanto que para casos em que a dependência espacial é forte a predição valoriza mais os dados do que os valores médios.

2.3.1.2 Validação de modelos

Ajustar modelos matemáticos aos semivariogramas é um procedimento subjetivo (CARVALHO; VIEIRA, 2004) e a escolha do melhor modelo de semivariograma é crucial para a correta interpretação de fenômenos que apresentem dependência espacial. Muitos são os indicadores de validação de modelos que contribuem para a escolha do melhor modelo matemático para a representação de estudos espaciais: coeficiente de determinação, soma dos quadrados dos desvios ponderados, validação cruzada, critério de informação de Akaike e critério de Filliben entre outros.

Na decisão do melhor modelo, critérios como soma dos quadrados residuais, coeficiente de determinação ou correlação múltipla, soma dos quadrados dos desvios ponderados são largamente utilizados, porém não ponderam sobre o número de componentes usados para o modelo matemático estimado, conforme VENDRUSCULO (2003), que ressaltou também que um compromisso satisfatório entre o bom ajuste e o princípio da parcimônia pode ser alcançado aplicando-se o chamado critério de informação de Akaike (1974), como um procedimento para identificação de modelos estatísticos.

O uso de índices de desempenho e critério de informação de Akaike constitui-se como importante instrumento utilizado na escolha do melhor modelo para ajuste do semivariograma, diminuindo a subjetividade que permeia o processo.

O critério de informação de Akaike (AIC) é definido como:

$$AIC = -2 \log (\text{máxima verossimilhança}) + 2p \quad (4)$$

em que p é o número de parâmetros do modelo independentemente ajustado.

PENG (2002) adverte para a importância da utilização da informação dada pelo coeficiente de Akaike para decisão pelo melhor modelo quando o número de parâmetros envolvidos é diferente de um modelo para outro.

2.3.2 Anisotropia

A anisotropia é uma característica muito freqüente nos elementos da natureza, isto é, a variabilidade ou distribuição espacial de tais elementos ocorre mais intensamente numa direção e menos intensamente em outra direção e, para lidar com a anisotropia, é importante que o modelo proposto represente bem a variabilidade espacial da propriedade em estudo (CAMARGO; FUCKS; CÂMARA, 2002).

GUERRA (1988) caracterizou a anisotropia como característica essencial da geoestatística, definindo-a como a possibilidade de existir uma direção privilegiada ao longo da qual os valores variam de forma diferente que em outra direção.

CRESSIE (1993) caracterizou a anisotropia como o processo em que a variabilidade não depende unicamente da distância entre dois pontos localizados no espaço e afirmou ser causada por processos físicos com comportamento diferenciado no espaço.

ISAAKS e SRIVASTAVA (1989) verificaram a presença de anisotropia de uma propriedade na análise visual do mapa de contorno, no qual verificaram que a continuidade na direção norte-sul não era a mesma da direção leste-oeste. Já CRESSIE (1993) identificou comportamento distinto entre as direções nordeste-sudoeste e noroeste-sudeste, observando o gráfico *scatter plot*.

GUERRA (1988) esclareceu que para sejam evidenciadas possíveis anisotropias é preciso construir o semivariograma experimental considerando

distintas direções, como 0° , 90° , 135° , 180° , visando estudar como se deforma a função semivariograma nessas direções. Se existirem deformações e comportamentos distintos nos semivariogramas segundo as direções, diz-se que há anisotropia.

Se os semivariogramas apresentarem o mesmo patamar e alcances diferentes, diz-se que a anisotropia é geométrica; se ocorrer alcances iguais e patamares distintos, tem-se anisotropia zonal. E, se tanto os patamares quanto os alcances forem diferentes, a anisotropia é denominada combinada (CAMARGO, FUCKS; CÂMARA, 2002).

ISAAKS e SRIVASTAVA (1989) apresentaram semivariogramas direcionais como alternativa para evidenciar a anisotropia e ressaltaram ainda que o processo de construção de semivariogramas direcionais seja talvez a técnica mais adequada para evidenciar a anisotropia. Lembraram que tais semivariogramas devem ser claros o bastante para que possa ser percebido o comportamento das semivariâncias nas direções, requerendo número suficiente de pares. Para isso precisa-se admitir um ângulo de tolerância a fim de garantir essa quantidade de pares.

A anisotropia pode ser corrigida por uma transformação no vetor h , dado por:

$$| \quad \quad \quad (5)$$

Em que A é uma matriz quadrada de ordem d e $2\gamma^\circ$ é uma função de uma variável real (CRESSIE, 1993).

A anisotropia geométrica é comumente encontrada na prática (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989), como uma característica do semivariograma experimental que tem aproximadamente o mesmo patamar, mas alcances diferentes (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989). A diferença tolerada entre os patamares não é especificada.

ISAAKS e SRIVASTAVA (1989) definiram anisotropia zonal como uma situação em que o valor do patamar muda conforme a direção, enquanto o valor do alcance permanece constante.

ISAAKS e SRIVASTAVA (1989) afirmaram que, na prática, é muito raro encontrar anisotropia zonal pura, sendo mais comum encontrá-la junto com a anisotropia geométrica, o que é definido como anisotropia combinada.

CARVALHO et al. (2005), ao estudarem anisotropia de variáveis do solo, identificaram anisotropia combinada. Corrigindo-se a anisotropia geométrica a anisotropia zonal foi corrigida.

2.3.3 Krigagem

Quando uma propriedade em estudo apresenta dependência espacial, pode-se estimar valores dessa propriedade para locais não amostrados dentro do campo, pelo método da krigagem, o qual faz estimativas sem tendenciosidade e com variância mínima (VIEIRA, 1998).

CAMARGO, FUCKS e CÂMARA (2002) relataram que a krigagem compreende um conjunto de técnicas de estimação e predição de superfícies, baseada na modelagem da estrutura de correlação espacial. A hipótese implícita no procedimento geoestatístico é que o processo estudado é estacionário. Os passos num estudo empregando técnicas de krigagem incluem:

- a) análise exploratória dos dados;
- b) análise estrutural (modelagem da estrutura de correlação espacial);
- c) interpolação estatística da superfície.

CAMARGO (2002) relatou que a diferença entre a krigagem e outros métodos de interpolação é a maneira como os pesos são atribuídos às amostras. No caso de interpolação linear simples, por exemplo, os pesos são todos iguais a $1/N$ (onde N é o número de amostras), na interpolação baseada no inverso do quadrado das distâncias os pesos são definidos como o inverso do quadrado da distância que separa o valor interpolado dos valores observados. Na krigagem, o procedimento é semelhante ao de interpolação por média móvel ponderada, exceto que, neste caso, os pesos são determinados por uma análise espacial,

baseada no ajuste de modelo ao semivariograma experimental. Além disso, a krigagem fornece, em média, estimativas não tendenciosas e com variância mínima. Estimativas não tendenciosas significam que, em média, a diferença entre valores estimados e verdadeiros, para o mesmo ponto, deve ser nula; e variância mínima significa que estes estimadores possuem a menor variância dentre todos os estimadores não tendenciosos.

CAMARGO, FUCKS e CÂMARA (2002) explicaram que o que dá origem aos interpoladores de krigagem ordinária é a hipótese mais simples sobre o comportamento da variável regionalizada. A média do fenômeno, $\mu(s)$ é constante na região de estudo, o que implica não haver variação significativa na larga escala.

2.3.4 Semivariograma Cruzado

Em ciências do solo, freqüentemente, encontram-se variáveis relacionadas e pode-se utilizar dessa vantagem na geração de mapas temáticos, com custo reduzido e maior precisão nas estimativas (VIEIRA 1998).

ISAAKS e SRIVASTAVA (1989) observaram que, como se tem o semivariograma para observar a variabilidade espacial de uma variável, a geoestatística tradicionalmente usa o semivariograma cruzado para descrever a continuidade cruzada entre duas variáveis.

GUERRA (1988) afirmou que a correlação existente entre duas variáveis pode ser medida e verificada pelo semivariograma cruzado, cujo estimador é dado por:

$$\hat{\gamma}_{12}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} \{ [Z_1(s_{1i} + h) - Z_1(s_{1i})] * [Z_2(s_{2i} + h) - Z_2(s_{2i})] \} \quad (6)$$

Em que:

- Z_1 e Z_2 correspondem aos valores das duas variáveis que estão sendo correlacionadas;

- h corresponde às distâncias entre as amostras da mesma variável;

- $N(h)$ é o número de valores de Z_1 e Z_2 , separados por um vetor da distância h .

Essa função do semivariograma cruzado é uma generalização da função do semivariograma experimental de Matheron (CRESSIE, 1993). Dessa forma, os modelos teóricos e os parâmetros desses modelos para o semivariograma cruzado são os mesmos apresentados para o semivariograma experimental (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989).

MATA et al. (1999) estudaram a correlação espacial entre o índice de cone e a produtividade do feijão, encontrando relação inversa entre essas variáveis. Relataram que o semivariograma cruzado foi calculado apenas para os locais em que as duas variáveis foram medidas.

SILVA et al. (2003) utilizaram o semivariograma cruzado para verificar a correlação da produtividade da soja com níveis de fósforo e potássio. Com o coeficiente de efeito pepita, definiram a força da correlação espacial e caracterizaram como forte a correlação com o potássio e fraca com o fósforo.

Estudos de correlação entre número de plantas e produtividade de gramíneas foram realizados por CARGNELUTTI FILHO e STORCK (2004) com a cultura do milho. Relataram que o melhor método de ajuste foi o que utilizou a covariância e também que não encontraram proporcionalidade linear entre as variáveis.

2.4 O TRIGO

É remotíssima a origem do trigo. Segundo COODETEC (2004), o homem cultiva o *Triticum vulgare* há pelo menos seis mil anos. No Brasil, a cultura do trigo provavelmente começou com a colonização portuguesa em São Vicente, litoral de São Paulo, ainda no século XVI. Depois migrou rumo ao sul, encontrando um ambiente climaticamente mais adequado às suas necessidades (CUNHA, 1999).

Destacam-se como grandes produtores de trigo: China, Rússia, Estados Unidos da América, Índia, França, Turquia, Austrália, Canadá, Argentina e Reino Unido (COODETEC, 2004). BAHIA (2004) ressaltou que as cinco primeiras nações citadas acima ofertam juntas 60% da produção mundial.

No Brasil, uma série de fatores dificulta a expansão da produção de trigo, mas é possível produzir trigo aqui e a viabilidade técnica e econômica dessa cultura é fruto das pesquisas agrícolas, as quais têm assegurado ao Brasil níveis de produtividade de trigo iguais ou superiores aos países do Mercosul (SILVA, 2000).

CUNHA (1999) lembrou que a cultura do trigo tem sido, ao longo de quase 500 anos em que tem ocupado importante espaço nas lavouras brasileiras, alvo das mais interessantes manifestações. De país exportador desse cereal (século XVI a XVIII), o Brasil importa hoje o equivalente a 70 % de suas necessidades de consumo. Muitos fatos tecnológicos e políticos têm interferido na fixação da cultura como um produto econômico importante e competitivo.

JACOBSEM (1999) afirmou que embora os países não revelem, cada um tem seus interesses geopolíticos e o comércio de trigo faz parte da estratégia de cada um. A rigor todos gostariam de ser auto-suficientes na produção de alimentos e, se possível, exportadores.

Para BACALTCHUK (1999), ser auto-suficiente na produção de trigo é uma possibilidade do Brasil, mesmo não sendo conveniente. Para que se evitem frustrações na produção do trigo é necessária a atenção para dois fatores: a) utilização da melhor tecnologia para atingir maiores produtividades; e b) formas mais eficientes de comercialização.

Conforme CAMPANHOLA (2004), a pesquisa do trigo no Brasil começou em 1919 com a instalação de duas estações experimentais pelo Ministério da Agricultura, sendo elas em Veranópolis – RS e em Ponta Grossa – PR. Nos anos 80, com as pesquisas desenvolvidas, o trigo que era plantado somente na região Sul e em São Paulo, já havia sementes produzidas e recomendadas para o cultivo nos estados de MG, GO, BA, MT, DF, PR, SC, RS, SP, MS e para o Paraná já havia sementes específicas para cada região do estado.

Hoje, o trigo é cultivado predominantemente em pequenas e médias propriedades dos estados do Rio Grande do Sul e do Paraná, que produzem juntos 80 % da oferta nacional. Os desafios para a cultura do trigo vão além da obtenção de respostas tecnológicas, indispensáveis para que se tenha estabilidade de oferta, custo baixo e qualidade desejada. Como lembrou CAMPANHOLA (2004), é preciso que o produto se difunda também nos outros estados de forma mais equilibrada.

De pesquisas realizadas pelos institutos agrônômicos, resultam informações técnicas para o cultivo do trigo a cada ano, com recomendações de cultivares, épocas de plantio, densidade de sementes, espaçamento entre linhas entre outras.

SILVA (2000) relatou que tanto o espaçamento entre linhas como a densidade de semeadura são práticas de manejo de extrema importância para o sucesso da lavoura, pois contribuem consideravelmente para a definição de rendimento de grãos. A recomendação atual é de um espaçamento de 17 a 20 cm entre as linhas, mas pode variar de uma cultivar para outra.

O IAPAR (2003) apresentou recomendação na semeadura de 200 a 400 sementes de trigo por metro quadrado, enquanto SILVA (2000) restringiu o intervalo para de 300 a 330 sementes viáveis por metro quadrado, resultando, em média, 50 a 60 sementes viáveis por metro linear. O uso de maior densidade de plantas que o recomendado é um aumento desnecessário de custos da lavoura (SILVA, 2000).

A época de semeadura para determinada região é definida com base na probabilidade de ocorrência de geadas em um período. Busca-se evitar que o

período de maior probabilidade de geadas coincida com o período de espigamento do trigo, o que resultaria em grande perda de produção (IAPAR, 2003).

A região de Cascavel - PR teve como época recomendada para o plantio do trigo da safra 2003 de 11 de maio a 10 de junho para o trigo precoce e de 21 de abril a 10 de junho para o trigo de hábito vegetativo intermediário (IAPAR, 2003).

2.5 APROXIMAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO DISCRETA PARA A DISTRIBUIÇÃO NORMAL

Conforme DIGGLE, LIANG e ZEGER (1996) a distribuição de Poisson tem sido comumente usada para modelar dados de contagem. Esses autores observaram que quando a variância supera a média a distribuição binomial é usada.

MORRETIM (1999) relatou que havendo um número suficientemente grande de amostras, a distribuição binomial se aproxima da distribuição normal.

Por sua vez, SPIEGEL (1993) relatou que, como existe uma relação entre a distribuição binomial e a distribuição normal, conclui-se que também há uma relação entre as distribuições de Poisson e a normal.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ARÉA DO EXPERIMENTO

Os dados foram coletados em experimento realizado no ano agrícola de 2003, junto à Cooperativa Central de Pesquisa Agrícola (COODETEC), situada na BR 467, km 98, no município de Cascavel, no oeste do estado do Paraná, longitude 53° 26' W e latitude 25° 56' S. O clima, segundo Köeppen, é Cfa, temperado mesotérmico e superúmido.

Na Figura 1 é apresentada o mapa da área experimental utilizada.

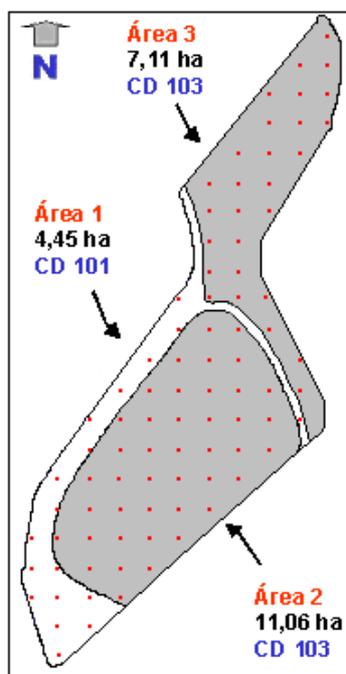


Figura 1 - Esquema amostral da área do experimento, junto à Cooperativa Central de Pesquisa Agrícola.

Nota: Os pontos correspondem aos locais de amostragem, enumerados seqüencialmente da esquerda para a direita iniciando no extremo sul da área.

A média anual da precipitação é de 1925 mm e da temperatura é inferior a 21 °C e altitude média de 780 m. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico típico (EMBRAPA, 1999) e escarificado antes da sementeira.

A área total do experimento corresponde a 22,62 ha, na qual foram plantadas as cultivares de trigo COODETEC 103 (CD 103) e COODETEC 101 (CD 101). A área correspondente a cultivar CD 103 foi de 18,1 ha (área 2 e área 3). Na área 3 a sementeira foi realizada cinco dias após a da área 2. A cultivar CD 101 foi cultivada em 3,52 ha (área 1). A sementeira deu-se no mesmo dia da área 2. A escolha das cultivares e a área ocupada por elas foram determinações dos técnicos do centro de pesquisa ao qual a área pertence, seguindo interesses próprios.

3.2 AS CULTIVARES

As cultivares de trigo utilizadas na pesquisa, COODETEC 101 (CD 101) e COODETEC 103 (CD 103), são oriundas da Cooperativa Central Agropecuária de Desenvolvimento Tecnológico e Econômico Ltda (COODETEC) e lançadas no mercado em 1987 e 1998, respectivamente.

Quanto ao hábito vegetativo, ambas as cultivares são classificadas como intermediárias (IAPAR, 2003).

A altura média das plantas para a cultivar CD 101 varia de 65 a 110 cm e para a cultivar CD 103 varia de 70 a 101 cm (IAPAR, 2003). Assim, a altura

máxima esperada para CD 103 é menor do que para CD 101, mas a altura mínima é maior, tendo suas médias diferindo em apenas 2 cm.

Todavia, a altura da planta depende das condições climáticas do meio ambiente e varia com as diferentes condições, podendo haver diferenças entre os valores apresentados pelos relatórios técnicos e os observados em determinadas condições (BRASIL, 2004a).

Outras diferenças apareceram no ciclo vegetativo, em que tanto para o espigamento quanto para a maturação o intervalo de tempo da cultivar CD 103 foi menor. O espigamento na cultivar CD 101 ocorreu de 60 a 87 dias após a semeadura (DAS), enquanto para a CD 103 foi de 64 a 89 DAS. A maturação para CD 101 ocorreu entre 94 e 146 DAS e para CD 103 entre 108 e 144 DAS.

O peso médio de mil sementes foi de 38 g para a cultivar CD 101 e de 40 g para a cultivar CD 103. A classificação comercial dos grãos de ambos as cultivares é pão.

A cultivar de trigo CD 101 não consta na lista das cultivares registradas para o cultivo no ano de 2004 (BRASIL, 2004b) e a exclusão da cultivar está prevista para o ano de 2006, conforme BRASIL (2004b).

As características agrônômicas das cultivares encontram-se descritas nos Anexos A e B.

3.3 COLETA DE DADOS

O levantamento topográfico e o posicionamento do solo foram feitos por receptor GPS com método estatístico de correção pós-processamento (DGPS estatístico). Sobre o mapa de contorno da área, construiu-se uma malha regular de 50 x 50 metros, determinando os locais de amostragem (pontos

vermelhos na Figura 1), os quais foram demarcados com estacas e utilizados em todas as amostragens.

A unidade de análise, junto aos locais de amostragem, foi determinada com auxílio de quadro de madeira com dimensões de 0,50 x 0,50 m, sempre disposto junto a estaca e abrangendo três fileiras de trigo (Figura 2).

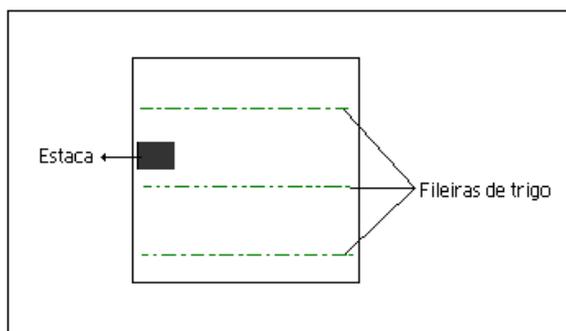


Figura 2 - Localização da estaca em relação ao quadro utilizado para delimitar a área da coleta.

Ao todo foram demarcados 89 pontos amostrais. 19 pontos na área 1, 42 pontos na área 2 e na área 3 foram 28 pontos, nos quais foram obtidos os seguintes dados:

- altura de plantas 30 dias após a semeadura (A1) [cm];
- altura de plantas 60 dias após semeadura (A2) [cm];
- altura de plantas 90 dias após semeadura (A3) [cm];
- altura de plantas na Colheita (A4) [cm];
- comprimento das espigas na colheita (CE4) [cm];
- peso de mil sementes (P1000) [g];
- produtividade (PROD) [t ha⁻¹];
- emergência de plântulas (E) [contagem];
- número de espigas 90 DAS (NE3) [contagem];

- número de espigas na colheita (NE4) [contagem];
- número de perfilhos 30 dias após a semeadura (P1) [média da contagem em dez plantas];
- número de perfilhos 60 dias após a semeadura (P2) [média da contagem em dez plantas].

A seguir apresentam-se as descrições das variáveis amostradas, obtidas para ambas as cultivares sem distinção de metodologia.

3.3.1 Emergência de Plântulas

Efetuiu-se a contagem do total de plântulas emersas na área amostral de 0,25 m² uma única vez. A contagem estava prevista para o vigésimo primeiro dia após a semeadura (DAS) e realizou-se aos 30 DAS devido a condições climáticas inadequadas. Para a análise descritiva, os dados foram expressos em número de plântulas por metro quadrado. Para as demais análises não houve conversão de unidade, ficando os dados expressos em número de espigas por 0,25 m².

3.3.2 Altura da Planta

Mediu-se a altura de dez plantas escolhidas aleatoriamente na unidade de análise e obteve-se a média.

As medições foram realizadas em quatro estádios de desenvolvimento da planta: 30, 60 e 90 DAS e no final do ciclo, por ocasião da colheita. Os resultados foram expressos em centímetros.

3.3.3 Número de Perfilhos

A determinação do número de perfilhos foi realizada em dois estádios de desenvolvimento da planta: 30 e 60 DAS. Contou-se o número de perfilhos de dez plantas escolhidas aleatoriamente na unidade de análise e utilizou-se a média, expressa em número de perfilhos por planta.

3.3.4 Número de Espigas

A determinação foi feita pela contagem do número de espigas 90 DAS e no ato da colheita. Para a análise descritiva foram utilizados dados expressos em número de espigas por metro quadrado. Para as demais análises não houve conversão de unidade, ficando os dados expressos em número de espigas por 0,25 m².

3.3.5 Comprimento da Espiga

O comprimento da espiga foi determinado pela média do comprimento de dez espigas escolhidas aleatoriamente na unidade experimental no ato da colheita. Os dados foram expressos em centímetros.

3.3.6 Número de Grãos por Espiga

O número de grãos por espigas foi obtido pela média da contagem dos grãos em dez espigas escolhidas aleatoriamente entre as pertencentes à unidade de análise.

3.3.7 Produtividade

Colheram-se manualmente os cachos de trigo pertencentes à unidade de análise. Com os grãos já descascados, fez-se a pesagem em balança de precisão 0,001 g e o valor convertido em $t\ ha^{-1}$.

3.3.8 Peso de Mil Sementes

Foram obtidas quatro amostras de 100 sementes, para cada unidade de análise considerada e a pesagem foi efetuada em balança de precisão 0,001 g. Com o valor médio das pesagens converteu-se o peso das amostras para o peso de mil sementes.

3.3.9 Dados Climáticos

Os dados climáticos, como umidade relativa, velocidade dos ventos e temperatura, referentes ao período de desenvolvimento da cultura, com agrupamentos mensais, encontram-se no Anexo C.

3.4 ANÁLISE DOS DADOS

As variáveis foram analisadas descritivamente e espacialmente. Em ambas as análises utilizaram-se medidas estatísticas e representações gráficas.

A seguir, descreve-se como se realizaram tais análises.

3.4.1 Análise Descritiva

A análise exploratória dos dados é um procedimento de grande importância na análise estatística e aplica-se a qualquer metodologia que se queira utilizar. Essa análise preliminar teve por objetivo conhecer as variáveis em estudo.

As estatísticas utilizadas foram média, desvio padrão, mínimo, máximo e quartis, os quais permitem analisar os dados quanto à posição, forma e dispersão.

O gráfico boxplot foi utilizado para obtenção de informações mais precisas quanto à ocorrência de valores atípicos ao restante do conjunto de dados, além de apresentar um padrão da distribuição quanto aos quartis, medidas não influenciadas por valores atípicos.

Os gráficos de controle de qualidade são gráficos de dispersão dos valores amostrados pelo número da parcela a que correspondem. Uma linha ligando os pontos em seqüência facilita a visualização das variações, verificadas em relação à média dos dados e um intervalo de três vezes o desvio padrão acima e abaixo da média. Esses gráficos foram utilizados para verificar a existência ou não de variação atípica ao processo e ajudar à distinção entre variações naturais do processo e variações ocasionadas por fatores causas especiais. Pontos que caem fora dos limites de controle (\bar{x}), variações com padrões de crescimento ou decrescimento indicam presença de causas especiais de variação, (SCHOLTES, 1998).

Das variáveis em estudo, A1, A2, A3, A4, P1, P2, CE3, CE4 tiveram seus valores obtidos pela média de várias amostragens, empregando-se o gráfico de controle de médias (\bar{X} e R), conforme descrito em LOURENÇO FILHO (1977). Os dados das variáveis E, PROD, NE4, NG e P1000 foram obtidos em uma única amostragem, não houve repetição, portanto, para elas o gráfico utilizado foi o de controle individual (X e AM), que tem a mesma finalidade do gráfico de médias, mas é próprio para observações individuais.

3.4.2 Análise Espacial

Para facilitar a análise espacial, efetuou-se uma subtração nos valores originais das coordenadas. Em X diminuiu-se 244549 e em Y a subtração foi de 7246194, desta forma, o ponto mais a oeste tem como coordenada X o valor 1 e o ponto mais ao leste como coordenada X o valor 501. Em Y o valor mínimo foi 1 (parcela mais ao sul) e o máximo 1056 (parcela mais ao norte), tendo o metro como unidade. A menor distância entre dois pontos foi de 50 m e a maior distância foi de 1151,72 m.

3.4.2.1 Tendência

Analisou-se a tendência direcional utilizando gráficos de dispersão dos dados pelas coordenadas (DIGGLE; RIBEIRO JUNIOR, 2000) e gráfico postplot (DIGGLE; RIBEIRO JUNIOR, 2000). A falta de estacionaridade no processo também caracteriza tendência na variação e foi analisada pela dispersão média dos dados nas direções que coincidem com as coordenadas X e Y e na dispersão da média pelo desvio padrão nas mesmas direções (GUERRA, 1988).

A possível influência da área de cultivo na variação das características do trigo foi verificada pelo gráfico boxplot estratificado pelas áreas.

A análise de tendência utilizando a dispersão dos dados pelas coordenadas corresponde à análise de dois gráficos para cada variável, um em relação à coordenada X e outro em relação à coordenada Y dos pontos amostrais.

Para melhor evidenciar a tendência utilizou-se uma curva de relação dos dados com as coordenadas, calculada por métodos não paramétricos, pela qual se identificou haver ou não relação dos dados com as coordenadas e, em caso afirmativo, o sentido e a forma da relação.

Pelo gráfico postplot, os locais de amostragem foram classificados segundo os quartis aos quais os valores amostrais pertencem e a tendência foi identificada quando houve variação gradativa dos valores amostrados ao longo de uma direção. Esse método, embora subjetivo, possibilita detectar tendências direcionais que ocorram em direções não consideradas no método da dispersão dos dados pelas coordenadas cartesianas.

A análise de tendência e falta de estacionaridade no processo utilizando a dispersão da média dos dados pelas coordenadas, consiste na análise de dois gráficos, um considerando a coordenada X (direção leste-oeste) e outro considerando a coordenada Y (direção sul-norte).

Todos os dados foram considerados nos dois gráficos, a diferença foi a forma como eles foram agrupados. Em X, foram obtidas 11 médias, correspondendo a conjuntos formados por dados que tinham o mesmo valor da

abscissa e feita a dispersão da média pelo correspondente valor da abscissa. O agrupamento foi considerando em colunas. Em Y o procedimento foi semelhante, considerando-se neste caso os dados agrupados por linhas, resultando em 22 médias calculadas.

A determinação de tendência deu-se pela análise visual das dispersões, considerando-se relações lineares positivas ou negativas e também relações quadráticas.

Dos dados agrupados para o cálculo da média segundo linhas e colunas, obteve-se também o desvio padrão. Da dispersão da média pelo desvio padrão referente, determinou-se o coeficiente de determinação (R^2). ISAACS e SRIVASTAVA (1989) caracterizaram a relação entre média e desvio padrão com coeficiente de determinação de 27 % como bastante baixa, dessa forma, foram consideradas as relações que apresentaram R^2 superior a 50 %, admitindo-se relações lineares e quadráticas. Essa relação é denominada de efeito proporcional.

GUERRA (1988) analisou o efeito proporcional considerando a relação entre média e variância e ISAACS e SRIVASTAVA (1989) utilizaram em seus estudos a relação da média com o desvio padrão. Neste estudo optou-se por utilizar o desvio padrão em vez da variância, por ele possuir a mesma unidade da média.

As diferenças de cultivares e da época de semeadura podem influenciar os valores amostrados, assim, considerou-se a área como uma covariável e verificou-se sua influência nas variáveis em estudo.

Utilizou-se o gráfico boxplot estratificado pela covariável área, que apresenta a variação dos valores amostrados segundo a área a qual pertencem. Uma área apresentando valores mais ou menos elevados que as demais ou a distribuição dos dados ocorrendo de forma diferenciada entre as áreas, caracterizou influência e esse fator foi incorporado nas análises seguintes como uma covariável de tendência dos dados.

Havendo tendência, modelou-se por regressão múltipla entre os valores do atributo e as localizações geográficas, conforme descreveu CAMARGO et al. (2002). Utilizando funções lineares (7) ou quadráticas (8).

$$\text{---} \quad (7)$$

$$w = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y + \alpha_4 xy + \alpha_5 x^2 + \alpha_6 y^2 \quad (8)$$

Em que:

- x e y são os valores das coordenadas dos pontos de amostragem;
- w é o novo valor da variável, expresso em função das coordenadas;
- α_i , $i = 1, 2, \dots, 6$ são escalares.

3.4.2.2 Normalidade

BOX e COX (1964) propuseram uma transformação para variáveis que não apresentem distribuição normal de probabilidade, definida por:

$$\text{---} \quad (9)$$

Em que:

- Z é o valor amostrado;
- Z* é o valor transformado;
- λ é constante de transformação.

O valor de λ é estimado computacionalmente e, se este valor for 1, a variável não precisa de transformação para ser descrita pela distribuição normal de probabilidade.

Utilizou-se o pacote computacional MASS, disponível no programa computacional R, para estimar o valor de constante de transformação, o qual

fornece também um intervalo de 95 % de significância para a λ . Fez-se a transformação quando o valor 1 não pertenceu ao intervalo de confiança de λ .

3.4.2.3 Anisotropia

Antes de modelar a dependência espacial, foi verificada a presença de anisotropia geométrica nos dados. Visualmente, a anisotropia foi verificada nos semivariogramas para as direções de 0°, 45°, 90° e 135°, juntamente com os limitantes da variabilidade espacial (envelopes), havendo semivariograma direcional fora dos limites, considerou-se anisotrópica a variabilidade e estimou-se o fator de anisotropia F_a , razão entre o maior e o menor alcance obtido nas direções, e o ângulo α de maior continuidade do fenômeno (maior alcance), utilizando a modelagem por MV. Os parâmetros estimados foram incorporados nas análises, eliminando-se assim a presença de anisotropia.

3.4.2.4 Variabilidade espacial

A dependência espacial foi avaliada inicialmente pelo semivariograma isotrópico omnidirecional, obtido pelo semivariograma experimental de Matheron, definido na equação (2). Com ângulo de tolerância de 25°, corte em 400 m e sete semivariâncias nesse intervalo.

Utilizou-se a técnica dos envelopes (RIBEIRO JUNIOR et al., 2003), para verificar a significância da dependência espacial apresentada pelo semivariograma.

Os ajustes de modelos de variabilidade espacial foram realizados pelos métodos: máxima verossimilhança (MV), mínimos quadrados ponderados pelo número de pares (WLS1) e mínimos quadrados ordinários (OLS), descritos, respectivamente, nas equações (10), (11) e (12).

A estimativa de MV consiste em maximizar o logaritmo da função de verossimilhança, dada por:

$$L(\mu, \theta) = -0,5 \log|\Sigma(\theta)| - 0,5(Z - \mu 1)^T \Sigma(\theta)^{-1}(Z - \mu 1) \quad (10)$$

Em que:

- $\Sigma(\theta)$ é a matriz de covariância;
- $\mu 1$ é o vetor de médias;
- Z é a matriz dos valores amostrados.

Os métodos WLS e OLS consistem em maximizar as expressões:

$$WLS1(\theta) = \sum_{j=1}^m n(h_j) [\hat{\gamma}(h_j) - \gamma(h_j, \hat{\theta})]^2 \quad (11)$$

$$OLS(\theta) = \sum_{j=1}^m [\hat{\gamma}(h_j) - \gamma(h_j, \hat{\theta})]^2 \quad (12)$$

Em que:

- h é a distância para a qual a semivariância foi calculada;
- $n(h_j)$ é o número de pares utilizados para o cálculo da semivariância;
- m é o número de pontos (semivariâncias) do semivariograma;
- $\hat{\gamma}(h_j)$ é o valor da semivariância na distância h ;
- $\hat{\theta}$ parâmetros (C_0 , C e a) estimados para o modelo considerado;
- $\gamma(h_j, \hat{\theta})$ valor do semivariograma ajustado para os parâmetros $\hat{\theta}$.

Para o ajuste de $\hat{\theta}$ foram disponibilizados três valores iniciais para cada parâmetro: C (patamar), C_0 (efeito pepita) e a (alcance).

Para cada método de ajuste, modelou-se o semivariograma teórico com modelo exponencial, gaussiano e esférico e escolheu-se um, com base no coeficiente de ajuste que os métodos apresentam.

Para cada modelo considerado, calculou-se o coeficiente de efeito pepita relativo ε , definido na equação (3) para verificar o grau de dependência espacial.

A variável foi considerada com dependência espacial, quando $\varepsilon < 0,80$ ao menos para um dos modelos ajustados. As variáveis que não cumpriram essa condição foram consideradas independentes espacialmente.

3.4.2.5 Predição e correlação

A predição para locais não amostrados foi feita para todas as variáveis, utilizando-se o interpolador krigagem ordinária. Para as variáveis consideradas dependentes espacialmente, foram gerados mapas para os três modelos, para as variáveis espacialmente independentes obteve-se o mapa utilizando-se o modelo gerado pelo ajuste da MV.

A validação do modelo fez-se pela análise da dispersão dos valores amostrados pelos valores preditos.

Utilizou-se a comparação pontual entre valores amostrados e valores preditos, a fim de verificar se houve regiões com valores superestimados pela krigagem e outras com valores subestimados. Verificando-se também quais foram as amostras mais intensamente super e subestimadas. Entendendo-se por superestimada as parcelas que tiveram o valor predito maior que o valor amostrado e por subestimada a parcela com o valor predito menor que o estimado.

Para verificar a correlação espacial das variáveis, utilizou-se o semivariograma cruzado, conforme equação (6), com alcance máximo de 600 m.

Avaliou-se a existência de correlação e, existindo correlação, observou-se se ela foi direta ou inversa e o alcance máximo de correlação.

3.5 COMPARAÇÃO DE MÉDIAS

Para as variáveis independentes espacialmente, foram comparadas as médias entre as cultivares e nas diferentes datas de semeadura, realizou-se o teste de comparação de médias de Tukey cuja estatística é dada por:

$$t = q * \frac{s}{\sqrt{r}} \quad (13)$$

Em que:

- q é a amplitude estudantizada cujo valor é tabelado e dependendo do nível de significância adotado e do número de repetições;

- s é o desvio padrão residual;

- r é o número de repetições (BANZATO; KRONKA, 1992).

O nível de significância foi fixado em 5 %.

3.6 RECURSOS COMPUTACIONAIS

Para a análise descritiva dos dados, foram utilizados os softwares Minitab 12.2, sistema estatístico R (IHAKA; GENTLEMAN, 1996) e Excel planilhas eletrônicas.

A análise geoestatística, tendência, anisotropia, dependência espacial, modelagem da dependência espacial, predição de valores para locais não amostrados e mapas foram realizados com auxílio do pacote geoR (RIBEIRO JUNIOR; DIGGLE, 2001), disponibilizado no sistema estatístico R (IHAKA; GENTLEMAN, 1996) e para a predição utilizou-se também o pacote *splanacs* (ROWLINGSON; DIGGLE, 1993).

A normalidade foi verificada e o λ estimado pelo pacote MASS, implantado no sistema estatístico R (IHAKA; GENTLEMAN, 1996).

A correlação espacial das variáveis foi estudada pelo semivariograma cruzado com o auxílio do software GS + for Windows (ROBERTSON, 2000).

Para a comparação de médias utilizou-se o software Sisvar (FERREIRA, 1999).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ESTATÍSTICA DESCRITIVA

Apresenta-se a análise descritiva das variáveis amostradas segundo as cultivares às quais pertencem (CD 101 e CD 103) e do conjunto total dos dados.

4.1.1 Análise Descritiva das Variáveis Obtidas por Processo de Medição

Na Tabela 1 são apresentadas as estatísticas das características agronômicas do trigo. Verifica-se que os valores das estatísticas média e mediana apresentam-se próximos para todas as variáveis relacionadas.

Para a altura de plantas, a maior homogeneidade foi encontrada na colheita, cujo coeficiente de variação (CV) da cultivar CD 101 foi de 7,41 % e da cultivar CD 103 foi de 7,25 %. Para a cultivar CD 103 o coeficiente de variação diminuiu com o aumento da idade da planta, o maior valor obtido para a referida estatística foi de 13,00 % referente, portanto, aos dados coletados 30 DAS. Na cultivar CD 101 a menor homogeneidade das alturas ocorreu nos dados obtidos 60 DAS.

Os dados referentes ao peso de mil sementes (P1000) e o comprimento da espiga na colheita (CE4) apresentaram alta homogeneidade com coeficiente de variação (CV) variando entre 5,58 % e 8,66 %. Para a produtividade (PROD) a homogeneidade foi baixa em ambas as cultivares. O coeficiente de variação foi

de 28,93 % e 21,42 %, respectivamente para CD 101 e CD 103 e de 23,22 % para todos os dados.

Tabela 1 Estatísticas descritivas das características fisiológicas do trigo, das variáveis obtidas por medição, para as cultivares e o conjunto total de dados

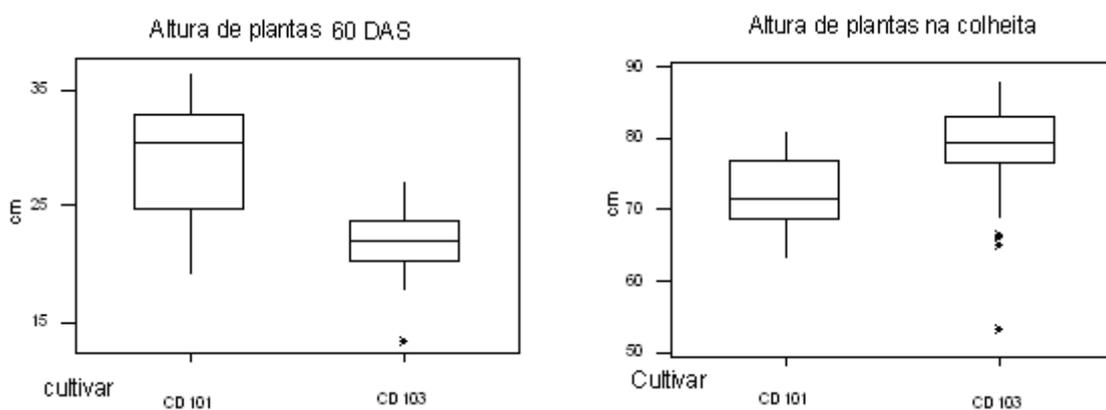
Variáveis / Estatísticas	Cultivar	A1	A2	A3	A4	CE4	P1000	PROD
Média	CD 101	15,23	28,67	70,73	72,47	6,79	42,16	3,53
	CD 103	16,05	21,94	72,48	78,80	6,41	42,65	3,33
	Ambas	15,88	23,38	72,11	77,44	6,49	42,55	3,37
Desvio padrão	CD 101	1,34	5,17	5,53	5,37	0,59	3,04	1,02
	CD 103	2,12	2,49	6,14	5,71	0,55	2,38	0,71
	Ambas	2,00	4,25	6,03	6,19	0,57	2,51	0,78
Coeficiente de variação (%)	CD 101	8,83	18,02	7,82	7,41	8,66	7,20	28,93
	CD 103	13,20	11,37	8,48	7,25	8,54	5,58	21,42
	Ambas	12,61	18,17	8,36	7,99	8,85	5,91	23,22
Diferença entre mínimo e máximo	CD 101	4,95	17,50	19,60	18,20	2,50	8,57	4,08
	CD 103	13,20	13,75	29,80	34,60	2,88	14,86	3,81
	Ambas	13,20	23,20	29,80	34,60	2,88	14,86	4,48
Mínimo	CD 101	12,35	19,10	61,00	63,00	5,30	37,54	1,88
	CD 103	11,40	13,40	53,00	53,40	5,00	33,00	1,48
	Ambas	11,40	13,40	53,00	53,40	5,00	33,00	1,48
Quartil 1	CD 101	14,48	24,80	67,40	69,10	6,55	39,08	3,11
	CD 103	14,48	20,41	68,25	77,00	6,10	41,50	3,02
	Ambas	14,40	20,70	68,00	74,00	6,10	41,18	3,03
Mediana	CD 101	15,30	30,50	70,80	71,70	6,80	42,38	3,49
	CD 103	16,15	21,90	74,00	79,50	6,32	42,89	3,35
	Ambas	15,95	22,50	73,60	79,00	6,50	42,73	3,38
Quartil 3	CD 101	16,26	32,55	75,00	76,30	7,06	44,68	4,04
	CD 103	17,20	23,70	76,96	82,95	6,70	44,11	3,66
	Ambas	17,00	24,70	76,80	81,80	6,80	44,17	3,68
Máximo	CD 101	17,30	36,60	80,60	81,20	7,80	46,11	5,95
	CD 103	24,60	27,15	82,80	88,00	7,88	47,86	5,28
	Ambas	24,60	36,60	82,80	88,00	7,88	47,86	5,95
Nº de Amostras	CD 101	19	19	19	19	19	17	17
	CD 103	70	70	70	70	70	67	67
	Ambas	89	89	89	89	89	84	84

A1: altura de plantas 30 DAS (cm); A2: altura de plantas 60 DAS (cm); A3: altura de plantas 90 DAS (cm); A4: altura de plantas na colheita (cm); CE4: comprimento de espigas na colheita (cm); PROD: produtividade ($t\ ha^{-1}$); P1000: peso de mil sementes (g).

A menor quantidade de pontos amostrais da cultivar CD 101 não interferiu na homogeneidade dos dados, houve variáveis com maior homogeneidade na distribuição dos dados para a cultivar CD 101 e outras para a cultivar CD 103.

Na Figura 3 é apresentada a distribuição dos dados da altura de plantas 60 DAS (A2) e na colheita (A4) para as duas cultivares e observa-se que 60 DAS as plantas da cultivar CD 101 foram maiores, mais de 50 % dos dados da cultivar CD 101 superaram a máxima altura obtida na cultivar CD 103.

Esta superioridade da cultivar CD 101 na altura das plantas 60 DAS não se repetiu em outro estágio de desenvolvimento analisado. Aos 30 e 90 DAS o desenvolvimento das alturas foi aparentemente semelhante, havendo maior amplitude dos dados da cultivar CD 103. Na colheita, a altura das plantas da cultivar CD 103 ultrapassou em altura a cultivar CD 101, como pode ser observado na Figura 3b, em que mais de 25 % dos dados da cultivar CD 103 superaram o valor máximo obtido para a cultivar CD 101.



a) A2

b) A4

Figura 3 - Boxplot da altura de plantas 60 DAS e na colheita de estratificado pela cultivar.

Nota: Os * além ou aquém das caudas do gráfico boxplot representam os pontos discrepantes.

Na Figura 4 é apresentada a distribuição dos dados de altura de plantas nas quatro fases medidas e percebe-se que a diferença entre máximos e mínimos aumentaram com o aumento da idade das plantas. O maior aumento ocorreu nos dados obtidos 30 DAS (A1) para os obtidos 60 DAS (A2).

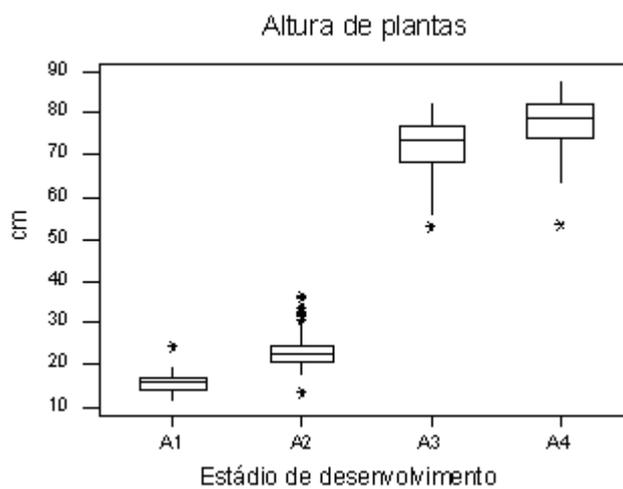


Figura 4 - Boxplot dos dados da altura de planta 30 DAS (A1), 60 DAS (A2), 90 DAS (A3) e na colheita (A4).

A maior diferença entre as cultivares, quanto à amplitude do intervalo de ocorrência dos valores amostrais, refere-se aos dados da altura 30 DAS (A1). A cultivar CD 101 apresentou dados variando entre 12,35 cm e 17,30 cm, resultando em amplitude de variação de 4,95 cm. A cultivar CD 103 apresentou dados com variação entre 11,40 cm e 24,60 cm, correspondendo à amplitude de variação de 13,20 cm, ou seja, 166,66 % maior que a mesma estatística da cultivar CD 101.

Ocorreu maior número de pontos discrepantes nos dados coletados 60 DAS (A2), dez pontos discrepantes superiores e um inferior.

Os dados referentes à altura de plantas nos dois últimos meses da cultura (A3 e A4), apresentaram uma maior amplitude entre os quartis um e três, se comparados com os dados dos dois meses iniciais (A1 e A2). Nas fases finais de desenvolvimento (A3 e A4) a ocorrência de pontos discrepantes diminuiu em relação à fase imediatamente anterior (A2). Ocorreu um ponto discrepante inferior em cada fase, oriundo da mesma parcela, que se localiza próxima à fronteira da área, em suas imediações, uma área de aproximadamente 6 m² teve comprometido o desenvolvimento, por fatores desconhecidos.

Na Tabela 2 são apresentados os índices de crescimento das plantas segundo a cultivar. Para ambas, o maior desenvolvimento ocorreu no período compreendido entre o sexagésimo e o nonagésimo DAS, com crescimento de 146,7 % e 230,36 %, respectivamente para as cultivares CD 101 e CD 103. Nessa fase o índice de crescimento foi maior para CD 103, porém nos 30 dias anteriores, a cultivar CD 101 apresentou índice de crescimento de 88,25 % contra 36,70 % da cultivar CD 103.

O índice de crescimento acumulado de 30 a 90 DAS foi de 364,41 para a cultivar CD 101 e de 345,36 para a CD 103.

Tabela 2 - Índices de crescimento de plantas das cultivares estudadas

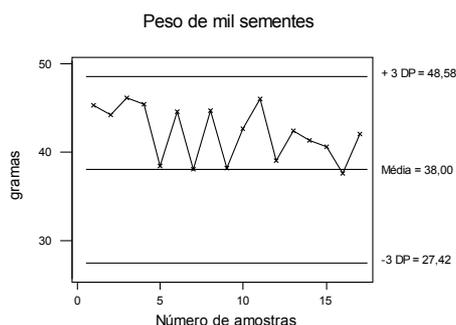
Nota: DAS: Dias Após Semeadura.

Entre 60 e 90 DAS formaram-se as espigas, contribuindo na elevação da altura de plantas. Do nonagésimo DAS (A3) até a colheita, realizada aproximadamente 128 dias após a sementeira (A4), a elevação média da altura foi pequena resultando nos menores índices de crescimento registrados, isto se deve ao fato de que as plantas, em sua maioria, estão formando os grãos para maturação, então é compreensível o pequeno avanço de desenvolvimento da altura.

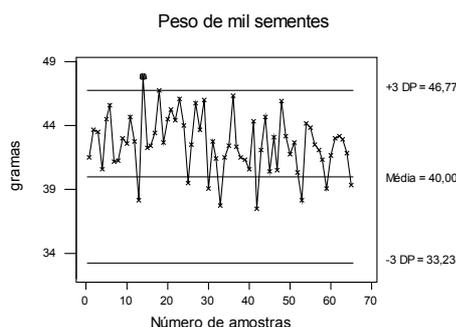
Segundo o histórico das cultivares (IAPAR, 2003), a altura de plantas na colheita, para a cultivar CD 103 é, em média, 2 cm maior que a respectiva altura para CD 101. As plantas de CD 103 foram, em média, maiores que as plantas da cultivar CD 101 aos 30 DAS (A1), 90 DAS (A3) e na colheita (A4), o que se comprovou pelos dados obtidos e, além disso, a altura das plantas de CD 103 superou, em média, as da CD 101, também aos 30 e 90 DAS.

A média histórica do peso de mil sementes (P1000), segundo a descrição individual das características agronômicas das cultivares fornecidas pelo IAPAR (2003), é de 38 gramas para a cultivar CD 101 e 40 gramas para a cultivar CD 103. Os dados aqui tratados apresentaram valores médios de 42,16 g para a cultivar CD 101 e 42,65 g para a cultivar CD 103, superando as médias históricas.

Na Figura 5 são apresentados os gráficos de controle do peso de mil sementes (P1000) das cultivares, comparativamente às médias históricas das cultivares. Observa-se na Figura 5b, que a maioria dos dados apresentaram valores superiores à média histórica de 40 g, um deles ultrapassando o limite superior de controle de 46,77. A cultivar CD 101, (Figura 5a), apresentou apenas um ponto inferior à média histórica de 38 g.



a) CD 101



b) CD 103

Figura 5 - Gráfico de controle do peso de mil sementes em comparação com a média histórica das cultivares utilizadas.

A altura média esperada na colheita era de 86,57 cm, superando a média geral dos dados em 9,13 cm.

Na Figura 6 é apresentado o gráfico de controle da altura de plantas na colheita (A4), comparativamente à média esperada para os dados aqui trabalhados.

Observa-se que, com exceção de dois dados, as alturas obtidas ficaram abaixo da média esperada de 86,57 cm, com onze dados aquém do limite inferior de controle.

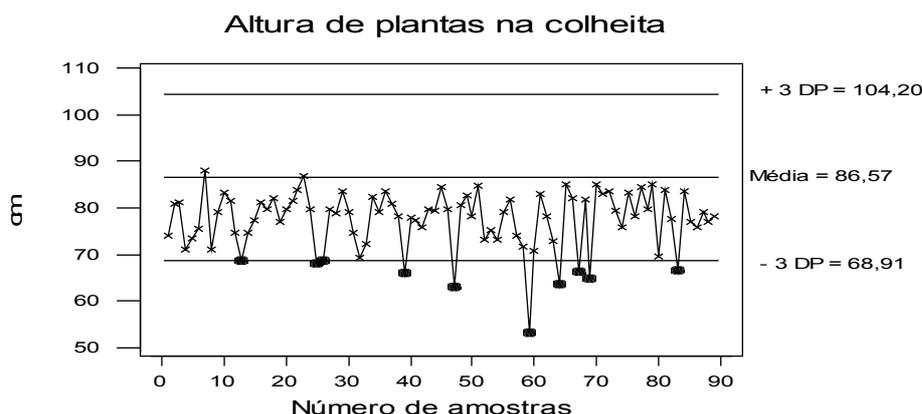


Figura 6 - Gráfico de controle da altura de plantas na fase da colheita, comparativamente à média esperada para o experimento.

Das variáveis apresentadas na Tabela 1, somente o comprimento de espigas na colheita (CE4) não apresentou pontos discrepantes, pela análise do gráfico boxplot.

A produção média do trigo no Brasil, no ano de 2003, foi de 2,4 t ha⁻¹ e a média paranaense ficou em 2,5 t ha⁻¹. A média da região sul igualou-se à nacional (BRASIL, 2004).

Na Figura 7 é apresentado o gráfico de controle da produtividade (PROD), comparativamente à média nacional de 2,4 t ha⁻¹.

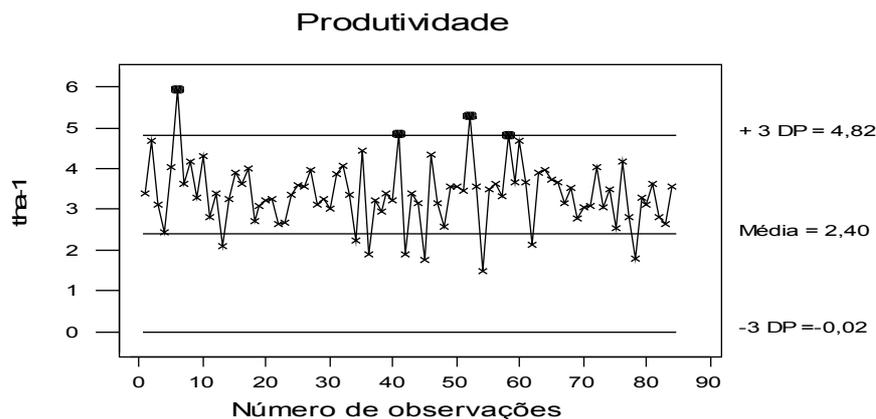


Figura 7 - Gráfico de controle da produtividade, comparativamente à média nacional do ano de 2003 (2,4 t ha⁻¹).

Quatro dos dados coletados estão fora da faixa de controle e 95 % dos dados superaram a média nacional de produtividade de trigo no ano de 2003. Essa alta produtividade da área amostral pode ser oriunda do processo de colheita adotado, que produziu poucas perdas e que não é a realidade da colheita automatizada.

4.1.2 Análise Descritiva das Variáveis Obtidas por Processo de Contagem

Na Tabela 3 são apresentadas as estatísticas das características agrônômicas obtidas por processo de contagem.

Quanto à homogeneidade da distribuição dos dados, a cultivar CD 103 apresentou dados mais homogêneos que CD 101 para a emergência de plântulas (E) e número de espigas 90 DAS (NE3), cuja homogeneidade passou de muito baixa (CD 101) para baixa (CD 103). O número de perfilhos 30 DAS (P1) apresentou homogeneidade muito baixa em CD 101 e baixa em CD 103.

As demais variáveis apresentaram a mesma classificação de homogeneidade em ambas as cultivares, sendo muito baixa para P2, baixa para NE4, e média para NG.

A amplitude de variação (diferença entre máximo e mínimo) dos dados apresentou diferenças entre as cultivares. Exceto para a emergência de plântulas, as demais variáveis tiveram maior amplitude de variação na cultivar CD 103. A maior diferença ocorreu para P1, em que a variação de CD 101 é 39 % da variação de CD 103.

A superação na amplitude do intervalo de ocorrência dos dados amostrados foi decorrente de menor valor mínimo e maior valor máximo, o que ocasiona maior dispersão dos dados e elevou a média amostral.

A emergência de plântulas (E) foi a variável que apresentou maior diferença entre as estatísticas média e mediana, cuja diferença foi de, aproximadamente, 6 %. Para as demais variáveis a diferença entre estas estatísticas de posição central foi menor que 2,5 %, indicando simetria na distribuição dos dados.

Tabela 3 - Estatísticas descritivas das características fisiológicas do trigo, das variáveis obtidas por processo de contagem, para as cultivares e o conjunto total de dados

Variáveis / Estatísticas	Cultivar	E	P1	P2	NE3	NE4	NG
Média	CD 101	320,00	1,08	1,59	314,53	330,53	26,74
	CD 103	340,51	1,33	1,67	334,43	336,97	26,90
	Ambas	336,13	1,28	1,66	329,39	335,59	26,86
Desvio padrão	CD 101	141,44	0,29	0,70	109,33	70,54	5,05
	CD 103	99,75	0,50	0,62	89,23	76,83	4,19
	Ambas	109,39	0,47	0,63	93,53	75,19	4,34
Coeficiente de variação (%)	CD 101	44,20	27,20	43,73	34,76	21,34	18,87
	CD 103	29,29	37,35	37,01	26,76	22,80	15,57
	Ambas	32,54	36,88	38,24	28,40	22,41	16,17
Diferença entre mínimo e máximo	CD 101	648,00	0,90	2,30	352,00	260,00	16,80
	CD 103	568,00	2,30	3,00	392,00	388,00	28,00
	Ambas	648,00	2,30	3,00	392,00	388,00	28,00
Mínimo	CD 101	148,00	0,60	0,50	148,00	208,00	18,80
	CD 103	160,00	0,30	0,40	116,00	132,00	13,40
	Ambas	148,00	0,30	0,40	116,00	132,00	13,40
Quartil 1	CD 101	248,00	0,85	1,20	246,00	284,00	23,00
	CD 103	272,00	0,92	1,30	277,00	281,00	24,50
	Ambas	272,00	0,90	1,20	228,00	128,00	23,80
Mediana	CD 101	284,00	1,10	1,60	292,00	312,00	26,60
	CD 103	324,00	1,40	1,70	344,00	388,00	26,60
	Ambas	316,00	1,30	1,70	332,00	336,00	26,60
Quartil 3	CD 101	352,00	1,35	2,10	408,00	374,00	30,00
	CD 103	400,00	1,67	2,10	388,00	396,00	29,50
	Ambas	414,00	1,60	2,10	388,00	376,00	29,40
Máximo	CD 101	796,00	1,50	2,80	500,00	468,00	35,60
	CD 103	728,00	2,60	3,40	508,00	520,00	41,40
	Ambas	796,00	2,60	3,40	508,00	520,00	41,40
Nº de Amostras	CD 101	19	19	19	19	19	17
	CD 103	70	70	70	70	70	67
	Ambas	89	89	89	89	89	84

E: número de plantas emersas por m²; P1: número médio de perfilhos por planta 30 DAS, P2: número médio de perfilhos por planta 60 DAS; NE3: número de espigas por m² 90 DAS; NE4: número de espigas por m² na colheita; NG: número médio de grãos por espigas na colheita.

Para esse conjunto de variáveis descritos por dados de contagem, tem-se que o menor coeficiente de variação foi de 16,17 % para o número de grãos por espiga (NG), indicando distribuição com homogeneidade média. As variáveis: número de espigas 90 DAS (NE3) e na colheita (NE4) tiveram homogeneidade baixa na distribuição de dados. A emergência de plântulas (E), número de perfilhos 30 DAS (P1) e 60 DAS (P2) tiveram homogeneidade muito baixa, (PIMENTEL GOMES, 1987).

Na Figura 8 é apresentado o gráfico boxplot da emergência de plântulas (E) e percebe-se a existência de dois pontos discrepantes, com valores mais elevados que os demais dados. Esses dados são atípicos ao conjunto e correspondem à amostragem em local no qual a semeadora passou duas vezes, havendo maior número de sementes e conseqüentemente maior emergência. Optou-se por não excluir esses dados por haver, na área, várias ocorrências semelhantes, mesmo que não ocorrendo outras amostragens em locais com esta particularidade, portanto, evidenciam realidades da área.

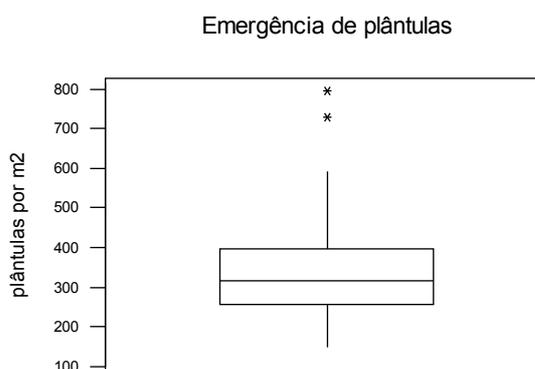


Figura 8 - Boxplot da emergência de plântulas.

Na Figura 9 é apresentado o gráfico de controle da emergência de plântulas por m^2 (E).

Segundo a entidade detentora das cultivares, COODETEC, a densidade de semeadura é a mesma para ambas, 250 a 325 sementes aptas por m^2 , com média esperada de 288 plântulas emersas (E) por m^2 . Observa-se, no gráfico, que a maioria das parcelas apresentaram emergência de plântulas acima da média esperada e dois dados estão fora do limite de controle, os quais foram pontos atípicos (Figura 8).

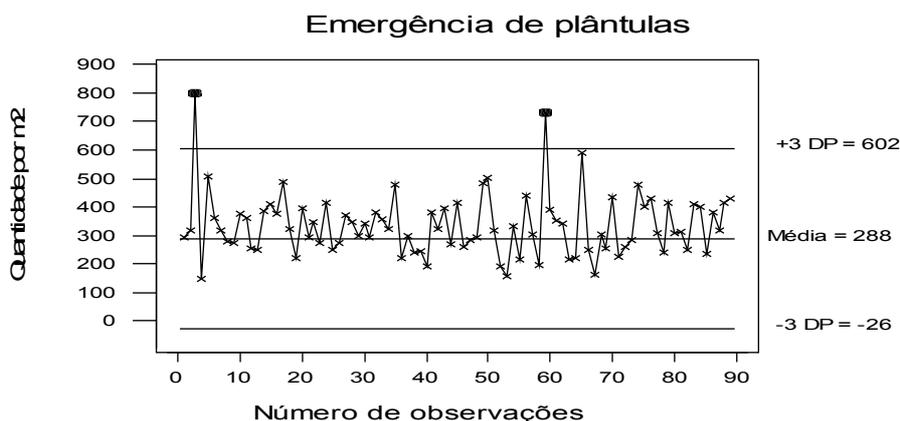


Figura 9 - Gráfico de controle da emergência de plântulas, comparando com média esperada de 288 plântulas emersas por m^2 .

A variação da quantidade de plântulas emersas não apresentou padrão em relação à ordem de amostragem, que seguiu a numeração das parcelas em campo.

Na Figura 10 é apresentada a distribuição dos dados pelo gráfico boxplot do número de perfilhos 30 DAS (P1) e 60 DAS (P2) para as cultivares estudadas.

A baixa homogeneidade na distribuição dos dados de número de perfilhos não se explica pela ocorrência de pontos discrepantes, como observado, pois ocorreu um ponto discrepante aos 60 DAS para a cultivar CD 103 e, mesmo assim, o valor ficou bem próximo à cauda. O que elevou o coeficiente de variação foi a dispersão dos dados.

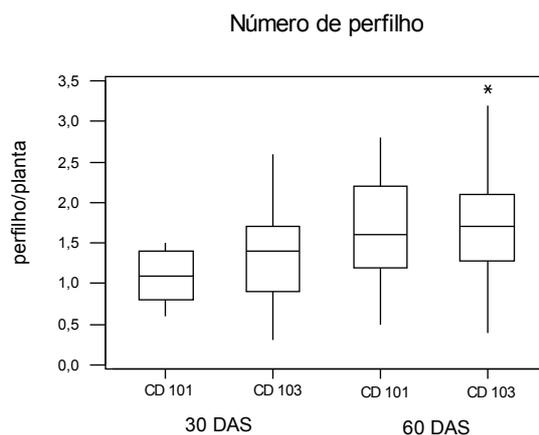


Figura 10 - Distribuição dos dados do número de perfilhos 30 e 60 dias após semeadura, pelas cultivares.

Na Figura 11 é apresentado o gráfico de controle para o número de perfilhos aos 60 DAS (P2) e observa-se um comportamento especial da variável.

Os dados, aparentemente, estão divididos em três setores, o primeiro tem alta variabilidade e a maioria dos valores está acima da média geral; no segundo, a maioria dos valores amostrais localizam-se abaixo da média geral, com variabilidade média. No terceiro setor a variabilidade diminuiu e a maioria dos dados apresentaram valores acima da média geral.

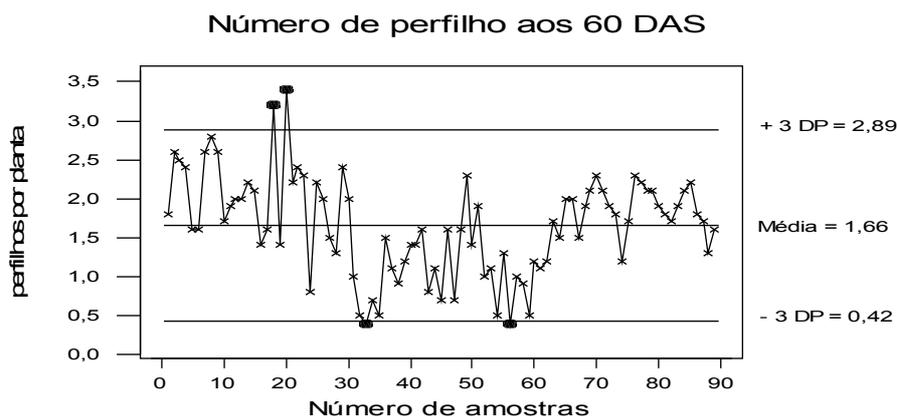


Figura 11 - Gráficos de controle da variável número de perfilhos 60 DAS.

Dessa forma, supõem-se que haja fatores particulares que influenciaram o processo, o qual não é fruto apenas do acaso ou de um processo aleatório.

No âmbito do controle de qualidade, é possível afirmar que o processo está fora de controle, porém, como coletou-se os dados considerando-se suas localizações, um fator particular que pode influenciar o processo é a dependência espacial dos dados ou a tendência.

4.2 TENDÊNCIAS

A aplicação de técnicas geoestatísticas supõe que o processo estocástico seja intrinsecamente estacionário, isto é, que a esperança seja constante e a covariância uma função da distância entre os pontos, o que não possibilita variações gradativas em uma direção.

A seguir apresentam-se alguns resultados de métodos de análise de variações gradativas em uma direção, que são denominadas tendência direcionais.

4.2.1 Gráfico de Dispersão dos Dados pelas Coordenadas Cartesianas

Na Tabela 4 foram relacionadas as variáveis estudadas e o tipo de tendência detectada, utilizando-se o método da dispersão dos dados pelas coordenadas cartesianas X (direção oeste-leste) e Y (direção sul-norte).

Três variáveis (E, NE4 e NG) não apresentaram tendência nas direções estudadas. Observa-se que a maioria das tendências ocorreram no eixo X, direção oeste-leste que é a direção de deslocamento do sol. As tendências foram em sua maioria do tipo quadrática, dessa forma a parte central da área apresentou valores de máximos ou mínimos, dependendo do sentido da tendência.

Tabela 4 - Tendências direcionais detectadas pela análise do gráfico de dispersão dos dados pelas coordenadas cartesianas dos pontos amostrais

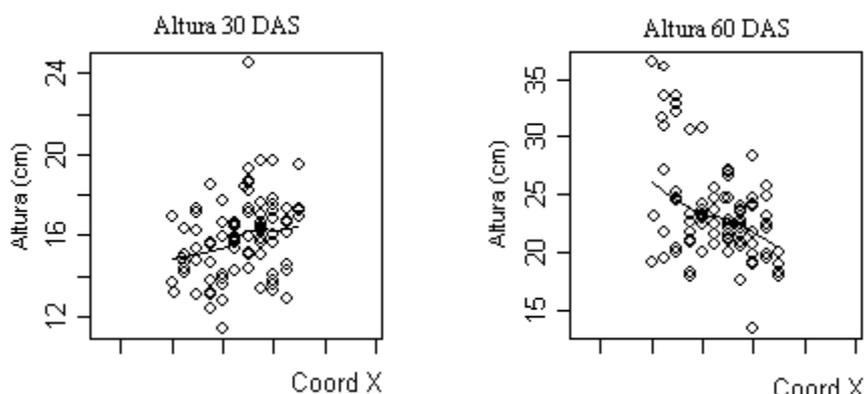
Variável	Coordenada X	Coordenada Y
E	-	-
A1	linear	linear
A2	linear	-
A3	quadrática	-
A4	quadrática	-
P1	quadrática	quadrática
P2	quadrática	quadrática
NE3	quadrática	-
NE4	-	-
CE4	linear	-
NG	-	-
P1000	linear	-
PROD	quadrática	-

E: emergência de plântulas; A1: altura de plantas 30 DAS (cm); A2: altura de plantas 60 DAS (cm); A3: altura de plantas 90 DAS (cm); A4: altura de plantas na colheita (cm); P1: número de perfilhos 30 DAS; P2: número de perfilhos 60 DAS; NE3: número de espigas 90 DAS; NE4: número de espigas na colheita; CE4: comprimento de espigas na colheita (cm); NG: número de grãos por espiga na colheita; P1000: peso de mil sementes (g); PROD: produtividade ($t\ ha^{-1}$); linear: tendência linear (1° grau); quadrática: tendência quadrática (2° grau); -: sem tendência.

Quanto à coordenada Y apresentou tendência, bem como a coordenada X e o tipo da tendência foi o mesmo para ambas as coordenadas, lembrando que havendo tendência em X não indicou haver tendência em Y.

Na Figura 12 são apresentados os gráficos de dispersão dos dados de altura de planta 30 DAS (A1) e 60 DAS (A2), segundo a coordenada cartesiana X.

Observa-se que a linha entre os pontos apresentou pequena inclinação positiva, indicando relação direta dos dados da altura de planta 30 DAS (A1) com a coordenada X (oeste-leste). No segundo mês de desenvolvimento (A2) as alturas diminuíram conforme se avançou na direção leste (coordenada X), como apresentado na Figura 12b, indicando uma relação inversa com a coordenada.



a) A1

b) A2

Figura 12 - Gráfico de dispersão pela coordenada X (oeste-leste) dos dados da altura de plantas em duas fases do desenvolvimento

Na Figura 13 são apresentadas as dispersões dos dados da altura de plantas 90 DAS (A3) e na colheita (A4), para a coordenada X.

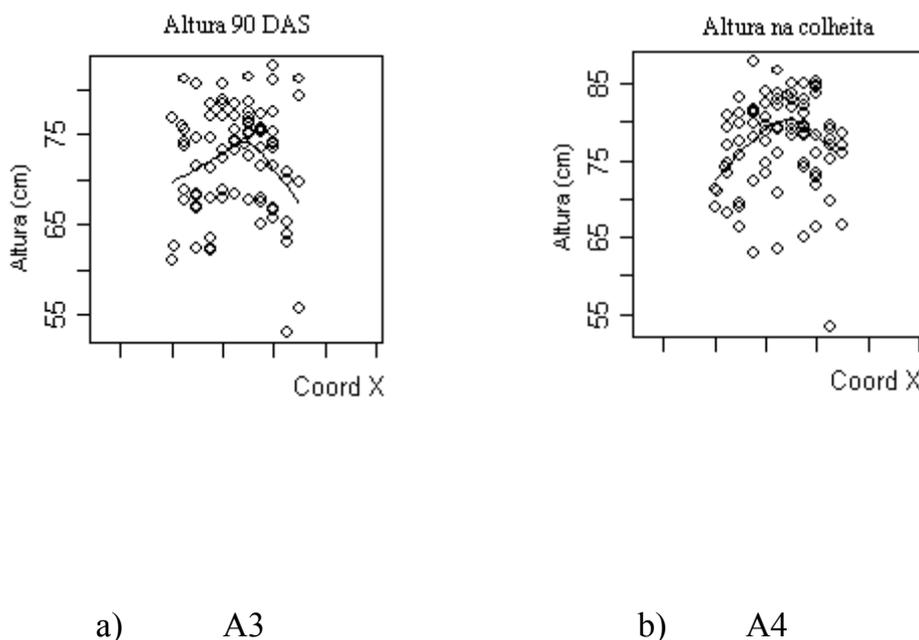
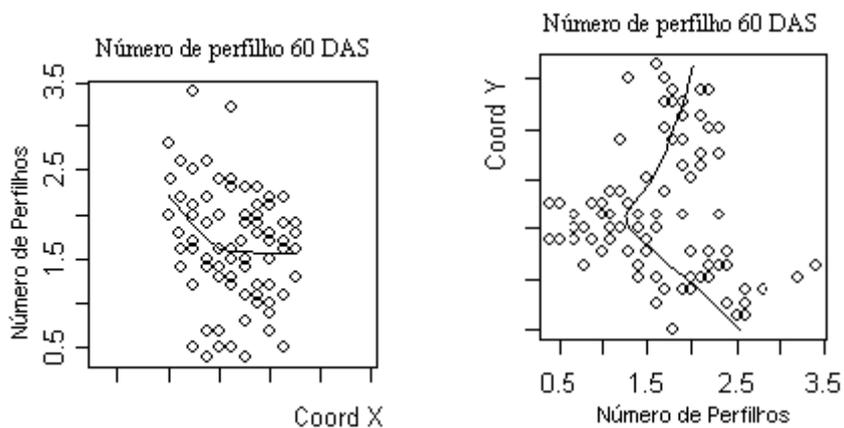


Figura 13 - Relação dos dados de altura de plantas aos 90 DAS e na colheita com a coordenada X.

Na Figura 13, os dados correspondentes à altura de planta 90 DAS (A3) na colheita (A4), respectivamente, mantiveram relação com a coordenada X (oeste-leste), como também foi detectado nas duas fases anteriores da altura de plantas (A1 e A2), mas a forma da relação mudou. Nas duas fases iniciais (Figura 12), a relação foi linear e para as fases finais (Figura 13), a relação foi quadrática. Inicialmente a altura aumentou conforme se avançou em X (oeste-leste) e depois passou a diminuir.

Na Figura 14 são apresentados os gráficos de dispersão dos dados de altura de planta 30 DAS (A1) e 60 DAS (A2), segundo a coordenada cartesiana Y.

Em X (oeste-leste) a relação inicialmente se apresenta como linear e inversa e depois estabiliza. Na coordenada Y (sul-norte) a relação inicialmente também foi linear e inversa e depois passa a ser direta. A tendência foi modelada como quadrática para ambas as coordenadas.



a) Coordenada X

b) Coordenada Y

Figura 15 - Relação do número de perfilhos 60 DAS com as coordenadas cartesianas da área de amostragem.

4.2.2 Gráfico Postplot

Na Figura 16 é apresentado o gráfico postplot da altura de plantas medida 30 DAS (A1).

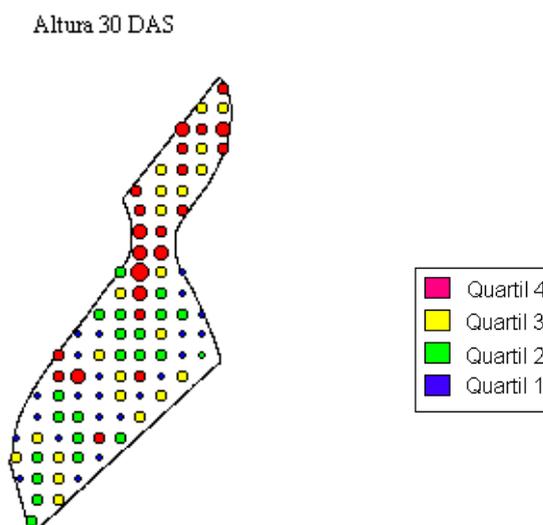


Figura 16 - Classificação das alturas de planta 30 DAS, pelos valores amostrados em cada parcela.

Nota: O tamanho do círculo é proporcional ao valor amostrado no local.

Na Figura 14a foi detectada tendência direcional pouco acentuada dos dados da altura 30 DAS (A1) com no o eixo Y. Na Figura 16 o aumento da altura conforme se avança em Y (sul-norte) é evidente, pois na região inferior do gráfico ocorrem poucas parcelas com valores mais elevados.

Na Figura 17 é apresentado o gráfico postplot da produtividade (PROD).

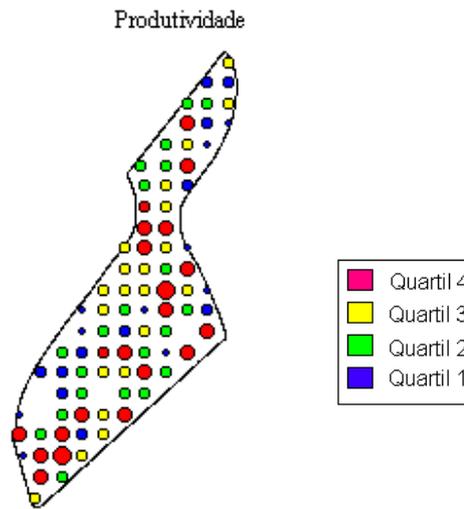


Figura 17 - Produtividade do trigo nos locais de amostragem.

Nota: o tamanho do círculo está diretamente relacionado ao valor coletado.

Não se detectou tendência direcional na produtividade, as parcelas com valores mais elevados vêm como as com os menores valores amostrais e apresentam-se bem distribuídas na área.

Ocorreram concentrações de valores semelhantes entre si na parte central do gráfico, dando indícios de dependência espacial dos dados, pois locais próximos apresentam valores amostrais pertencentes ao mesmo quartil, portanto sem muita diferença em magnitude, e isso é uma característica da dependência espacial.

Na Figura 18 é apresentado o gráfico postplot dos dados coletados referentes ao comprimento de espigas na colheita (CE4), os quais apresentaram poucas regiões com aglomeração de valores próximos, havendo, portanto, em pequenas distâncias, grandes variações nos valores amostrados, indicando independência espacial dos dados. Outras ferramentas mais apropriadas foram utilizadas para verificar a dependência espacial.

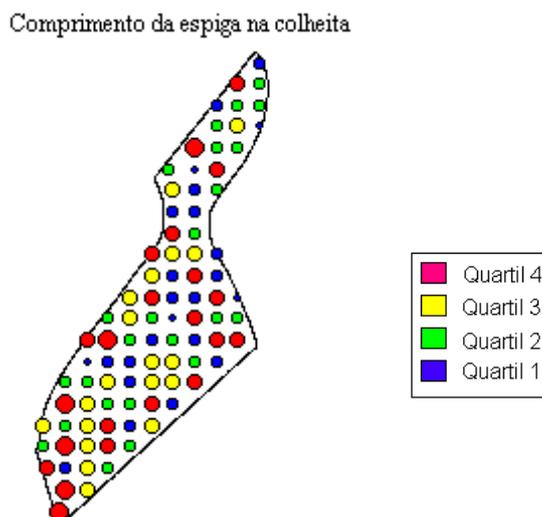
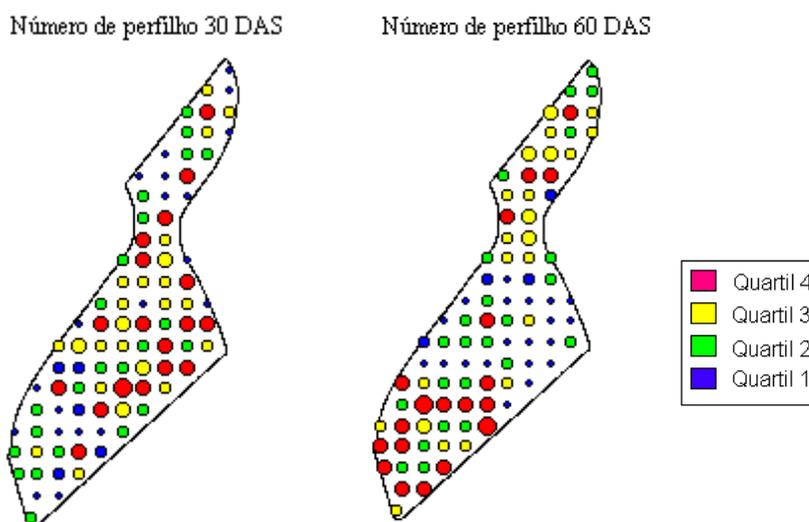


Figura 18 - Classificação dos dados amostrados do comprimento de espigas na colheita, pelos quartis, considerando os locais de amostragem.

Nota: o tamanho do círculo está diretamente relacionado ao valor coletado.

Na Figura 19 é apresentado o gráfico postplot do número de perfilhos 30 e 60 DAS.



a) P1

b) P2

Figura 19 - Representação dos dados amostrados referentes ao número médio de perfilhos por planta.

Nota: o tamanho do círculo está diretamente relacionado ao valor coletado.

A tendência quadrática, detectada pelo método da dispersão dos dados do número de perfilhos 30 DAS (P1) e 60 DAS (P2) pelas coordenadas cartesianas e a inversão do sentido desta relação (Figura 15) fica clara na observação do gráfico postplot dessas variáveis (Figura 19).

Na Figura 19a observa-se que a região que apresentava o maior número de perfilhos na amostragem 30 DAS (P1), realizada em 17 de junho de 2003, coincide com a área que apresentou o menor número de perfilhos 60 DAS (P2), cuja amostragem deu-se em 17 de julho de 2003 (Figura 19b).

Pelos dados de precipitação da estação meteorológica situada na fazenda onde o experimento foi realizado, obtidos juntos ao SIMEPAR, tem-se que entre a semeadura do trigo em 17/05/03 e a primeira contagem de perfilhos, em 17/06/03, ocorreu 112,5 mm de chuva, nos dias 03, 04, 05, 06 e 09 de junho de 2003. Tanta chuva em um pequeno espaço de tempo, pode ter causado encharcamento do solo, provocando redução do perfilhamento de gramíneas como afirmaram TURNER e BEGG (1978), citados por CUNHA et al. (2001).

No segundo mês da cultura ocorreram 132,6 mm de chuva os quais foram distribuídos entre os dias 20 de junho e 16 de julho. Essa precipitação não provocou encharcamento do solo e pode ter favorecido o aumento do número de perfilhos emersos, como também relataram CUNHA et al. (2001), estudando a gramínea *Paspalum atratum* cv.

Poucas evidências de tendência foram detectadas utilizando a representação gráfica do postplot. Não se observaram variáveis com grandes conglomerados, em regiões com valores amostrais próximos, como se observa no Apêndice B, no qual se apresentam os gráficos postplot para as demais variáveis estudadas.

4.2.3 Variação da Média nas Direções X e Y

Na Tabela 5 é apresentada a síntese da análise de tendência das variáveis utilizando o método da variação da média segundo as direções X e Y. Em seis variáveis não foi detectada tendência direcional e a maioria das tendências se deu em relação às colunas, direção oeste-leste.

A altura de plantas na colheita (A4) e o número de perfilhos 30 DAS (P1) e 60 DAS (P2) apresentaram variação quadrática da média em relação às colunas.

Das tendências lineares detectadas na relação da média com as linhas e colunas, há maior número de relações inversamente proporcionais das médias com as direções.

Na Figura 20 é apresentado o gráfico de médias, segundo as direções sul-norte (colunas) e oeste-leste (linhas) para a altura de planta 60 DAS (A2), em que se observa que a média apresentou comportamento similar para linhas e colunas, havendo decréscimo dessa estatística conforme se desloca para o leste e o norte, respectivamente.

Tabela 5 - Relações de tendência das variáveis detectadas pela variação da média segundo as coordenadas X e Y

Variável	Tendência	
	Coordenada X (colunas)	Coordenada Y (linhas)
E	-	-
A1	direta	direta
A2	inversa	inversa
A3	-	-
A4	quadrática	-
P1	quadrática	-
P2	quadrática	-
NE3	-	-
NE4	-	-
CE4	inversa	-
NG	-	-
P1000	inversa	-
PROD	-	-

E: emergência de plântulas; A1: altura de plantas 30 DAS (cm); A2: altura de plantas 60 DAS (cm); A3: altura de plantas 90 DAS (cm); A4: altura de plantas na colheita (cm); P1: número de perfilhos 30 DAS; P2: número de perfilhos 60 DAS; NE3: número de espigas 90 DAS; NE4: número de espigas na colheita; CE4: comprimento de espigas na colheita (cm); NG: número de grãos por espiga na colheita; P1000: peso de mil sementes (g); PROD: produtividade (t ha⁻¹); direta: tendência linear positiva; inversa: tendência linear negativa; quadrática: tendência quadrática.

Calculando-se o coeficiente de determinação linear (R^2) dessas relações, obtiveram-se os maiores índices entre todas as demais variáveis: 77,00 % para a direção oeste-leste (colunas) e 59,60 % para a direção sul-norte (linhas).

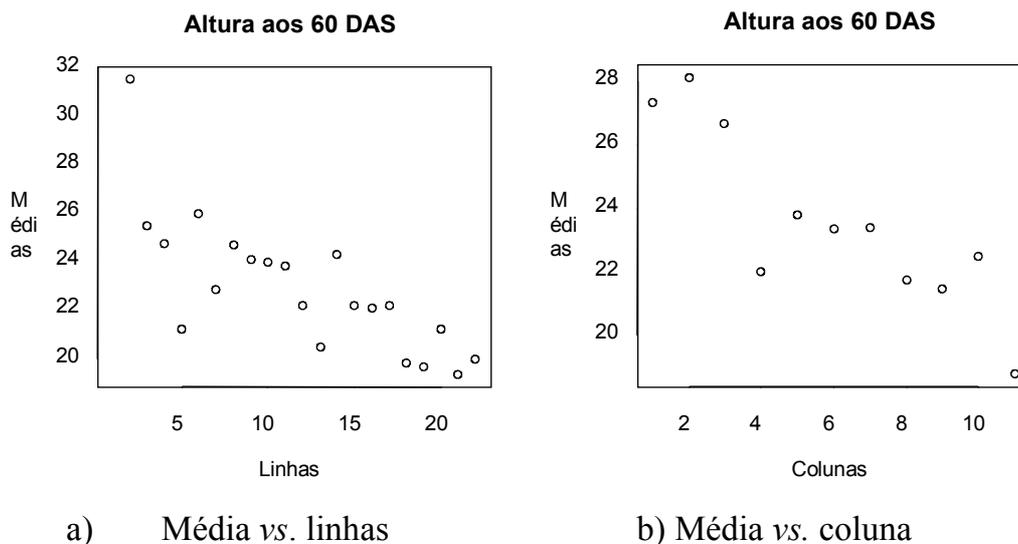
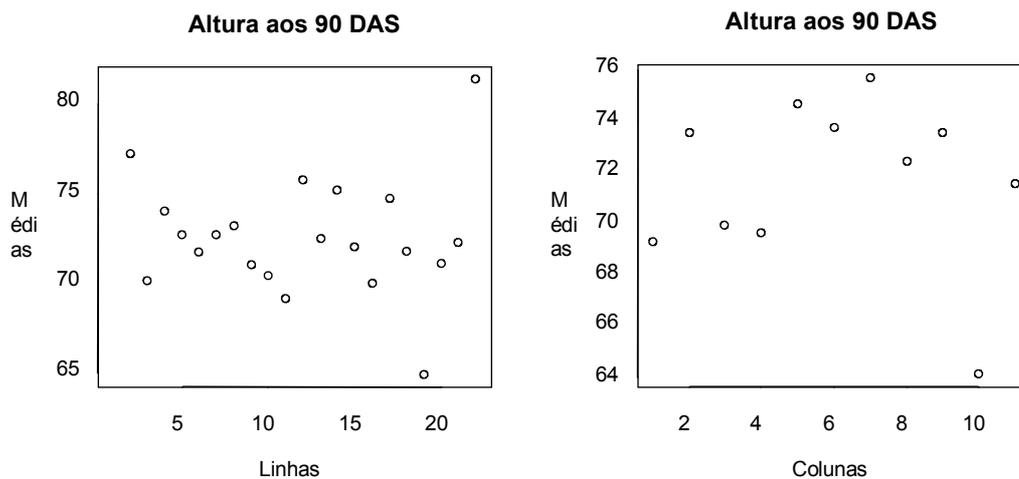


Figura 20 - Médias dos dados da altura de plantas 60 DAS, com agrupamento por linhas (oeste-leste) e por colunas (sul-norte).

Na Figura 21 são apresentados os gráficos de dispersão da média, agrupadas pelas linhas e colunas do plano amostral, da altura de plantas 90 DAS (A3).

Como há casos em que a média varia ordenadamente segundo as direções, ocorreram casos sem padrão de variação evidente, como o das médias da altura de planta 90 DAS (A3) agrupadas pelas linhas (Figura 21a), não havendo tendência aparente. Na Figura 21b os valores da média aumentaram inicialmente conforme se avançou na direção oeste-leste e depois decresceu, caracterizando tendência quadrática na direção X, mas o coeficiente de determinação (R^2) foi inferior a 50 %, para uma relação quadrática.



a) Média vs. linhas

b) Média vs. coluna

Figura 21 - Dispersão das médias dos dados da altura de planta 90 DAS, com agrupamento por linhas (sul-norte) e colunas (leste-oeste).

4.2.4 Efeito Proporcional

Na Tabela 6 apresenta-se o valor do coeficiente de determinação (R^2) das relações entre a média e o desvio padrão dos dados agrupados segundo linha e colunas. As variáveis emergência de plântulas (E), altura de planta 60 DAS (A2) e altura de plantas na colheita (A4) apresentaram coeficiente de determinação (R^2) superior a 50 % e foram consideradas significativas a 5 %, pelo teste de correlação.

A relação entre as estatísticas é bem definida para a emergência de plântulas (E) a relação foi direta com coeficiente de determinação 54,76 %. A

altura de plantas na colheita (A4) teve correlação inversa com coeficiente de determinação de 70,73 %.

O desvio padrão da altura de planta 60 DAS (A2) aumentou significativamente com o aumento da média desses dados, quando agrupados pela coordenada X, ao nível de 5 % de significância, pelo teste de correlação. Houve aumento de 0,87 cm no desvio padrão para cada aumento de 1 cm na média desses dados.

Tabela 6 - Coeficiente de determinação (R^2) da relação entre média e desvio padrão dos dados agrupados por linhas e colunas, do plano amostral para as variáveis estudadas

Variável	Coeficiente de Determinação (R^2)	
	Coordenada X	Coordenada Y
E	0,11	54,76*
A1	5,76	0,15
A2	76,21*	2,07
A3	14,75	16,16
A4	4,49	70,73*
P1	14,52	4,54
P2	0,52	0,86
NE3	10,43	0,00
NE4	0,26	5,24
CE4	0,53	0,40
NG	6,71	5,15
P1000	41,86	15,68
PROD	2,56	3,92

* Coeficiente de determinação maior que 50 %; E: emergência de plântulas; A1: altura de plantas 30 DAS (cm); A2: altura de plantas 60 DAS (cm); A3: altura de plantas 90 DAS (cm); A4: altura de plantas na colheita (cm); P1: número perfilhos 30 DAS; P2: número de perfilhos 60 DAS; NE3: número de espigas 90 DAS; NE4: número de espigas na colheita; CE4: comprimento de espigas na colheita (cm); NG: número de grãos por espiga na colheita; P1000: peso de mil sementes (g); PROD: produtividade ($t\ ha^{-1}$).

O desvio padrão da altura de planta 60 DAS (A2) aumentou significativamente com o aumento da média desses dados, quando agrupados pela coordenada X, ao nível de 5 % de significância, pelo teste de correlação. Houve aumento de 0,87 cm no desvio padrão para cada aumento de 1 cm na média desses dados.

O desvio padrão do peso de mil sementes diminuiu 0,65 g para cada aumento de 1 g na média dos dados agrupados pela coordenada X, havendo uma relação linear significativa ao nível de 5 % de probabilidade entre essas estatísticas na coordenada X, porém, o coeficiente de determinação (R^2) foi inferior a 50 %.

As demais variáveis não apresentaram efeito proporcional. Dessa forma, foram incorporadas na análise dos dados a tendência da emergência de plântulas (E) e da altura de plantas na colheita (A4), ambas na direção Y.

4.2.5 Influência de Covariáveis

Na Figura 22 é apresentado o gráfico boxplot da altura de plantas 60 DAS (A2), estratificado pela área à qual pertence e percebe-se superioridade nos valores e na dispersão dos dados correspondentes à área 1.

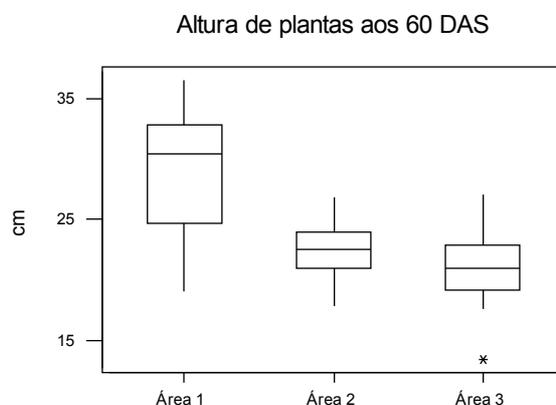


Figura 22 - Distribuição dos dados da altura de plantas 60 DAS nas sub-áreas.

Aos 60 DAS as plantas da cultivar CD 101 haviam se desenvolvido mais. Essa superioridade pode influenciar as estimativas da variabilidade espacial, indicando uma variabilidade que na verdade não existe ou deixando de indicar uma variabilidade espacial efetiva.

A covariável área não influenciou a altura de plantas de trigo nos demais estádios de desenvolvimento. O estágio de desenvolvimento que apresentou maiores diferenças entre as áreas, além do apresentado anteriormente, é referente aos dados coletados 90 DAS, cujo gráfico apresenta-se na Figura 23. a maior diferença consistiu nos valores mínimos da área 3, os quais foram menores que nas demais áreas, o que não é evidência suficiente para se aceitar a idéia de que a covariável área tenha influenciado o desenvolvimento da altura das plantas.

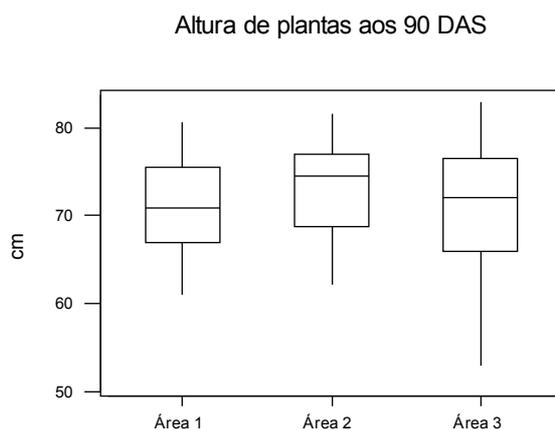


Figura 23 - Distribuição dos dados da altura de plantas 90 DAS nas sub-áreas.

4.2.6 Síntese da Análise de Tendência

Na Tabela 7, apresenta-se a conclusão da análise de tendência. Com base nos resultados dos cinco métodos de análise de tendência apresentados e discutidos, conclui-se que os dados do número de espigas na colheita (NE4) e número de grãos por espiga não apresentaram qualquer tendência. As demais apresentaram tendência direcional. As áreas contendo as cultivares CD 101 e CD 103 podem ser estudadas como única, exceto para a altura de planta 60 DAS (A2), em que as áreas serão consideradas realidades distintas na modelagem da variabilidade espacial e nos procedimentos seguintes.

Tabela 7 - Tendências consideradas nas coordenadas das variáveis estudadas e o efeito da covariável

Variáveis	Tendência nas coordenadas		Efeito da covariável área
	X	Y	
E	linear	linear	-
A1	linear	linear	-
A2	linear	linear	sim
A3	-	quadrática	-
A4	quadrática	linear	-
P1	quadrática	quadrática	-
P2	quadrática	quadrática	-
NE3	linear	-	-
NE4	-	-	-
CE4	linear	-	-
NG			-
P1000	linear	-	-
PROD	quadrática	-	-

E: emergência de plântulas; A1: altura de plantas 30 DAS (cm); A2: altura de plantas 60 DAS (cm); A3: altura de plantas 90 DAS (cm); A4: altura de plantas na colheita (cm); P1: número perfilhos 30 DAS; P2: número de perfilhos 60 DAS; NE3: número de espigas 90 DAS; NE4: número de espigas na colheita; CE4: comprimento de espigas na colheita (cm); NG: número de grãos por espiga na colheita; P1000: peso de mil sementes (g); PROD: produtividade (t ha⁻¹).

4.3 VARIABILIDADE ESPACIAL

4.3.1 Estimador de Semivariância

A variabilidade espacial foi avaliada inicialmente pelo semivariograma gerado pelo estimador de Matheron, o qual não é estável para distribuições de cauda pesada, sendo necessária então a verificação da normalidade na distribuição de probabilidade dos dados e da sua necessidade de transformação.

4.3.2 Normalidade na Distribuição de Probabilidade

Na estimação do parâmetros λ para a transformação de BOX e COX (1964), as variáveis número médio de perfilhos por planta 30 e 60 DAS (P1 e P2), número de grãos por espiga (NG), comprimento da espiga 90 DAS (CE3) e na colheita (CE4), produtividade (PROD) e número de espigas na colheita (NE4) não apresentaram valores que requeressem a transformação de variáveis para os dados serem considerados com distribuição normal de probabilidade.

Para as variáveis emergência de plântulas (E), altura de plantas 30 DAS (A1), altura de plantas 60 DAS (A2), altura de plantas 90 DAS (A3), altura de

plantas na colheita (A4) e peso de mil sementes (P1000), o valor de λ indicou necessidade de transformação para os dados serem descritos pela distribuição normal de probabilidade.

Na Tabela 8 são apresentados os valores da constante λ utilizada na transformação de BOX e COX (1964), e os intervalo de 95 % de confiança para a estimativa.

Tabela 8 - Valores estimados para λ e seus respectivos intervalos de 95% de confiança

Variáveis	E*	A1	A2	A3	A4	P1000
λ	0,0	-0,5	-0,6	4,0	5,5	5,0
IC (95%, λ)	(-0,6 ; 0,4)	(-1,8 ; 0,8)	(-1,5 ; 0,2)	(1,6 ; 6,2)	(3,1 ; 8,2)	(2,1 ; 7,9)

*aproximação da distribuição de poisson pela distribuição normal de probabilidade; IC: intervalo de confiança; E: emergência de plântulas; A1: altura de plantas 30 DAS (cm); A2: altura de plantas 60 DAS (cm); A3: altura de plantas 90 DAS (cm); A4: altura na colheita (cm); P1000: peso de mil sementes (g).

Na Figura 24 é apresentado o gráfico de BOX e COX (1964), para os dados da altura de planta 30 DAS (A1), do qual obteve-se o valor estimado de λ e o intervalo de 95 % de significância para a estimativa.

Para A1, o λ considerado na transformação, com 95 % de significância poderia ser qualquer valor pertencente ao intervalo de -1,8 a 0,8. Utilizou-se o valor - 0,5 por ser um valor próximo à linha vertical central do gráfico.

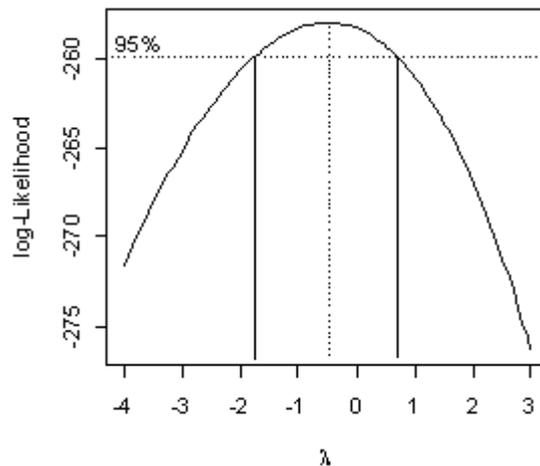


Figura 24 - Gráfico da estimação por máxima verossimilhança do λ ótimo para a transformação de Box e Cox para a altura de plantas 30 DAS.

4.3.3 Anisotropia

Na Figura 25 são apresentados os semivariogramas direcionais (0° , 45° , 90° e 135°) para a variável emergência de plântulas (E) e os limitantes da variabilidade espacial, denominados envelopes, que auxiliam no estudo da anisotropia geométrica.

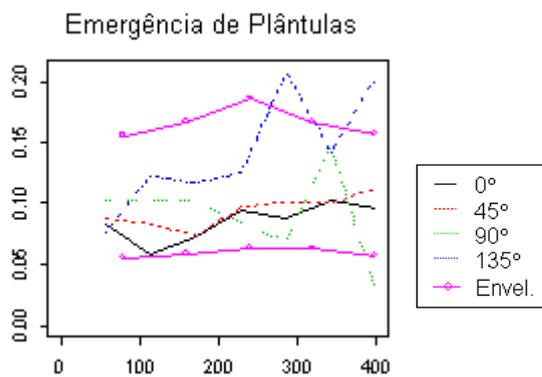


Figura 25 - Semivariogramas direcionais e envelopes da semivariância omnidirecional da emergência de plântulas.

Os semivariogramas direcionais das direções 135° e 90° apresentam semivariâncias que extrapolaram os limites de variação das semivariâncias, indicando a presença de anisotropia geométrica.

Na Tabela 9 são apresentados os valores do fator de anisotropia (F_a) e o ângulo (α) de maior continuidade da variabilidade espacial, para as variáveis que apresentaram anisotropia geométrica.

Os parâmetros para correção da anisotropia geométrica indicaram que a maior continuidade da variabilidade espacial ocorreu na direção norte-sul, formando com o eixo ângulo menor que 1°. O fator de anisotropia F_a foi mais expressivo para emergência de plântulas e altura 90 DAS (A3). A altura de plantas na colheita apresentou a menor diferença entre os alcances, na ordem da terceira decimal.

Tabela 9 - Fator de anisotropia (F_a) e ângulo α de maior variabilidade espacial

Variável	E*	A1	A3	A4	NE4*	PROD
α	0,42	0,00	0,00	0,01	0,00	0,77
F_a	1013,00	2,86	1441,00	1,00	9,00	2,03

*aproximação da distribuição de Poisson pela distribuição normal de probabilidade; F_a : razão entre os eixos da elipse da anisotropia geométrica; α : ângulo de maior continuidade (radianos); E: Emergência de plântulas; A1: Altura de plantas 30 DAS; A2: Altura de plantas 60 DAS; A3: Altura de plantas 90 DAS; A4: Altura de plantas na colheita; NE4: Número de espigas na colheita; PROD: produtividade do trigo.

Para a emergência de plântulas (E) o maior eixo da elipse da anisotropia forma com o eixo Y um ângulo de aproximadamente 23° e para a produtividade do trigo (PROD) este ângulo é de aproximadamente 44°.

4.3.4 Modelagem da Variabilidade Espacial

Na Tabela 10 são apresentados os modelos e os parâmetros modelos teóricos aos semivariogramas, estimados pelos métodos da máxima verossimilhança (MV), mínimos quadrados ponderados pelo número de pares (WLS1) e mínimos quadrados ordinários (OLS), para ajustar.

O método mínimos quadrados ordinários não apresentou modelo para as variáveis: emergência de plântulas (E), altura de plantas 90 DAS (A3) e número de perfilhos 30 DAS (P1).

O número de perfilhos 30 DAS (P1) apresentou efeito pepita puro na modelagem de WLS. O comprimento de espigas na colheita (CE4) apresentou tal comportamento na modelagem por MV e WLS1, para a emergência de plântulas (E). O efeito pepita puro foi obtido na modelagem por MV.

Tabela 10 - Modelos teóricos e seus parâmetros, descrevendo a variabilidade espacial das características fisiológicas do trigo

* Dados transformados; MV: máxima verossimilhança; WLS1: mínimos quadrados ponderados pelo número de pares; OLS: mínimos quadrados ordinários; E: emergência de plântulas; A1: altura de plantas 30 DAS (cm); A2: altura de plantas 60 DAS (cm); A3: altura de plantas 90 DAS (cm); A4: altura de plantas na colheita (cm); P1: número perfilhos 30 DAS; P2: número de perfilhos 60 DAS; NE3: número de espigas 90 DAS; NE4: número de espigas na colheita; CE4: comprimento de espigas na colheita (cm); NG: número de grãos por espiga na colheita; P1000: peso de mil sementes (g); PROD: produtividade (t ha⁻¹).

Para onze variáveis estudadas referentes ao desenvolvimento do trigo, obtiveram-se modelos que descrevem a variabilidade espacial, mas como afirmou JOURNEL (1979), citado por GUERRA (1988), se o coeficiente de efeito pepita (ϵ), definido pela equação (3), for maior que 0,80 não há diferença entre geoestatística e estatística. Assim, se realmente existir variabilidade espacial ela é tão fraca que pode ser desconsiderada. Na Tabela 11 são apresentados os coeficientes de efeito pepita das variáveis estudadas.

A variabilidade das variáveis número de perfilhos 30 DAS (P1), número de espigas na colheita (NE4), número de espigas 90 DAS (NE3), comprimento de espigas na colheita (CE4) e número de grãos por espiga (NG) foi fraca, podendo ser considerada aleatória, ou seja, não depende da localização dos pontos amostrados.

Tabela 11 - Coeficiente de efeito pepita relativo, segundo os três métodos de ajustes utilizados

Variável	Coeficiente de Efeito Pepita (ϵ)			Dependência Espacial**
	MV	WLS1	OLS	
E*	1,00	0,75	-	sim
A1*	0,71	0,67	0,50	sim
A2*	1,00	0,75	0,80	sim
A3*	0,41	0,88	-	sim
A4*	0,65	0,60	0,50	sim
P1000*	0,99	0,69	0,77	sim
P1	0,95	1,00	-	não
P2	0,00	0,21	0,55	sim
NE3	0,99	0,93	0,94	não
NE4	0,97	0,98	0,97	não
CE4	1,00	1,00	0,98	não
NG	0,98	0,79	0,83	não
PROD	0,17	0,77	0,77	sim

Conforme apresentado na Tabela 10, o método de ajuste WLS1 modelou a variabilidade espacial dos dados transformados da emergência de plântulas de trigo (E), com alcance de 500,34 metros, efeito pepita de 0,09 e patamar de 0,12. Da Tabela 11, tem-se que o coeficiente de efeito pepita foi de 0,7, indicando que a variação aleatória do fenômeno, representada por C_0 , foi importante para definição da variabilidade espacial (ROYLE, 1979; citado por GUERRA, 1988) e a variabilidade espacial da variável foi considerada moderada (GUIMARÃES, 2001).

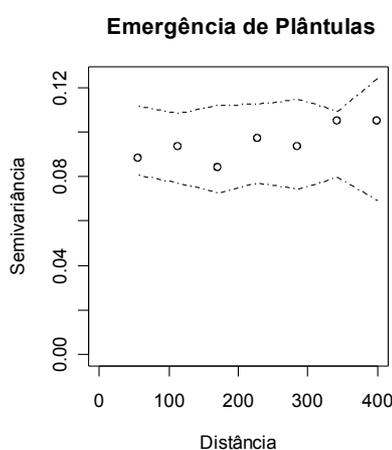


Figura 26 - Limitantes das semivariâncias experimentais isotrópicas, considerando independência entre as amostras, para o logaritmo da emergência de plântulas.

A variabilidade espacial não foi detectada pela técnica dos envelopes, conforme se observa na Figura 26, em que todas as semivariâncias estão entre as faixas definidas pelos envelopes, indicando que a variabilidade espacial não diferiu da variabilidade aleatória.

Na Figura 27 é apresentada a nuvem variográfica dos dados transformados de emergência de plântulas (E).

Percebe-se na Figura 26 que a terceira semivariância estimada foi menor que as duas anteriores, indo de encontro à idéia de dependência espacial em que, quanto menor a distância menor a diferença entre os pontos. Na Figura 27 observa-se que, para distâncias até 120 m, aproximadamente, ocorrem diferenças entre pares com valores bem elevados, em comparação aos demais resultados apresentados. Isso ocorre por existirem locais próximos com valores bem diferentes entre si.

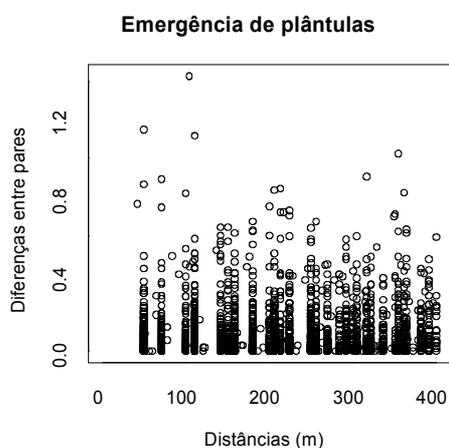


Figura 27 - Nuvem variográfica do logaritmo da emergência de plântulas.

Dois dados dessa variável foram atípicos ao restante do conjunto, como observado na Figura 15. Desconsiderando esses pontos na análise da variabilidade espacial, não se obtiveram melhoras na representação gráfica da variabilidade e nem na modelagem.

Outras parcelas vizinhas (próximas no espaço), cujos valores amostrados não foram discrepantes ao conjunto de dados, possuem valores bem diferentes

entre si, elevando os valores das semivariâncias para pequenas distâncias. A análise da variabilidade espacial prosseguiu considerando todos os pontos amostrados.

Na Figura 28 é apresentado o mapa de contorno da emergência de plântulas (E).

Os valores interpolados ficaram entre 75 e 95 plântulas emersas (E) por $0,25 \text{ m}^2$, havendo uma grande área na qual a quantidade de plântulas emersas ficou entre 80 e 85. Conforme prescrição da cultivar, não houve regiões com emergência de plântulas menor que a média estabelecida pela unidade detentora da semente (COODETEC), 72 plântulas por $0,25 \text{ m}^2$.

Observando que o valor mínimo amostrado foi 37 plântulas e o máximo 199 plântulas por $0,25 \text{ m}^2$, na interpolação houve amostras superestimadas e outras subestimadas, considerando o modelo da variabilidade espacial utilizado.

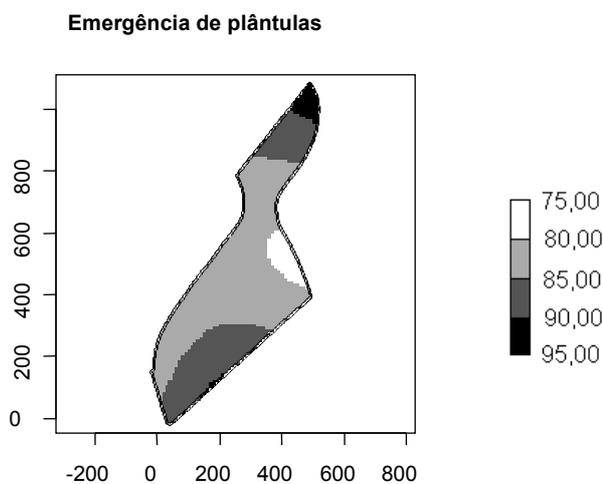


Figura 28 - Mapa de contorno da emergência de plântulas, gerado pelo processo de interpolação krigagem com parâmetros estimados por WLS1.

Na Figura 29 é apresentado o gráfico dos valores amostrais da emergência de plântulas de trigo comparados aos valores estimados pela krigagem utilizando o modelo obtido pelo método dos mínimos quadrados ponderados pelo número de pares.

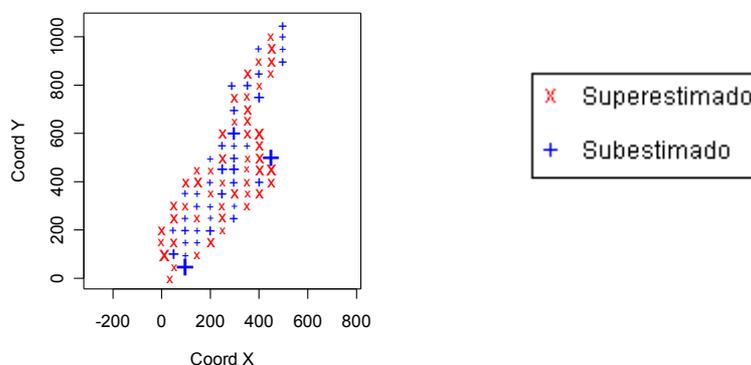


Figura 29 - Diferença entre os valores amostrados e os estimados pela krigagem, para a emergência de plântulas.

Nota: O tamanho dos símbolos é proporcional aos valores que representam.

Duas amostras foram mais intensamente subestimadas e correspondem às parcelas com valores de 182 e 199 plântulas emersas, considerados valores discrepantes na análise exploratória do gráfico boxplot (Figura 8). A parcela mais superestimada foi a que apresentou o menor valor na amostragem, ou seja, 37 plântulas emersas em 0,25 m². Não houve concentração de valores super ou subestimados, em uma região do gráfico.

As estimativas de krigagem apresentaram um comportamento similar para todo o conjunto de dados. A quantidade de amostras que foram super ou sub-estimadas foi semelhante.

Na Figura 30 é apresentado o gráfico de dispersão dos valores amostrados em relação aos valores estimados.

Observa-se diferença entre a amplitude do intervalo dos valores amostrados e dos valores preditos pela krigagem, observando que a média dos valores amostrados para a emergência de plântulas (E), considerando a emergência por $0,25 \text{ m}^2$ foi de aproximadamente 84 plântulas. Verifica-se no gráfico da Figura 30 que as estimativas foram em torno da média amostral, isso indica também que a variabilidade espacial não foi tão significativa e dessa forma o estimador deu mais peso à média dos dados que as observações individuais, o que não diminui a confiança nas estimativas.

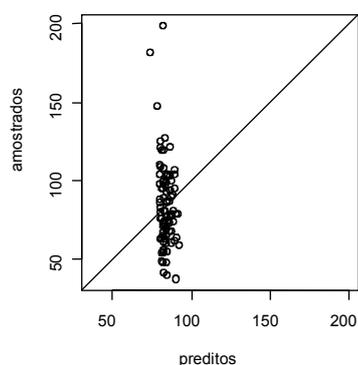


Figura 30 - Dispersão das estimativas de krigagem em relação aos valores observados para a emergência de plântulas.

4.3.6 Altura de Plantas 30 DAS (A1), Transformação de Box e Cox ($\lambda = -0,5$)

Conforme apresentado na Tabela 10, os três métodos de ajustes modelaram a variabilidade espacial dos dados transformados da altura de plantas 30 DAS (A1), identificando alcance de variabilidade espacial de 100 a 130 m. Os valores do efeito pepita (C_0) diferiram pouco entre os modelos, sendo $4E-4$ para o modelo ajustado pelo método OLS, $6E-4$ para o método ajustado pelo método WLS1 e $5E-4$, utilizando o método MV. O patamar (C) para os métodos WLS1 e MV foram iguais com valor de $7E-4$, sendo pouco mais elevado para o método OLS, com valor de $8E-4$.

Esses baixos valores dos parâmetros C_0 e C são decorrentes da transformação feita para que os dados fossem considerados com distribuição normal de probabilidade. Como a transformação altera os valores amostrais, o alcance não é afetado.

Pela classificação da dependência espacial pelo coeficiente de efeito pepita, apresentado na Tabela 11, a altura de plantas 30 DAS (A1*) teve variabilidade espacial moderada.

Na Figura 31 é apresentado o semivariograma experimental isotrópico dos dados transformados da altura de plantas 30 DAS, com os envelopes.

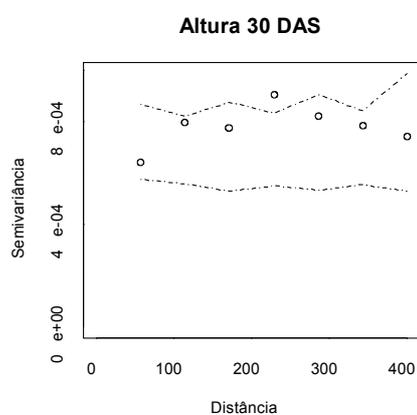


Figura 31 - Limitantes das semivariâncias experimentais isotrópicas, considerando independência entre as amostras (envelopes) para os dados transformados da altura de plantas 30 DAS.

Uma semivariância extrapolou os envelopes, indicando que a variabilidade do processo não foi aleatória e depende da localização dos pontos na área, ou seja, a variação dos valores amostrados é explicada pela dependência espacial que existe entre as amostras.

Na Figura 32 são apresentados os três modelos ajustados para descrever a variabilidade espacial da altura de plantas 30 DAS (A1).

Considerando as semivariâncias estimadas e os modelos ajustados (Figura 32), percebe-se que a modelagem da variabilidade espacial obtida pelo método OLS foi a que melhor se ajustou às semivariâncias, lembrando que o método MV não ajusta modelo às semivariâncias e sim aos dados.

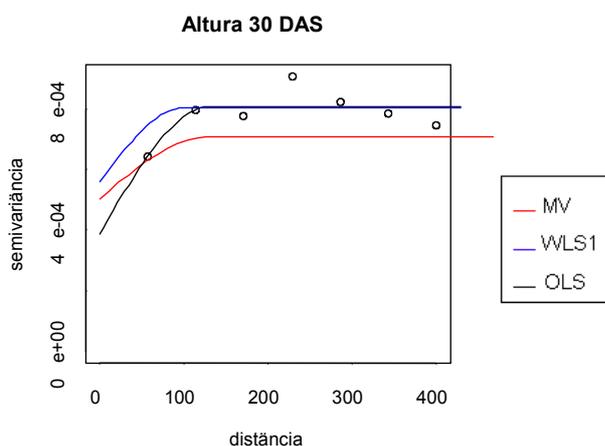


Figura 32 - Representação gráfica dos modelos da variabilidade espacial dos dados transformados da altura de plantas 30 DAS.

Na Figura 33 são apresentados os mapas de contorno da altura de plantas 30 DAS (A1).

Os mapas estão todos na mesma escala e observa-se que utilizando o modelo ajustado pelo método OLS (Figura 33c), ocorreram cinco regiões com

predições entre 12 e 14 cm para a altura de plantas 30 DAS (A1), enquanto nos demais, (Figura 33a e 33b), foram duas pequenas regiões que apresentaram alturas entre 12 e 14 cm. O restante da interpolação obtida pelos modelos ajustados pelo WLS1 e MV também foi parecido.

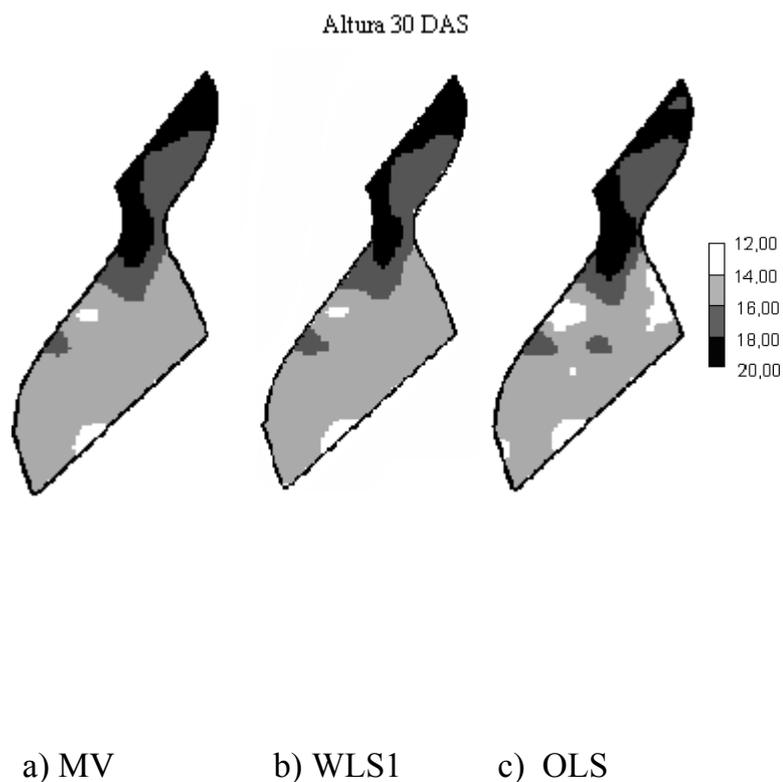


Figura 33 - Mapas das predições das alturas de plantas 30 DAS, obtidos por krigagem.

Quanto à validação das estimativas geradas pela krigagem, os modelos obtidos por diferentes métodos também são comparáveis, não havendo diferenças visuais entre eles. Na Figura 34 é apresentada a dispersão dos valores amostrados com os valores estimados pela krigagem utilizando o modelo obtido pela MV.

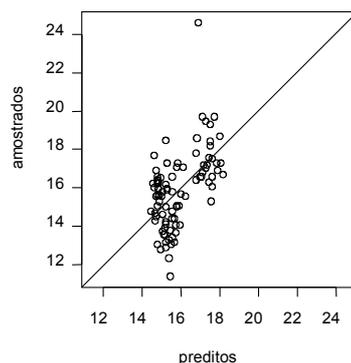


Figura 34 - Dispersão dos valores amostrados pelos valores estimados pela krigagem da altura de plantas 30 DAS, utilizando o modelo gerado pela MV.

Observa-se que os valores preditos não ficaram concentrados em torno do valor médio amostral, como ocorreu na emergência de plântulas (Figura 30). A altura de plantas 30 DAS teve variabilidade espacial significativa pela técnica dos envelopes, o que justifica o interpolador, neste caso, ter valorizado menos a média amostral e mais os valores amostrais.

Um ponto apresentou diferença notável entre seu valor amostrado para o estimado: o valor máximo amostrado. Nos demais, a relação entre valor amostrado e estimado foi boa. A comparação ponto a ponto das estimativas feitas utilizando a modelagem dada por MV e os valores amostrados pode ser observada na Figura 35, na qual se confirmou que a quantidade de pontos subestimados em relação aos superestimados foi equilibrada.

A krigagem, considerando o modelo ajustado pela MV subestimou mais consideravelmente o valor de uma amostra a qual foi o único valor discrepante no conjunto de dados.

Os dois valores mínimos amostrados foram os mais superestimados no processo de interpolação da altura de plantas 30 DAS (A1). As observações de amostras superestimadas e subestimadas foram equiparáveis para os três modelos de variabilidade aqui apresentados.

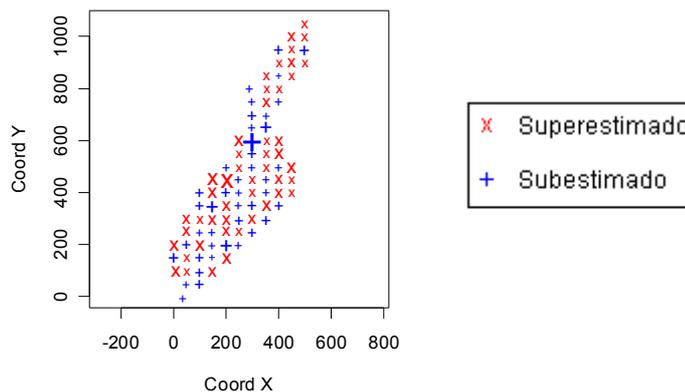


Figura 35 - Diferença entre os valores amostrados e os estimados por krigagem para a altura de plantas 30 DAS.

Nota: O tamanho do símbolo é proporcional à diferença do valor estimado para o valor amostrado.

4.3.7 Altura de Plantas 60 DAS (A2), Transformação de Box e Cox ($\lambda = -0,6$)

Para os dados transformados da altura de plantas 60 DAS (A2), conforme apresentado na Tabela 10, a variabilidade espacial apresentou alcances de 500,00 m para o modelo ajustado pelo WLS1 e 430,65 m para o modelo ajustado pela OLS, os quais corresponderam aos maiores alcances obtidos na área para as variáveis em estudo.

Conforme valores apresentados na Tabela 11, a variabilidade espacial foi classificada como moderada (GUIMARÃES, 2001) para o modelo ajustado pelo método WLS1 e pela modelagem feita pelo OLS não existe dependência espacial para a variável.

Na Figura 36 é apresentado o semivariograma experimental isotrópico dos dados transformados da altura de plantas 60 DAS (A2*), com os envelopes

de dependência espacial, em que não se evidenciou dependência espacial dos dados, o intervalo das semivariâncias desconsiderando as localizações (envelopes), contém as semivariâncias experimentais. Se houve dependência espacial dos dados da altura de plantas 60 DAS (A2*) ela foi fraca, não sendo detectada pelos envelopes do semivariograma.

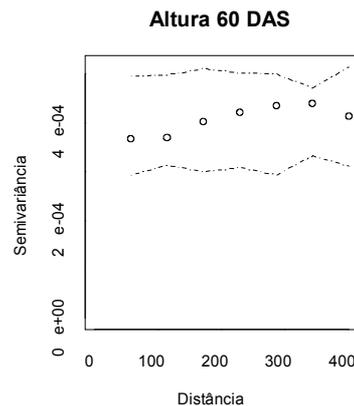


Figura 36 - Limitantes das semivariâncias experimentais isotrópicas, considerando independência entre as amostras (envelopes), para dados transformados da altura de plantas 60 DAS.

Na Figura 37 é apresentado o mapa obtido por krigagem dos valores da altura de plantas 60 DAS (A2), utilizando o ajuste de WLS1 e OLS.

Na parte superior do mapa (região mais ao norte) ocorreram os menores valores de A2. Essa região, pela classificação da área apresentada na Figura 1, corresponde ao trigo semeado com cinco dias de atraso em relação às demais áreas.

O mapa utilizando o modelo ajustado por OLS (Figura 37b) apresentou maiores regiões com valores mais elevados, em relação ao mapa gerado com os parâmetros ajustados por WLS1 (Figura 37a) que apresentou uma maior região com altura entre 20,00 cm e 22,00 cm que na Figura 37b. O formato da variação e a sua gradatividade foi parecida em ambos os mapas.

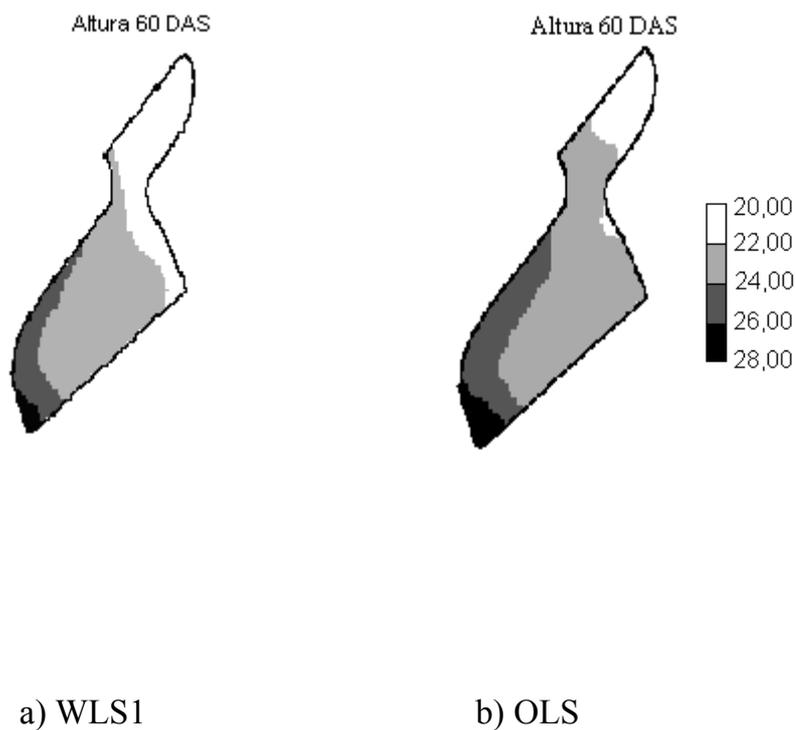


Figura 37 - Mapa das estimativas da altura de plantas 60 DAS obtidos por krigagem.

Na Figura 38 é apresentada a dispersão dos valores amostrados com os valores estimados pela krigagem, utilizando o modelo da WLS1. Não houve tendência na estimação dos valores e a quantidade de amostras super e subestimadas foram próximas.

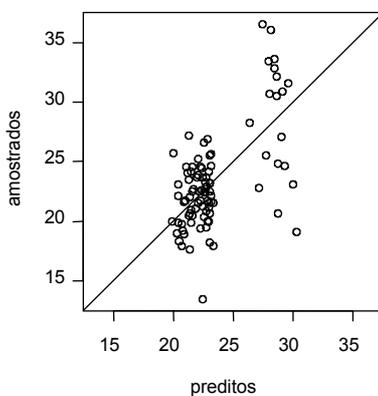


Figura 38 Dispersão dos valores amostrados pelos valores estimados pela krigagem para a altura de plantas 60 DAS, utilizando o modelo gerado pelo WLS1.

Na Figura 39 referenciam-se as estimativas com os locais de amostragem e observa-se não haver agrupamento de dados super ou subestimados. As parcelas mais super ou subestimadas não foram as de valores máximos e mínimos amostrados.

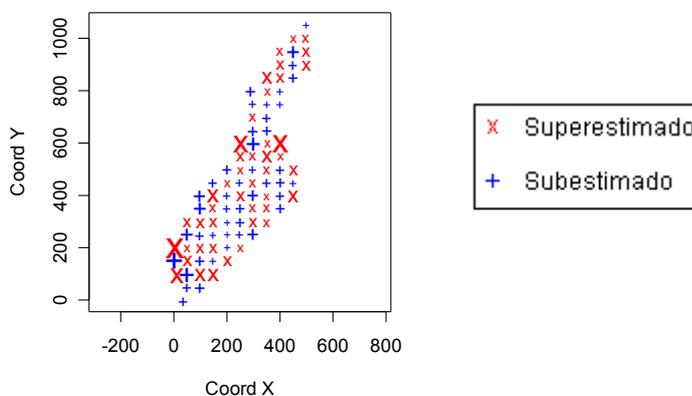


Figura 39 - Comparação dos valores amostrados e estimados utilizando o modelo obtido por OLS, para a altura de plantas 60 DAS, considerando a localização na área.

4.3.8 Altura de Plantas 90 DAS (A3), Transformação de Box e Cox ($\lambda = 4$)

Conforme apresentado na Tabela 10, os métodos de ajuste MV e WLS1 modelaram a variabilidade espacial dos dados transformados da altura de plantas

90 DAS (A3*) com modelo esférico. A contribuição das variações aleatórias representadas pelo valor de C_0 , contribuiu menos na semivariância total no ajuste por MV, em que representou 41 % da semivariância total, indicando variabilidade espacial moderada. Para o ajuste pelo WLS1 a contribuição da variação aleatória na semivariância total foi de 88 %, indicando variabilidade espacial fraca (GUIMARÃES, 2001) ou inexistente (ROYLE, citado por GUERRA, 1988).

Na Figura 40 são apresentados os modelos ajustados para os dados transformados da altura de plantas 90 DAS (A3*), a maior diferença entre os modelos ajustados aos dados transformados da altura de plantas 90 DAS (A3) referiu-se ao efeito pepita dos modelos.

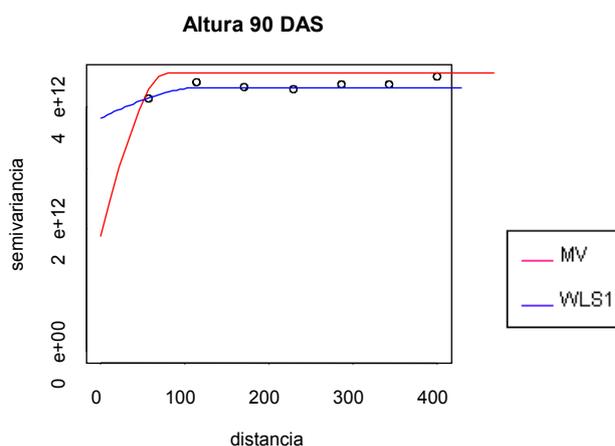


Figura 40 - Modelos da variabilidade espacial dos dados transformados da altura de plantas 90 DAS.

Na Figura 41 são apresentados os limitantes dos valores de semivariâncias geradas desconsiderando a localização dos pontos amostrais, os envelopes e as semivariâncias experimentais dos dados transformados da altura de plantas 90 DAS (A3*).

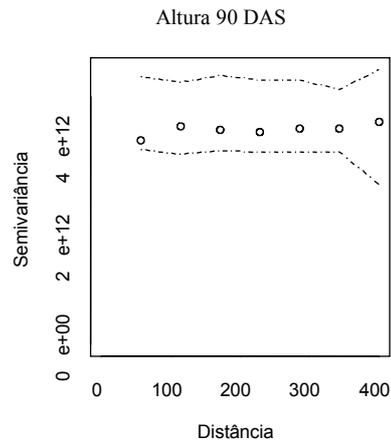


Figura 41 - Semivariâncias experimentais isotrópicas e envelopes determinados, considerando independência entre as amostras, para os dados transformados da altura de plantas 90 DAS.

Pela análise dos envelopes a altura de plantas 90 DAS (A3*) não apresentou variabilidade espacial evidente. Com essa técnica, o semivariograma é a principal ferramenta para se detectar a variabilidade espacial. A modelagem da variabilidade espacial feita utilizando-se o semivariograma, método WLS1, também não indicou variabilidade espacial, porém, a modelagem pela MV apresentou variabilidade espacial pela análise do coeficiente de efeito pepita relativo (ϵ). Dessa forma, mesmo para os envelopes não indicando variabilidade espacial, ela será considerada.

Na Figura 42 apresentam-se as estimativas da altura de plantas 90 DAS (A3), utilizando o estimador krigagem com ajuste por MV e WLS1.

O mapa da altura de plantas 90 DAS possui uma diferença primordial do mapa da altura para as duas fases anteriores. Nessa fase do desenvolvimento, ocorreram sub-regiões isoladas com valores extremos, onde algumas plantas

criaram mais ou menos que a maioria. A grande parte da área apresentou plantas com 70 a 75 cm de altura.

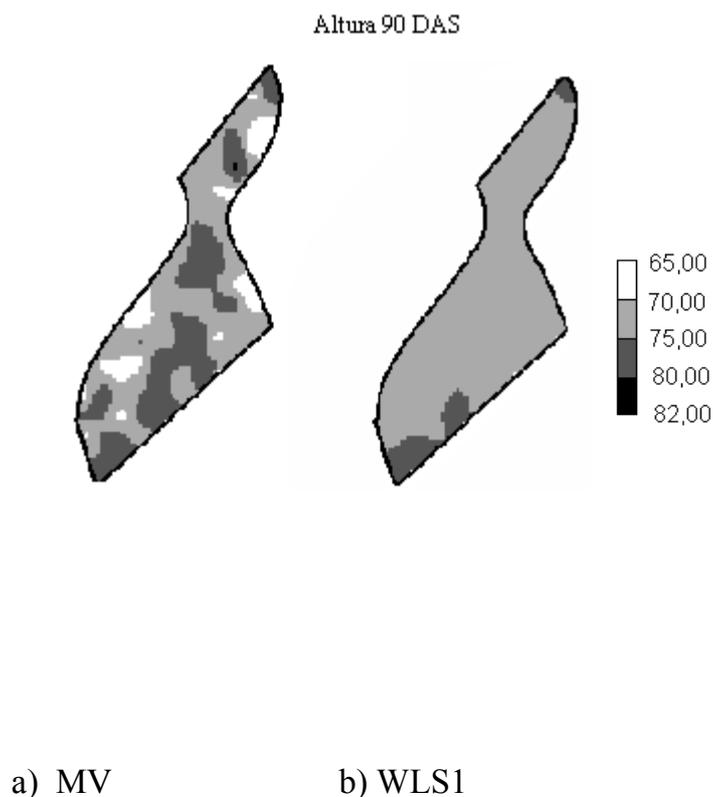


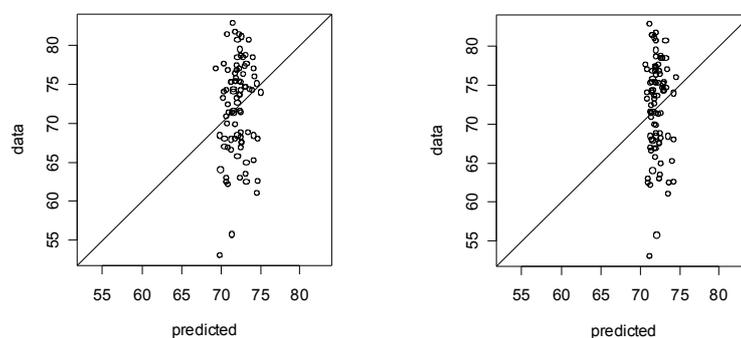
Figura 42 - Mapa de contorno da altura de plantas 90 DAS, gerado por krigagem.

Houve diferenças evidentes entre os mapas gerados utilizando os modelos ajustados (Figura 42a e 42b), o que não ocorreu nos mapas da altura de plantas 30 DAS (A1) apresentados na Figura 33, para os quais, todos os modelos ajustados apresentaram coeficiente de efeito pepita relativo que indicam variabilidade espacial.

No mapa obtido com o modelo ajustado pelo método WLS1 (Figura 42b), ocorreram poucas variações nos valores preditos. Todas as alturas estimadas ficaram entre 70 cm e 80 cm. Sendo que no intervalo de 75 a 80 cm as ocorrências foram menores.

Na Figura 43 apresenta-se a dispersão dos valores amostrados com os valores estimados pela krigagem para a altura de plantas 90 DAS (A3).

Não se observam padrões nas dispersões dos valores amostrados pelos valores estimados, nem diferenças na quantidade de pontos super ou subestimados. Para o modelo ajustado pela MV ocorreram mais pontos com valores estimados mais próximos dos valores amostrados (Figura 43a), portanto, este modelo foi considerado o melhor na modelagem da variabilidade espacial da altura de plantas 90 dias (A3*). Para o ajuste pela WLS1, o estimador valorizou mais a média amostral que os valores amostrados em suas posições.



a) MV

b) WLS1

Figura 43 - Dispersão entre os valores amostrados e estimados para a altura de plantas 90 DAS.

Na Figura 44 apresenta-se a comparação dos valores preditos por krigagem com os amostrados em suas localizações, utilizando o modelo ajustado pela MV. Percebe-se mais amostras superestimadas na parte oeste do mapa. Na região central ocorreu mais subestimação de valores, os valores foram superestimados com maior impacto do que subestimados, ocorrendo várias parcelas com valores estimados superando os valores amostrados nas proximidades da borda da área.

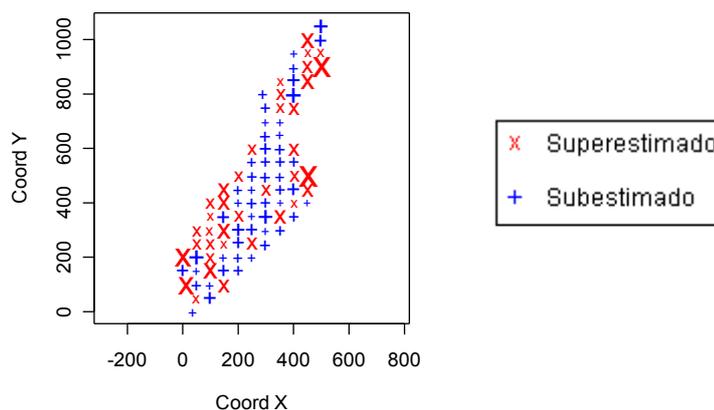


Figura 44 - Comparação nos locais de amostragem dos valores amostrados e os valores preditos, utilizando ajuste por MV.

4.3.9 Altura de Plantas na Colheita (A4), Transformação Box e Cox ($\lambda = 5,5$)

A altura de plantas na colheita teve sua variabilidade espacial modelada pelos três métodos de ajuste, conforme apresentado na Tabela 10, obtendo-se em todos os modelos um coeficiente de efeito pepita relativo (Tabela 11) que indica dependência espacial moderada (GUIMARÃES, 2001).

Na Figura 45 é apresentado o semivariograma da transformação dos dados da altura de plantas na colheita (A4*) e os modelos da variabilidade espacial ajustados pelos métodos MV, WLS1 e OLS.

As distâncias máximas de dependência espacial entre as amostras detectadas pelos métodos de ajuste foram próximas: 282 m, 319 m, 320 m, respectivamente, para os métodos: MV, WLS1 e OLS, conforme apresentado na Tabela 10. A variabilidade total do fenômeno não diferiu muito de um método para outro, como observado na Figura 45 e o mesmo ocorreu para o efeito pepita.

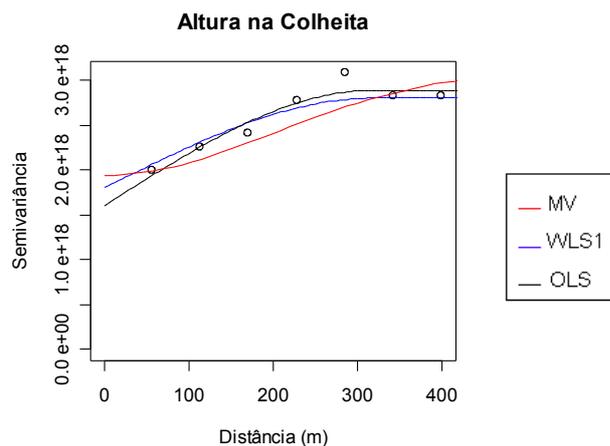


Figura 45 - Semivariograma dos dados transformados da altura de plantas na colheita e os modelos da variabilidade espacial ajustados.

Na Figura 46 é apresentado o semivariograma experimental isotrópico da altura de plantas na colheita (A4*), com os envelopes, em que se têm duas semivariâncias fora dos limitantes de variações independentes da localização dos dados, indicando que a variabilidade espacial realmente existe para a altura de plantas nesta fase.

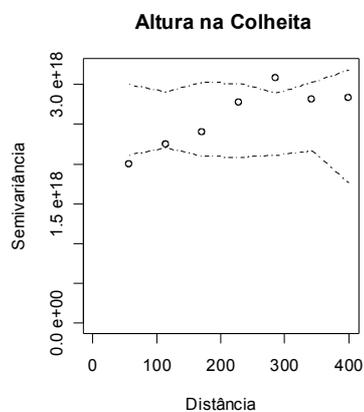


Figura 46 - Limitantes das semivariâncias experimentais isotrópicas considerando independência entre as amostras (envelopes), dos dados transformados da altura de plantas na colheita.

Na Figura 47 é apresentado o mapa de contorno da altura de plantas na colheita (A4) utilizando o interpolador krigagem, para os três métodos de ajuste.

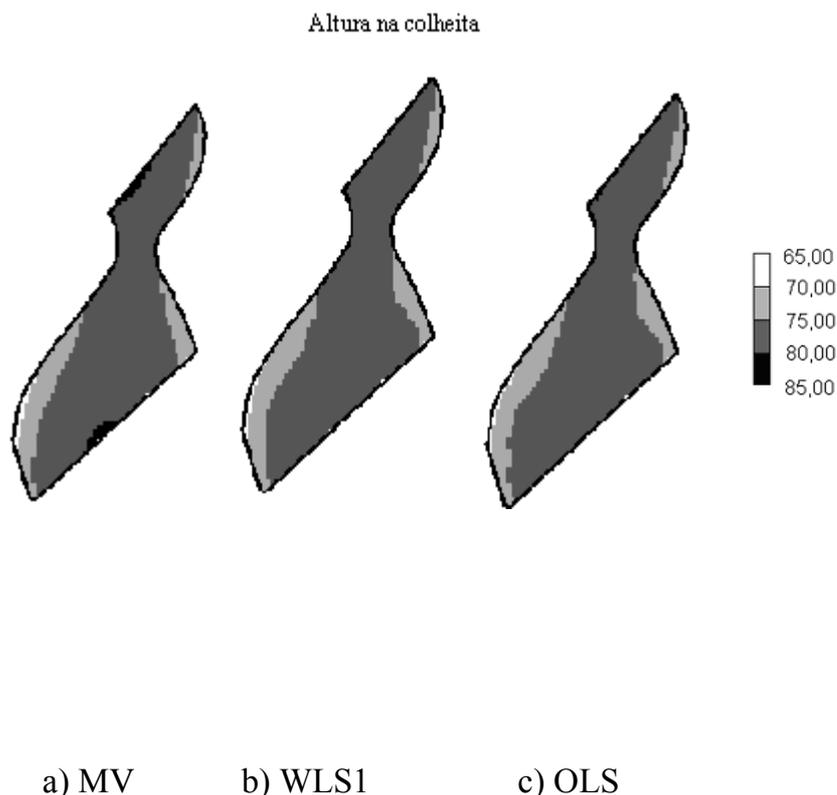


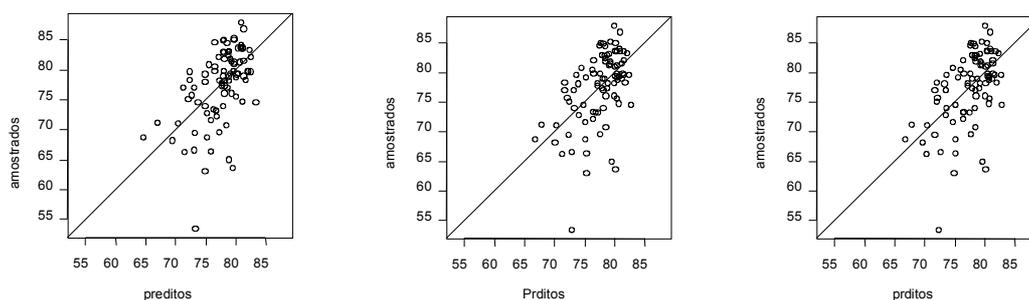
Figura 47 - Mapas das estimativas da altura de plantas na colheita.

Observa-se que a altura de plantas praticamente homogeneizou-se nesta fase, havendo poucas variações de valores e as plantas mais baixas concentraram-se em pequenas faixas nos limites da região. Uma grande faixa central, que atravessa toda a área, apresentou plantas com alturas entre 75 e 80 cm, deixando pouco espaço para as demais alturas.

De maneira geral, a diferença de métodos de ajustes não influenciou tanto na interpolação, como se observa nas Figuras 47a, 47b e 47c, onde

ocorreram pequenas diferenças nas limitações das regiões que apresentaram alturas de plantas na mesma faixa de variação.

Na Figura 48 é apresentada a dispersão dos valores amostrados com os valores estimados, não se observa padrão nas estimativas para os métodos utilizados, nem diferenças entre eles que possam indicar um modelo como o que proporciona melhores previsões.



a) MV

b) WLS1

c) OLS

Figura 48 - Comparação dos valores amostrados e estimados da altura de plantas na colheita.

Na Figura 49 é apresentada a comparação pontual das amostras super e subestimadas, utilizando o modelo ajustado por MV. Observa-se que a superestimação de amostras foi mais intensa que a subestimação. Três dados foram mais superestimados, correspondendo aos três menores valores amostrados, um deles foi valor discrepante na análise do gráfico boxplot apresentado na Figura 11. Não houve uma região com valores mais super ou subestimados que outra. As amostras super e subestimadas distribuíram-se uniformemente na área, sem agrupamentos.

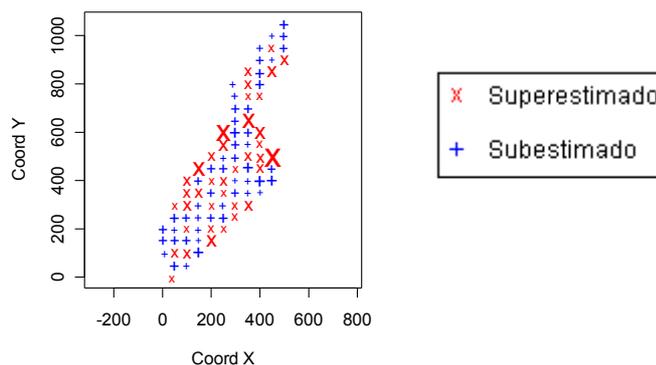


Figura 49 - Comparação localizada dos valores amostrados e os valores preditos utilizando o ajuste por MV, para a altura de plantas na colheita.

Nota: O tamanho dos símbolos é proporcional aos valores que correspondem.

4.3.10 Número de perfilhos 60 DAS (P2)

Conforme apresentado na Tabela 10, os métodos de ajuste modelaram a variabilidade espacial do número de perfilhos 60 DAS (P2), com variação exponencial para o método WLS1 e variação esférica para os demais métodos. A semivariância total do fenômeno apresentou valores próximos para as modelagens pelos métodos WLS1 e OLS, sendo 0,34 e 0,33, respectivamente. Na modelagem por MV, os três parâmetros que descrevem a dependência espacial apresentaram os menores valores.

Na Figura 50 é apresentado o semivariograma do número de perfilhos 60 DAS com os modelos de variabilidade espacial.

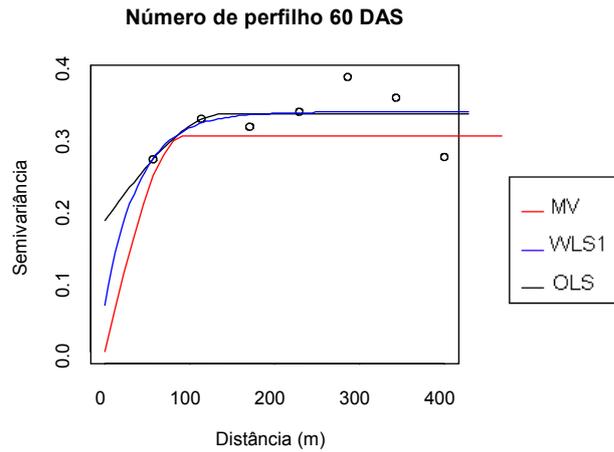


Figura 50 - Semivariograma do número de perfilhos 60 DAS com modelos ajustados.

Quanto ao grau de dependência espacial, os dados do número de perfilhos 60 DAS (P2), apresentaram dependência espacial forte, segundo o modelo ajustado por MV e WLS1 e dependência espacial moderada pelo ajuste por OLS (GUIMARÃES, 2001).

Na Figura 51 são apresentados os envelopes das semivariâncias omnidirecionais isotrópicas.

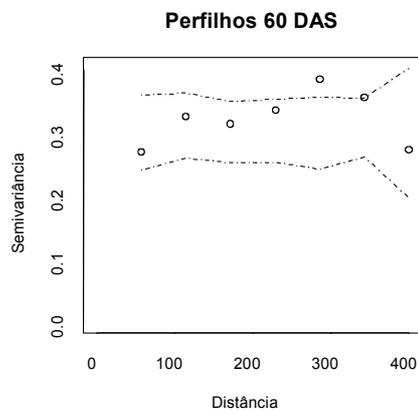


Figura 51 - Envelopes do semivariograma do número de perfilhos 60 DAS.

Os envelopes indicam que a variabilidade do fenômeno não provém de fatores aleatórios, sendo importante considerar a localização dos pontos amostrados no estudo desta variabilidade.

Na Figura 52 são apresentados os mapas com os valores preditos. Diferenças são percebidas entre os mapas obtidos pelos diferentes modelos, Os mapas obtidos com ajuste por MV (Figura 52a) e WLS1 (Figura 52b) foram mais ricos em detalhes, apresentando mais variações de valores que o mapa obtido utilizando o ajuste por OLS (Figura 52c).

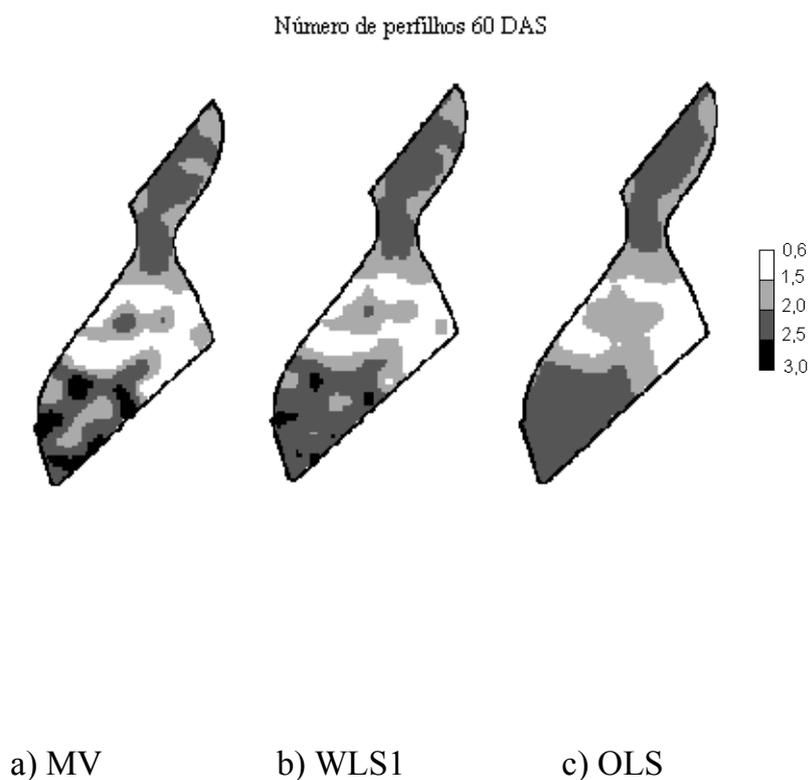
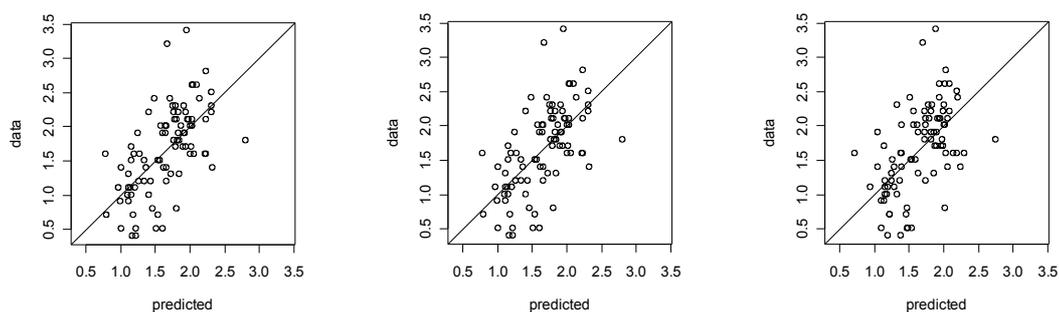


Figura 52 - Mapas das predições do número de perfilhos 60 DAS, utilizando krigagem.

Tendo como objetivo a intervenção no processo, qualquer um dos mapas pode ser utilizado, pois, para aplicação na agricultura não apresentam diferenças que possam comprometer o resultado final.

Na Figura 53 é apresentada a dispersão dos valores amostrados pelos valores preditos para os modelos ajustados. Não se evidenciaram diferenças na comparação dos valores amostrados com os valores preditos. Para P2, o estimador valorizou mais os valores amostrados e suas localizações na área do que a média geral dos dados, o que reforça a importância de se ter considerado a dependência espacial para explicar a variação dos dados.



a) MV

b) WLS1

c) OLS

Figura 53 - Dispersão entre valores amostrado estimados para o número de perfis 60 DAS

Na Figura 54 é apresentado o gráfico com a comparação dos valores estimados e amostrados em seus locais de ocorrência, obtido da predição feita utilizando o modelo ajustado por MV.

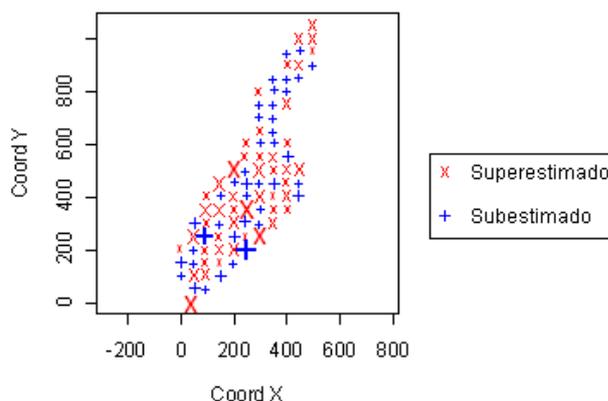


Figura 54 - Comparação dos valores amostrados e os valores preditos utilizando o modelo ajustado pela MV, considerando as localizações na área.

Nota: O tamanho dos símbolos é proporcional aos valores que correspondem.

Os dois valores mais intensamente subestimados correspondem aos maiores valores amostrados, locais com maior número médio de perfilhos por planta. Quanto aos valores superestimados, não correspondem especificamente aos menores valores amostrados, indicando que não houve tendência de diminuir mais intensamente os valores mais elevados e aumentar, com mais intensidade, os menores valores amostrados.

4.3.11 Peso de Mil Sementes (P1000), Transformação por Box e Cox ($\lambda=5$)

Os dados transformados do peso de mil sementes (P1000*) tiveram variabilidade espacial gaussiana pelo ajuste por MV e variação esférica pelos ajustes por WLS1 e OLS (Tabela 10).

Na Figura 55 é apresentado o semivariograma dos dados transformados do peso de mil Semente com os modelos de variabilidade espacial ajustados.

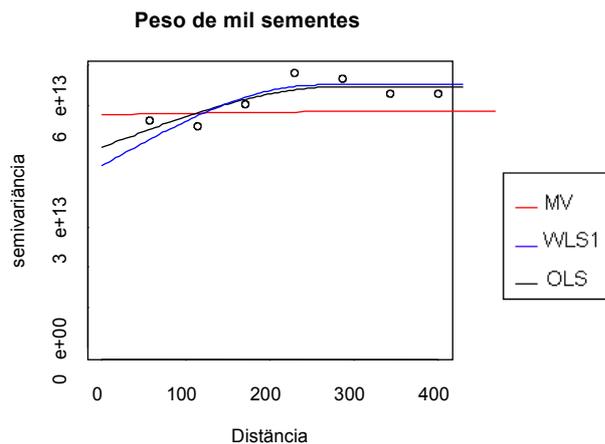


Figura 55 - Semivariograma dos dados transformados do peso de mil sementes com modelos de variabilidade espacial.

Quanto ao grau de dependência espacial, apresentados na Tabela 11, P1000* não apresentou variabilidade espacial para o ajuste por MV, os demais ajustes indicaram variabilidade espacial moderada.

A técnica dos envelopes (Figura 56), detectou dependência espacial para P1000*. Uma semivariância extrapolou os limites dos envelopes, indicando que a variabilidade do fenômeno não provém de fatores aleatórios, sendo importante considerar a localização dos pontos amostrados.

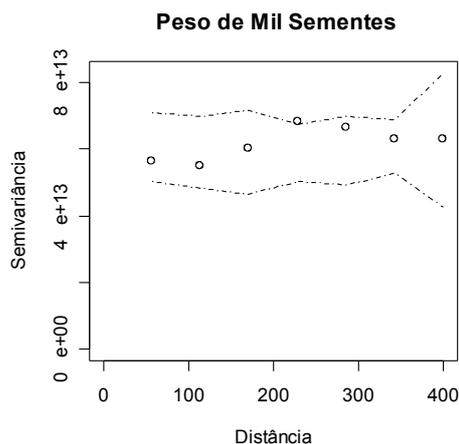
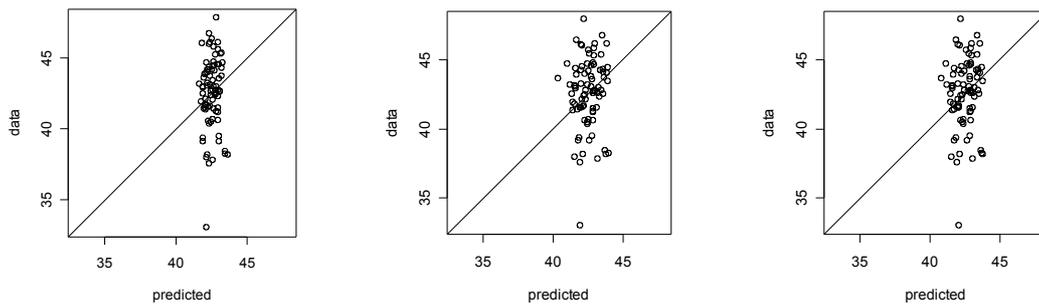


Figura 56 - Envelopes do semivariograma dos dados transformados do peso de mil sementes.

Na Figura 57 são apresentadas as dispersões dos valores amostrados pelos preditos. As estimativas utilizando o ajuste por WLS1 e OLS (Figuras 57b e 57c) foram mais dispersas que as estimativas utilizando o modelo ajustado por MV (Figura 57a), em que os valores ficaram mais concentrados.

O estimador considerou a média dos dados mais importante que os valores amostrados, nas estimativas utilizando ajuste por MV.

Na Figura 58 são apresentados os mapas com os valores preditos para o peso de mil sementes. Ocorreram diferenças nos mapas, principalmente, em relação ao gerado com modelo obtido por MV (Figura 58a), cujo modelo não indicou variabilidade espacial por apresentar coeficiente de efeito pepita superior a 0,80 (Tabela 11). Entre os mapas obtidos pelos modelos do WLS1 e OLS (Figuras 58b e 58c) as diferenças são sutis.

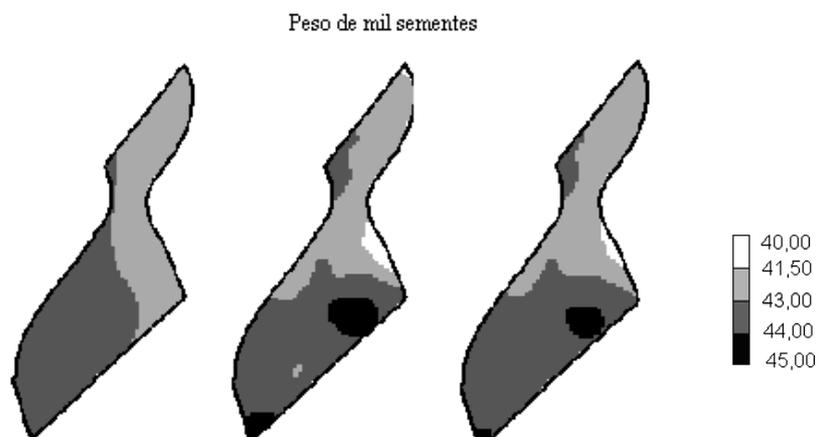


a) MV

b) WLS1

c) OLS

Figura 57 - Dispersão entre valores amostrados e preditos para o peso de mil sementes.



a) MV

b) WLS1

c) OLS

Figura 58 - Mapas das predições do peso de mil sementes.

Na Figura 59 é apresentado o gráfico da comparação dos valores estimados e amostrados em seus locais de ocorrência. Percebe-se que uma

parcela teve seu dado amostrado mais intensamente superestimado, esse valor corresponde ao menor valor amostrado, ponto discrepante na análise do gráfico .

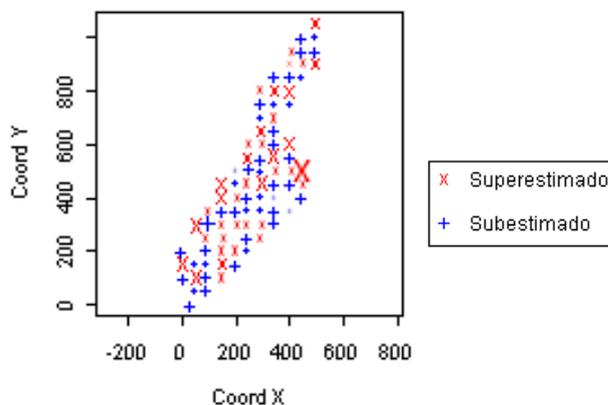


Figura 59 - Comparação dos valores amostrados e preditos para o peso de mil sementes, com ajuste por WLS1, considerando localizações na área amostral.

Nota: O tamanho dos símbolos é proporcional aos valores que correspondem.

4.3.12 Produtividade do Trigo (PROD)

A produtividade do trigo teve o menor alcance de dependência espacial modelado por MV, sendo de 93,07 m. Os métodos WLS1 e OLS apresentaram alcances de 260,13 m e 254,57 m, respectivamente, os quais detectaram variabilidade espacial gaussiana e a MV identificou variabilidade espacial esférica.

Na Figura 60 são apresentados os envelopes que indicam dependência espacial dos dados, por um ponto estar fora dos limitantes, sendo importante considerar a localização dos pontos na variabilidade do fenômeno.

Na Figura 61 é apresentada a dispersão dos valores amostrados pelos valores preditos utilizando a krigagem e a modelagem feita pelos três métodos de ajuste.

Nas previsões feitas utilizando o modelo ajustado pela MV (Figura 61a), alguns valores preditos tiveram o mesmo valor dos valores amostrados.

Na Figura 62 são apresentados os mapas com os valores preditos para a produtividade do trigo ($t\ ha^{-1}$).

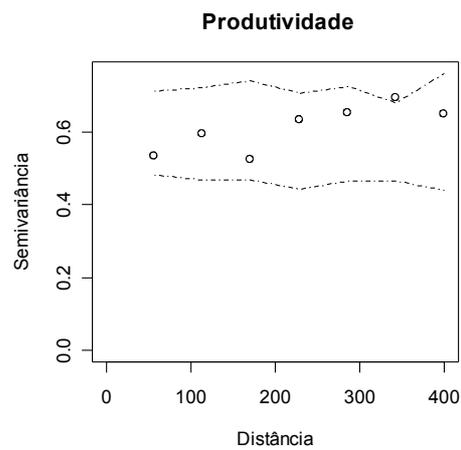
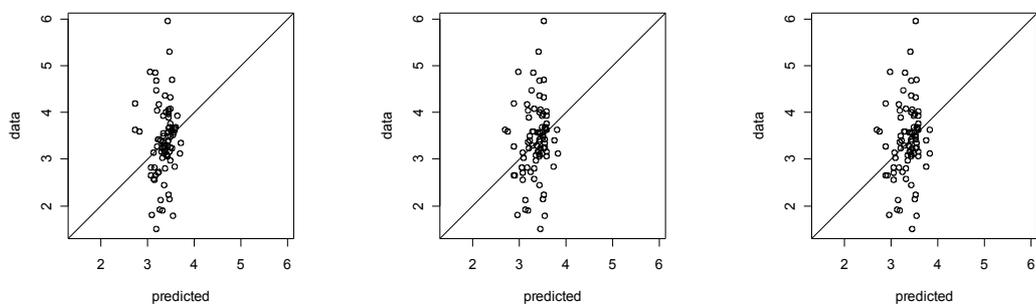


Figura 60 - Envelopes do semivariograma da produtividade.



a) MV

b) WLS1

c) OLS

Figura 61 - Dispersão entre valores amostrados e valores estimados por krigagem para a produtividade.

O mapa de valores preditos para a produtividade do trigo (PROD), utilizando o modelo obtido por MV (Figura 62a), apresentou composição de cores diferentes que os demais mapas. O modelo ajustado por MV indicou dependência espacial forte dos dados, enquanto para os demais métodos, a dependência modelada foi fraca, pelos resultados apresentados na Tabela 11, o que justifica a maior ocorrência na Figura 61a de valores estimados com o mesmo valor dos valores amostrados.

Entre os mapas obtidos pelos modelos do WLS1 e OLS, (Figuras 62b e 62c), as diferenças foram sutis, mesmo porque as diferenças nos parâmetros de ajuste ocorreram na terceira casa decimal.

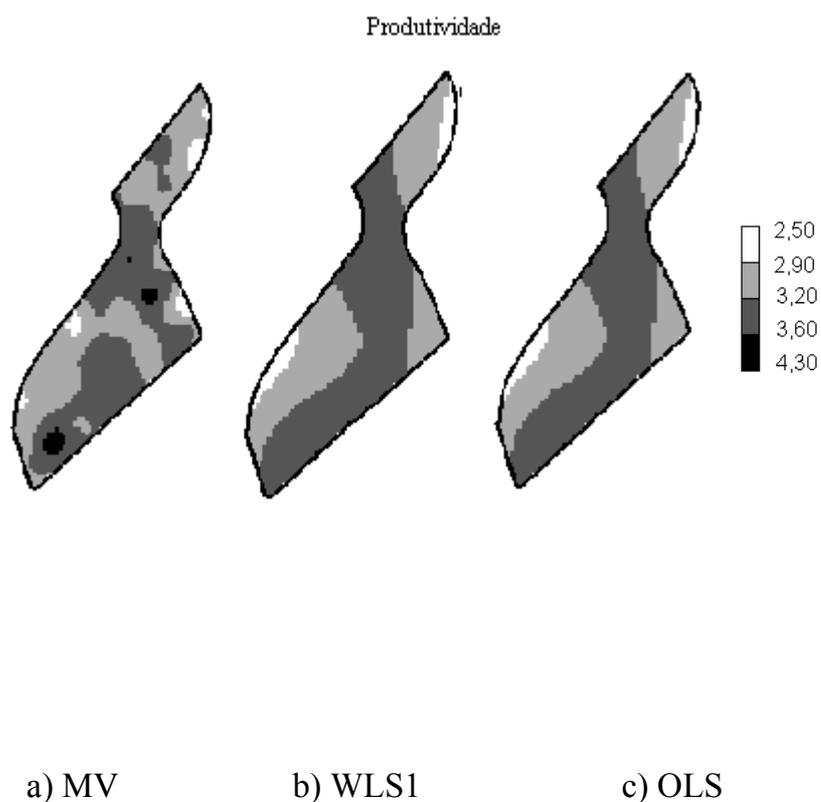


Figura 62 - Mapas da produtividade com estimação por krigagem.

Na Figura 63 é apresentado o gráfico com a comparação dos valores estimados e amostrados em seus locais de ocorrência.

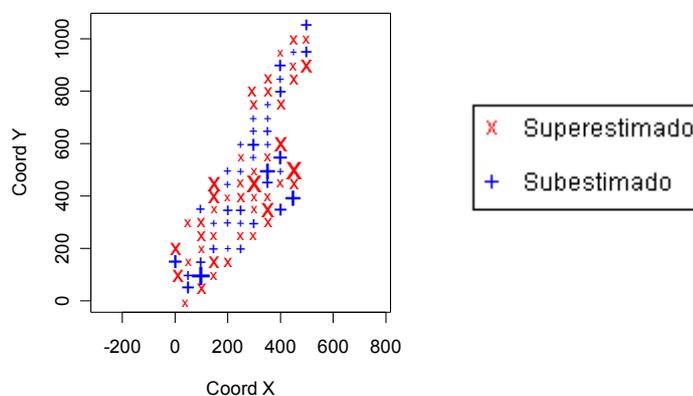


Figura 63 - Comparação entre valores amostrados e preditos utilizando o modelo do WLS1 para a produtividade ($t\ ha^{-1}$), considerando localizações na área amostral.

Nota: O tamanho dos símbolos é proporcional aos valores que correspondem.

Dois amostras foram mais intensamente superestimadas e correspondentes aos pontos de mínimos do conjunto de dados. As três amostras mais intensamente subestimadas correspondem aos três maiores valores amostrados.

4.3.13 Número de perfis 30 DAS (P1)

Os dados do número de perfis 30 DAS apresentaram efeito pepita puro no estudo da variabilidade espacial, não indicando dependência espacial entre as amostras.

Na Figura 64 é apresentado o mapa dos valores preditos utilizando o ajuste por MV que indicou independência espacial dos dados. Observa-se aumento no número médio de perfilhos por planta, conforme se desloca para a direita (leste). As regiões que apresentaram, em média, menos de um perfilho por planta, foram bem pequenas, havendo pequena faixa na parte superior e na parte inferior do gráfico.

Pelos resultados da interpolação, aos 30 dias, não se encontrou mais que dois perfilhos por planta.

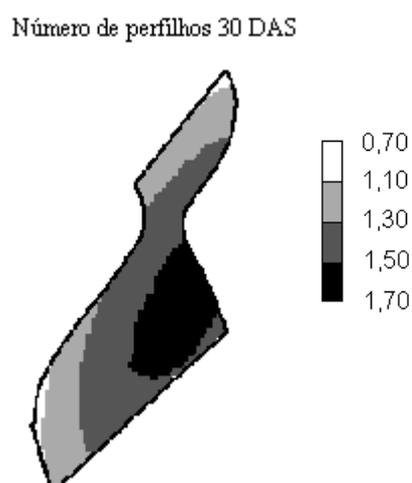


Figura 64 - Mapa dos valores preditos para o número de perfilhos 30 DAS.

Como não se detectou dependência espacial entre os dados do número de perfilhos 30 DAS (P1), comparou-se as médias obtidas nas três áreas em que a região foi dividida, conforme apresentado na Figura 1.

Foram encontradas diferenças no número médio de perfilhos por planta. As áreas 1 e 2 foram semeadas no mesmo dia e correspondem, respectivamente, às cultivares CD 101 e CD 103. Entre elas detectou-se diferença no número médio de perfilhos 30 DAS, ao nível de 5 % de significância, pelo teste de

Tukey. Dessa forma, em média, a cultivar CD 103 superou a CD 101 no número de perfilhos por planta, medidos 30 DAS.

A área 3 foi semeada com cinco dias de atraso em relação às outras com a cultivar CD 103 e a diferença de cultivar não levou a diferença significativa na média de perfilhos, quanto se teve cinco dias atraso na semeadura da cultivar CD 103. Assim a capacidade de perfilhamento da cultivar CD 101 aos 30 DAS (área 1) e da cultivar CD 103 aos 25 DAS (área 3) podem ser consideradas semelhantes, ao nível de 5 % de significância.

Na cultivar CD 103 não houve diferença significativa na capacidade de perfilhamento entre plantas de trigo aos 25 DAS (área 3) e aos 30 DAS (área 2).

No Apêndice C, estão apresentadas as médias com a comparação feita pelo teste de Tukey.

4.3.14 Número de Espigas 90 DAS (NE3)

Na Figura 65 é apresentado o mapa das estimativas do número de espigas de trigo 90 DAS utilizando-se o modelo de variabilidade ajustado por WLS1. Observa-se que a maior parte da área apresentou de 80 a 85 espigas por 0,25 m², gerando aproximadamente de 320 a 340 espigas por m².

Número de espigas 90 DAS

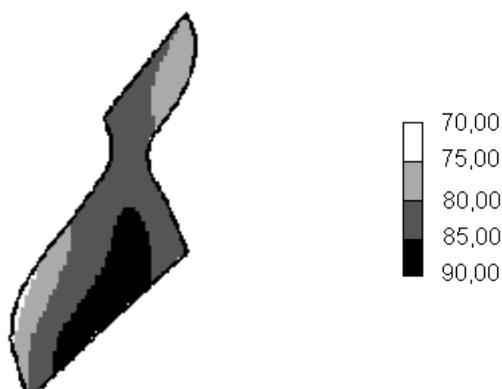


Figura 65 - Mapa dos valores estimados para o número de espigas 90 DAS.

As diferenças entre as três subdivisões da região em estudo, não afetaram o número de espigas 90 DAS. Dessa forma, a cultivar CD 101 não diferiu estatisticamente da cultivar CD 103 e, ainda, a diferença de cinco dias na idade das plantas da cultivar CD 103, também não levou a diferenças significativas no número de espigas em campo.

4.3.15 Número de Espigas na Colheita (NE4)

Na Figura 66 é apresentado o mapa das estimativas do número de espigas de trigo na colheita (NE4), utilizando modelo de variabilidade ajustado por WLS1.

Comparando o mapa da Figura 66 ao mapa da mesma variável, 30 dias antes (NE3) (Figura 65), percebe-se redução no intervalo de ocorrência de resultados.

Número de espigas na colheita

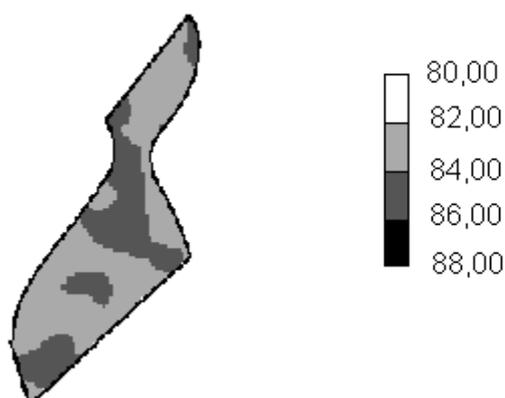


Figura 66 - Mapa dos valores estimados para o número de espigas na colheita, estimado com modelo ajustado por WLS1.

Na Figura 67 é apresentado o mapa do número de espigas na colheita (CE4), na mesma escala do mapa da Figura 65, comparando o mapa da Figura 67 com da Figura 65, os quais estão na mesma escala, percebe-se que, na colheita, os dados ficaram menos dispersos, havendo maior homogeneidade nas estimativas.

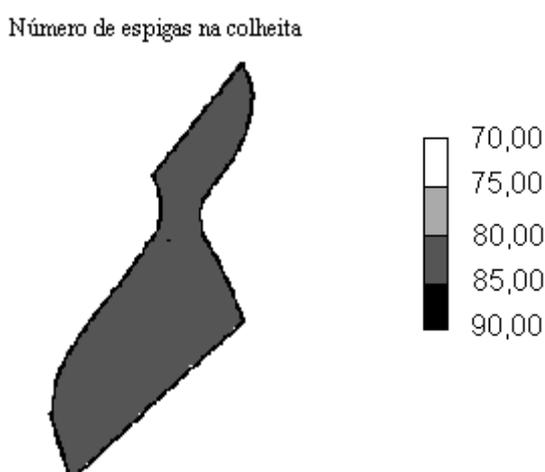


Figura 67 - Mapa dos valores estimados para o número de espigas na colheita, na mesma escala do mapa no número de espigas 90 DAS.

Na comparação de média feita pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de significância, não se observaram, na colheita, diferenças no número de espigas produzidas pelas plantas das cultivares CD 101 e CD 103. Como também para a cultivar CD 103, a diferença de cinco dias na semeadura, não resultou em diferentes quantidades de espigas.

4.3.16 Comprimento de Espigas na Colheita (CE4)

Na Figura 68 é apresentado o mapa das estimativas do comprimento de espigas na colheita (CE4), utilizando modelo de variabilidade ajustado pelo WLS1, em que se percebeu variação do tamanho da espiga entre 6,2 cm e 6,6 cm. Na parte inferior do mapa (região sul da área), ocorreram as maiores espigas, com tamanho variando entre 6,4 cm e 6,6 cm.

Nas comparações de média para o comprimento de espigas na colheita, para as três divisões feitas na região de estudo, observou-se que o comprimento de espigas para a cultivar CD 101 superou significativamente o comprimento de espigas da CD 103. Para a cultivar CD 103, a diferença de cinco dias na idade das plantas não resultou em diferença no comprimento de espigas.



Figura 68 - Mapa dos valores estimados por krigagem para o comprimento de espiga na colheita.

4.3.17 Número de Grãos por Espiga (NG)

Na Figura 69 é apresentado o mapa das estimativas do número de grãos por espiga (NG), utilizando modelo de variabilidade ajustado pelo método dos mínimos quadrados ponderados pelo número de pares. Observa-se que, na maior parte da área, as espigas apresentaram entre 26 e 28 grãos por espiga.

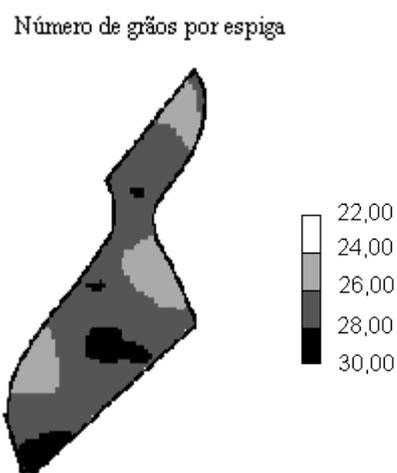


Figura 69 - Mapa dos valores estimados do número de grãos por espigas.

Não houve diferenças no número de grãos por espiga entre as cultivares CD 101 e CD 103, ao nível de 5 % de significância, pelo teste de Tukey. A superioridade no comprimento de espigas apresentada pela cultivar CD 101, não levou à superioridade no número de grãos por espigas.

4.3.18 Correlação Espacial

Na Tabela 13 são apresentados os resultados da correlação espacial das variáveis, utilizando o semivariograma cruzado. Observa-se que ocorreram várias correlações espaciais diretas e inversas. Em oito correlações estudadas não foram encontradas grandes variações da correlação dos dados com o aumento da distância, as quais foram denotadas por C, indicando variação constante ao longo da distância h.

Tabela 13 - Correlação espacial das variáveis do trigo



E: emergência de plântulas; A1: altura de plantas 30 DAS (cm); A2: altura de plantas 60 DAS (cm); A3: altura de plantas 90 DAS (cm); A4: altura de plantas na colheita (cm); P1: número de perfilhos 30 DAS; P2: número de perfilhos 60 DAS; NE3: número de espigas 90 DAS; NE4: número de espigas na colheita; CE4: comprimento de espigas na colheita (cm); NG: número de grãos por espiga na colheita; P1000: peso de mil sementes (g); PROD: produtividade ($t\ ha^{-1}$); (-): correlação espacial negativa; (+): correlação espacial positiva; *: ausência de correlação espacial; C: poucas variações ao longo das distâncias

O peso de mil sementes (P1000) foi a variável que apresentou menor correlação espacial, estando correlacionada espacialmente apenas com três variáveis: altura na colheita (A4), comprimento da espiga na colheita (CE4) e número de grãos (NG), cujas correlações foram positivas. Dessa forma,

conclui-se que os fatores que interferiram positivamente no aumento de peso das sementes contribuíram da mesma forma na altura final da planta, no comprimento da espiga e no número de grãos por espiga.

As correlações espaciais encontradas para os dados da altura de plantas 60 DAS foram negativas. Nos dados da altura, em outros estádios de desenvolvimento da planta, foram encontradas correlações espaciais tanto negativas quanto positivas. Variáveis que diferem apenas na época de amostragem, como o caso do número de espigas, não apresentaram correlação espacial.

Na Tabela 14 são apresentadas as distâncias de correlação espacial das variáveis. A maior distância de correlação foi encontrada na correlação do peso de mil sementes (P1000) com o comprimento da espiga na colheita (CE4) a qual foi de 700 m. A menor distância de correlação ocorreu entre altura de plantas 30 DAS (A1) e 90 DAS (A3). Em média, a distância de correlação foi de 440 metros.

A altura de trigo 60 DAS (A2) foi a variável que apresentou, de uma forma geral, os maiores alcances de correlação espacial, sendo quatro alcances de 600 m.

Tabela 14 - Alcance das correlações espaciais das variáveis do trigo

.

E: emergência de plântulas; A1: altura de plantas 30 DAS (cm); A2: altura de plantas 60 DAS (cm); A3: altura de plantas 90 DAS (cm); A4: altura de plantas na colheita (cm); P1: número de perfilhos 30 DAS; P2: número de perfilhos 60 DAS; NE3: número de espigas 90 DAS; NE4: número de espigas na colheita; CE4: comprimento de espigas na colheita (cm); NG: número de grãos por espiga na colheita; P1000: peso de mil sementes (g); PROD: produtividade ($t\ ha^{-1}$); - ausência de correlação espacial.

5 CONCLUSÕES

Pelas análises feitas chegou-se as seguintes conclusões:

- O maior desenvolvimento da altura de plantas diferiu entre as cultivares CD 101 e CD 103. As plantas da cultivar CD 101 tiveram considerável elevação na altura já no período entre 30 e 60 DAS, enquanto as plantas de CD 103, desenvolveram-se mais entre 60 e 90 DAS;
- Dados, relacionados ao desenvolvimento do trigo, obtidos por processo de contagem, apresentaram variabilidade espacial bem definida;
- A variabilidade espacial de variáveis, como número de perfilhos e altura de plantas, diferiu em diferentes estádios de desenvolvimento. A altura de plantas apresentou variabilidade espacial bem definida na época da colheita e nos demais estádios de desenvolvimento ela não ficou tão evidente. O número de perfilhos por planta teve independência espacial para dados coletados 30 DAS e para 60 DAS a variabilidade espacial existiu e foi bem definida;
- Quando a variabilidade espacial foi forte, diminuíram as diferenças entre os mapas obtidos considerando modelos ajustados pelos métodos MV, WLS1 e OLS;
- Existem correlações espaciais entre várias relacionadas ao desenvolvimento do trigo e foram detectadas pelo semivariograma cruzado;
- As ferramentas geoestatísticas atenderam satisfatoriamente à necessidade no estudo da variabilidade espacial das variáveis, permitindo predizer dados para locais não amostrados e correlacionar variáveis espacialmente;

REFERÊNCIAS

ABITRIGO. **História do trigo**. Disponível em: www.abitrigo.com.br. Acesso em: 15/09/2004

ASSUNÇÃO, R. M. **Estatística espacial com aplicações em epidemiologia, economia, sociologia** São Carlos: Escola de modelos de regressão, 2001. 131 p.

BACALTCHUK, B. Trigo nacional: ainda uma questão de querer. In: CUNHA, G. R.; TROMBINI, M. F. **Trigo no mercosul**. Coletânea de artigos. Brasília: Embrapa, 1999. 316p.

BANZATTO, D. A; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. Jaboticabal: Funep, 1992. 247p.

BOX, G. E. P; COX, D. R. **An analysis of transformations** (with discussion). Journal of de Royal Statistical Society. Série B, v. 26, p. 211-246. 1964.

BRASIL, Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Acompanhamento da Safra 2003/2004**. Sexto levantamento, Agosto/2004. 28p. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 15/11/04.

BRASIL, Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Informações técnicas das comissões centro-Sul brasileiras de pesquisas de trigo e de tricilale para a Safra de 2004**. Londrina, Embrapa, 2004. 218 p.

BUSSAB, W. O; MORETTIN, P. A. **Métodos quantitativos**: Estatística básica. São Paulo: Atual, 1987. 321 p.

CÂMARA, G; MONTEIRO, A. M; FUCKS, S. D; CARVALHO, M. S. Análise Espacial e Geoprocessamento. In: **Análise espacial de dados geográficos**. Capítulo 1. 2. ed. São José dos Campos. 2002a. 26 p. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/Gilberto/livros>. Acesso em: 01/07/03.

CÂMARA, G; CARVALHO, M. S. Análise espacial de eventos. In: **Análise espacial de dados geográficos**. Capítulo 2. 2 ed.. São José dos Campos. 2002. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/Gilberto/livros>. Acesso em: 01/07/03.

CÂMARA, G; CARVALHO, M. S; CRUZ, O. G; CORREA, V. Análise espacial de áreas. Capítulo 5. In: **Análise espacial de dados geográficos**. 2 ed. São José dos Campos. 2002b. 44p. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/Gilberto/livros>. Acesso em: 01/07/03.

CAMARGO, E. C. G; FUCKS, S. D; CÂMARA, G. Análise Espacial de superfícies por geoestatística linear. Capítulo 3. In: **Análise espacial de dados geográficos**. 2 ed. São José dos Campos. 2002. 37p. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/Gilberto/livros>. Acesso em 01/07/03.

CAMARGO, E. C. G. capítulo 12: Geoestatística: fundamentos e aplicações. In: **Análise Espacial de Dados Geográficos**. 2 ed.. São José dos Campos. 2002. 25 p. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/Gilberto/livros>. Acesso em: 01/07/03.

CAMPANHOLA, C. A **Pesquisa de trigo na Embrapa**. Publicado em 22/01/04. Disponível em: <http://www.embrapa.br:8080/aplic/rumos.nsf/Noticias?OpenView>. Acesso em: 18/08/04.

CARGNELUTTI FILHO, A; STORCK, L. Populações de plantas na comparação de produtividade de grãos entre cultivares de milho. In: **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília. 2004. v. 39. n. 1. p. 17-25.

CARVALHO, J. R. P; VIEIRA, S. R. Teste de Filliben para validar modelos Geoestatísticos aplicados a agroclimatologia. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA – CONBEA, 23, 2004. São Pedro. **Anais...** Unicamp, 2004.

COOPERATIVA CENTRAL DE PESQUISAS AGRÍCOLAS – COODETEC. **História do trigo no Brasil**. Publicado em: www.coodetec.gov.br. Acesso em: 15/06/04.

CRESSIE, N. A. C. **Statistics for spatial data**. New York: Editora: John Wiley & Sons, 1993. 898 p.

CUNHA, G. R. Plantando, dá! In: CUNHA, G. R; TROMBINI, M. F. **Trigo no Mercosul**. Coletânea de artigos. Brasília: Embrapa, 1999. 316p.

CUNHA, M. A. D; LEITE, G. G; DIOGO, J. M. S; VIVALDI, L. Características morfológicas do *Paspalum atratum* cv. pojuca submetido ao pastejo rotacionado. dinâmica de perfilhamento e alongação de folhas. In: **Revista brasileira de zootecnia**. Voçosa, v. 30, n. 3. p. 935-940, 2001.

DIGGLE, P; LIANG, K; ZEGER, S. L. **Analysis of longitudinal data**. New York: Oxford University Press, 1996. 246 p.

DIGGLE, P; LOPHAVEN, S. Bayesian geostatistical design. In: **EconPapers**, 2004. paper 42. 16 p. Disponível em: <http://econpapers.hhs.se/paper/bepjhubio/>. Acesso em: 20/11/04.

DIGGLE, P; RIBEIRO JUNIOR, P. J. Model based geostatística. SIMPÓSIO NACIONAL DE PESQUISA ESPACIAL - SINAPE, 14, 2000. Caxambu,. **Anais...** Instituição: ABE. 2000. 129p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

FAEP. **Trigo**. Disponível em: www.faep.com.br/meiorural/prinfo/trigo.asp. Acesso em: 15/09/2004.

FERREIRA, D. F. **Software Sisvar**. Versão 4.3. Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. 1999.

GUERRA, P. A. G. **Geoestatística operacional**. Brasília: Editora: Ministério de Minas e Energia, 1988. 155p.

GUIMARÃES, E. C. **Geoestatística básica**. Cascavel: Apostila distribuída no ENCONTRO REGIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 1, 2001. Cascavel... Unioeste, 2001. 48 p.

IAPAR. **Informações técnicas para a agricultura de trigo e triticales no Paraná 2003**. Londrina: IAPAR, 2003. 202 p. Circular técnica 126.

IHAKA, R.; GENTLEMAN, R. A language for data analysis and graphics. **Journal of Computational and Graphical Statistics**. v. 5 n. 3. p. 229-314. Salt Lake City – EUA, 1996. Software disponível em: <http://www.R-project.org>.

ISAAKS, E. H; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistic**. New York: Oxford University Press, 1989. 561 p.

JACOBSEM, L. A. Panorama do setor de grãos no mercosul. In: CUNHA, G. R. TROMBINI, M. F. **Trigo no Mercosul**. Coletânea de artigos. Brasília: Embrapa, 1999. 316p.

JOURNEL, A. G. Geostatistical simulation: methods for exploration and mine planning. **Engineering and Mining Journal**. EUA, 1979.

LOURENÇO FILHO, R. C. B. **Controle estatístico de qualidade**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos. 1977. 223 p.

MATA, J. D. V; GONÇALVES, A. C. A; VIEIRA, S. R; FOLEGATTI. M. V. Relação entre produtividade e resistência à penetração em área irrigada por pivô central, sob dois sistemas de preparo. In: **Acta Scientiarum**. Maringá. 1999. v. 21. n. 3. p. 519-525.

MOLLER, J; WAAGEPETERSEN, R. P. An introduction to simulation-based inference for spatial point processes. Capítulo 4. **Spatial statistics and computational methods**. New York: Springer, 2002, 199 p.

MORETTIN, L. G. **Estatística básica**: Probabilidades. 7 ed. São Paulo: Makron Books, 1999. 210 p. v.1

PANNATIER, Y. VARIOWIN: **Software for spatial data analysis in 2D**. New York: Springer, 1996. 91 p.

PENG, R. D. Multi-dimensional point process models in R. In: **Journal of statistical software**. Salt Lake City - EUA. 2003. p. 1-27

PERES, J. P. **Geoestatística aplicada ao mapeamento do índice de resistência à penetração padronizado do solo (SPT)**. Rio Claro. 1998. Dissertação

(Mestrado em geociência). Instituto de Geociência e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de Estatística experimental**. Piracicaba. Ed. Nobel. 1987. 401p.

RIBEIRO JUNIOR, P. J. **Métodos geoestatísticos no estudo da variabilidade espacial de parâmetros do solo**. Piracicaba. 1995. 99 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, da Universidade de São Paulo.

RIBEIRO JUNIOR, P. J; DIGGLE, P. J. **geoR**: A package for geostatistical analysis. *R_NEWS*. v. 1. n. 2. p. 15-18, 2001. Disponível em: <http://cran.R-project.org/doc/Rnews>.

RIBEIRO JUNIOR, P. J. **Geoestatística aplicada**. Curitiba: disciplina ofertada pelo departamento de Estatística da Universidade Federal do Paraná, ao curso de Pós-graduação em Geologia (transparências de aula). 2002. 113p.

RIBEIRO JUNIOR, P. J; CHRISTENSEN, O. F; DIGGLE, P. J. **Geostatistical software - geoR and geoRglm**. Disponível em: www.est.ufpr.br/ce714. Acesso em: 12/10/2003.

ROBERTSON, G. P. **GS+**: **Geostatistics for the environment sciences - GS+** User's Guide Version 5. Plainwell, Gamma design software, 2000. 200 p.

ROWLINGSON, B.; DIGGLE, P. **Splancs**: spatial point pattern analysis code in S-Plus. *Computers and Geosciences*. 1993. n. 19, p. 627-655. <http://www.maths.lancs.ac.uk/~rowlings/Splancs/>.

ROYLE, A. G. Why **Geostatistics** ? Geostatistics Part 1. **Engineering and Mining Journal**. EUA, 1979.

SCHOLTES, P. D. **Times de qualidade**: como usar equipes para melhorar a qualidade. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998. 292p.

SILVA, M. S. Manejo da cultura de trigo – espaçamento e densidade de semeadura. In: CUNHA, G. R; BACALTCHUK, B. **Tecnologia para produzir trigo no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre. 2000, p. 156-167.

SILVA, E. A. A; URIBE-OPAZO, M. A; SOUZA, E. G; ROCHA, J. V. Um estimador robusto e o semivariograma cruzado na análise de variabilidade espacial de atributos de solo e planta. In: **Acta Scientiarum**, Maringá 2003, v. 25, n. 02, p. 365-371.

SPIEGEL, M. R. **Estatística**. 3 ed.. São Paulo. Ed. Makron Books. 1993. 643p.

TURNER, N. C, BEGG, J. E. Response of pasture plants to water deficits. In: WILSON, J.R. (Ed.) **Plant relations in**. Pastures. Melbourne, CSIRO. 1978. p. 50-66.

VIEIRA, S. R. Geoestatística aplicada à agricultura de precisão. Apostila do Curso P. Gis Brasil'98, Curitiba: Sagres. 1998, 13p.

VIEIRA, S. R; CARVALHO, J. R. P; MORAES, J. F. L. Uso do jack knifing para validação geoestatística. CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2. 2004, Piracicaba. **Anais...** Campinas: ESALq. 2004. p. 1-12.

VENDRUSCULO, L. G; CARVALHO, J. R. P. Uso de indicadores para escolha do melhor modelo de semivariograma. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA - CONBEA, 23. 2004, São Pedro-SP. p.1-4.

VENDRUSCULO, L. G. Uso de índices de desempenho e do critério de informação de Akaike para ajuste de modelos de semivariograma. Campinas: Embrapa 2003. 4p. (Comunicado Técnico n. 58).

APÊNDICES

APÊNDICE A - Seqüência de comandos utilizados no R

```

d <- read.table("C:/dados/A4.txt", head=T, row.names=1)
d$Area <- as.factor(d$Area)
require(geoR)
d <- as.geodata(d, covar.col=4)
bor <- read.table("C:/dados/Bordas.txt", head=T)
points(d, pt.div= "quart", bord=bor)
plot(d, low=T)
boxplot(d$data)
boxplot(d$data ~ d$covar$Area)
require(MASS)
boxcox(d)
l=5.5
t=~Area+d$coords[,1]+d$coords[,2]+I(d$coords[,1]^2)+I(d$coords[,2]^2)+I(d$co
ords[,1]*d$coords[,2])
summary(d)
v <- variog(d, uvec=seq(0,400,l=8), trend=t, max.dist=400, lam=l)
plot(v, xlab= "Distâncias", ylab= "Semivariância", main= "Altura colheita")
nv <- variog(d, trend=t, max.dist=400, option="cloud")
plot(d.nv, xlab= "Distâncias", ylab= "Semivariância", main= "Altura colheita")
ni=matrix(c(1.5e+18, 1.3e+18, 1.2e+18, 100, 150, 300), ncol=2)
n=c(1.5e+18, 1.4e+18, 1.7e+18)
a.mv=likfit(d, trend=t, ini=ni, nug=n, cov.model="sph", fix.psiA=F, fix.psiR=F,
lam=l)
a.mv
set.seed(15)
env4=variog.model.env(d, obj=v, model=a.mv)
lines(env4, lty=2)

```

```

v4=variog4(d, trend=t, uvec=seq(0,400, l=8))
plot(v4, omn=T, xlab="Altura colheita")
lines(env4, lty=2, type="o", col=6)
a=1.073
r=5.37
vi <- variog(d, uvec=seq(0,400,l=8), trend=t, psiA=a, psiR=r, lam=l)
plot(vi, xlab="Distância", ylab="Semivariância", main="Altura colheita")
env=variog.mc.env(d,obj=vi)
plot(v, env=env, xlab="Distância",ylab="Semivariância",main="Altura
colheita")
mv.e=likfit(d, trend=t, ini=ni, nug=n, cov.model="exp", psiA=a, psiR=r, lam=l)
mv.g=likfit(d, trend=t, ini=ni, nug=n, cov.model="gaus", psiA=a, psiR=r, lam=l)
mv.s=likfit(d, trend=t, ini=ni,, nug=n, cov.model="sph", psiA=a, psiR=r, lam=l)
wls.e=variofit(vi, ini=ni, nug=n, cov.model="exp")
wls.g=variofit(vi, ini=ni, nug=n, cov.model="gauss")
wls.s=variofit(vi, ini=ni, nug=n, cov.model="sph")
ols.e=variofit(vi, ini=ni, nug=n, cov.model="exp", weights="equal")
ols.g=variofit(vi, ini=ni, nug=n, cov.model="gauss", weights="equal")
ols.s=variofit(vi, ini=ni, nug=n, cov.model="sph", weights="equal")
plot(vi, main="Altura Colheita")
lines(mv.g, col=1)
lines(wls.s, col=4)
lines(ols.s, col=2)
apply(bor,2,range)
points(d, pt.div="quint", cex.max=1, cex.min=1, bord=bor,
trend=~d$coords[,2]+ I(d$coords[,2]^2))
gr = expand.grid(x=seq(-19, 516, by=10), y=seq(-19, 1086, by=10))
points(gr, pch="+")
require(splancs)
gi = polygrid(gr, bord=bor)
points(gi, pch="+", col=2)

```

```

limi<-range(c(53.4,62.05,70.7,79.35,88))
kc=krige.control(obj.mo=mv.s,          trend.l=~d$coords[,2]+I(d$coords[,2]^2),
trend.d=~d$coords[,2]+I(d$coords[,2]^2))
k = krige.conv(d, loc=gr, krige=kc, lam=1)
image(k, loc=gr, border=bor, col=gray(seq(1,0,l=4)), x.leg=c(250,700),
y.leg=c(0,50), main="Altura colheita", xlab="mv", ylab="")
kv=xvalid(d, model=mv.g)
kc=krige.control(obj.mo=wls.s,          trend.l=~d$coords[,2]+I(d$coords[,2]^2),
trend.d=~d$coords[,2]+I(d$coords[,2]^2))
k = krige.conv(d, loc=gr, krige=kc, lam=1)
image(k, loc=gr, border=bor, col=gray(seq(1,0,l=4)), x.leg=c(250,700),
y.leg=c(0,50), main="Altura colheita", xlab="wls", ylab="")
kv=xvalid(d, model=wls.s)
kc=krige.control(obj.mo=ols.s,          trend.l=~d$coords[,2]+I(d$coords[,2]^2),
trend.d=~d$coords[,2]+I(d$coords[,2]^2))
k = krige.conv(d, loc=gr, krige=kclam=1)
image(k, loc=gr, border=bor, col=gray(seq(1,0,l=4)), x.leg=c(250,700),
y.leg=c(0,50), main="Altura colheita", xlab="ols", ylab="")
kv=xvalid(d, model=ols.s)

```

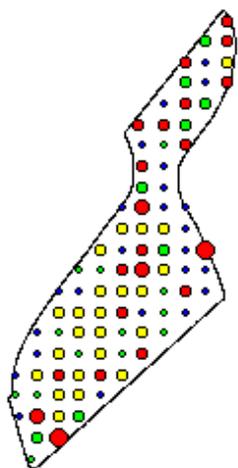
NOMES

v=variograma; nv=nuvem variografica, ols=ajuste pelo mínimos quadrados ordinários; wls=ajuste pelo mínimos quadrados ponderados pelo número de pares, mv=ajuste pela máxima verossimilhança; mv.e=máxima verossimilhança modelo exponencial/ mv.g=máxima verossimilhança modelo gaussiano; mv.s=máxima verossimilhança modelo esférico; A4: altura do trigo na colheita; d=dados, bor=bordas, env=envelopes do semivariograma, env4=envelopes da anisotropia, v4=variogramas das 4 direções; vi=variograma isotrópico; a.mv=parâmetros da anisotropia ajustados dos máxima verossimilhança; gi=gride de interpolação, gr=gride total, kc=krigagem control; k=krigagem; kv=validadacao do modelo; l=valor do lambda para transformação de Box e Cox;

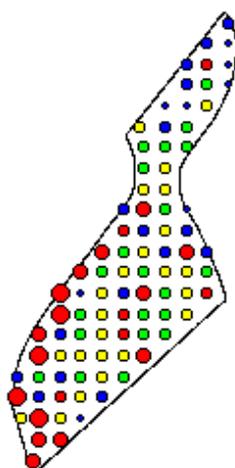
t=tendência dos dados; a= ângulo de anistropia; r=fator de anisotropia; ni=valores iniciais para a contribuição e o alcance da variabilidade; n=valores iniciais para o efeito pepita; limi=limitantes dos valores interpolados.

APÊNDICE B - Gráfico postplot

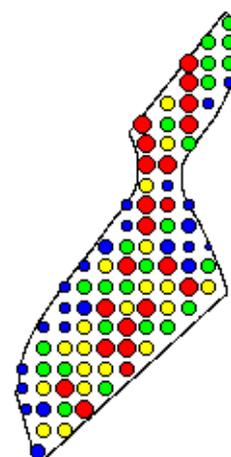
Emergência de plântulas



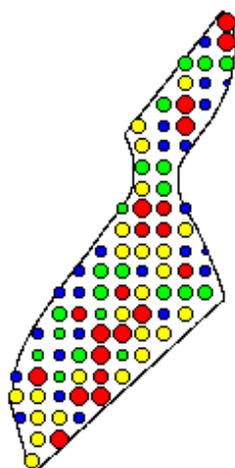
Altura 60 DAS



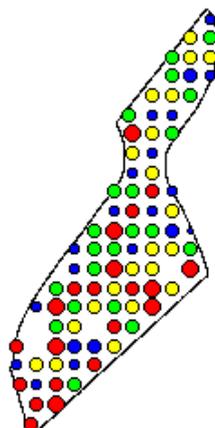
Altura na colheita



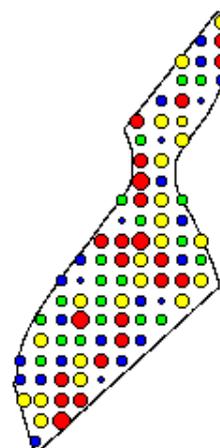
Altura 90 DAS

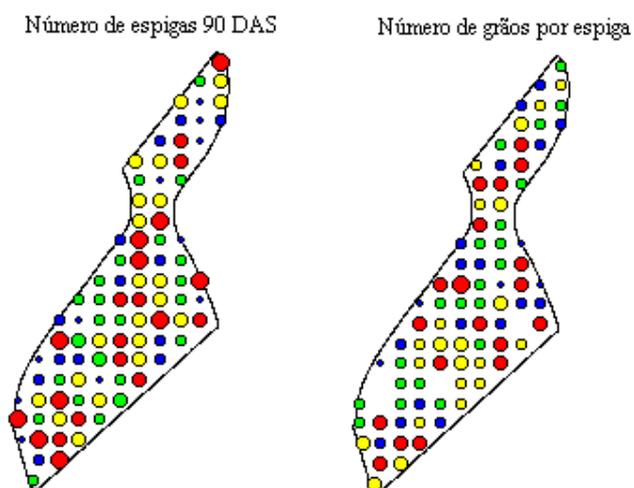


Peso de mil sementes



Número de espigas na colheita





APÊNDICE C - Comparação de média pelo teste de Tukey para as variáveis que apresentaram independência espacial

Variáveis	Sub-áreas da região cultivada		
	área 1	área 2	área 3
P1	1,08 a	1,41 b	1,21 ab
NE3	78,63 a	85,45 a	80,21 a
NE4	82,63 a	82,64 a	85,14 a
CE4	6,76 b	6,48 a	6,31 a
NG	26,74 a	27,51 a	26,04 a

Medidas seguidas da mesma letra na linha, não diferem entre si ao nível de 5 % de significância pelo teste de Tukey; P1: número médio de perfilhos 30 DAS; NE3: número de espigas por unidade de área aos 90 DAS; NE4: número de espigas por unidade de área na colheita; CE4: comprimento médio das espigas na colheita; NG: número de grãos por espiga na colheita.

ANEXOS

ANEXO A – Características agronômicas da cultivar CD 101

Fonte: IAPAR, Informações técnicas para a cultura do trigo no Paraná, Londrina 2003, 202p. (Circular n 126) março de 2003.

ANEXO B – Características agronômicas da cultivar CD 103

Fonte: IAPAR, Informações técnicas para a cultura do trigo no Paraná, Londrina 2003, 202p. (Circular n 126) março de 2003.

ANEXO C – Dados climáticos do período de cultivo do trigo no ano de 2003

Estatísticas/ Característica do tempo	Período	Média	Mínimo	Quartil 1	Mediana	Quartil 3	Máximo
Umidade Relativa (%)	17/05-20/06	76,37	22,00	63,75	76,90	94,35	100,00
	21/06-20/07	75,61	38,80	61,72	76,00	95,07	100,00
	21/07-20/08	64,71	24,70	49,47	63,45	78,67	99,90
	21/08-24/09	60,58	22,20	41,75	55,75	77,20	100,00
Temperatura Mínima (°C)	17/05-20/06	17,96	7,80	15,72	18,00	20,57	26,90
	21/06-20/07	16,26	2,10	14,40	16,15	18,87	25,90
	21/07-20/08	16,32	1,70	13,32	16,70	19,80	28,00
	21/08-24/09	17,17	2,50	12,20	17,20	21,80	33,30
Temperatura Média (°C)	17/05-20/06	18,68	8,20	16,30	18,55	21,40	27,70
	21/06-20/07	16,97	2,80	14,90	16,70	19,77	26,50
	21/07-20/08	17,05	2,40	13,90	17,30	20,50	29,40
	21/08-24/09	17,96	3,10	13,00	17,80	22,87	34,40
Temperatura Máxima (°C)	17/05-20/06	19,30	8,90	16,70	19,00	22,30	28,80
	21/06-20/07	17,58	3,20	15,30	17,30	20,50	26,90
	21/07-20/08	17,75	3,20	14,30	17,80	21,17	29,90
	21/08-24/09	18,71	3,80	13,70	18,60	23,70	35,10
Velocidade do Vento (m/s)	17/05-20/06	3,52	0,00	2,30	3,40	4,50	10,20
	21/06-20/07	3,63	0,00	2,30	3,40	4,80	11,70
	21/07-20/08	3,94	0,00	2,70	3,80	4,90	10,30
	21/08-24/09	4,03	0,00	2,70	3,80	5,00	13,00

Fonte: Simepar