

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS EXPERIMENTAL DE ITAPEVA

CRISTINA LAURA TUMBA QUINTAS

**ANÁLISE GEOESTATÍSTICA DA VARIABILIDADE
ESPACIAL DO ACABAMENTO COM TINGIDOR EM
PAINÉIS DE MADEIRA COLADA LATERALMENTE**

Itapeva - SP
2010

CRISTINA LAURA TUMBA QUINTAS

**ANÁLISE GEOESTATÍSTICA DA VARIABILIDADE
ESPACIAL DO ACABAMENTO COM TINGIDOR EM
PAINÉIS DE MADEIRA COLADA LATERALMENTE**

Trabalho de Graduação apresentado no Campus Experimental de Itapeva - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", como requisito para a conclusão do curso de Engenharia Industrial Madeireira

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Oliveira de Matos

Itapeva - SP
2010

Quintas, Cristina Laura Tumba

Q78a Análise Geoestatística da Variabilidade Espacial do Acabamento com
Tingidor em Painéis de Madeira Colada Lateralmente / Cristina Laura Tumba
Quintas -- Itapeva, 2010
43 f.: il. 30 cm

Trabalho de Graduação do Curso Engenharia Industrial Madeireira
apresentado ao Campus Experimental de Itapeva – UNESP, 2010
Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Oliveira de Matos
Banca examinadora: Prof^ª. Dr^ª. Cristiane Inácio de Campos; Prof^ª. Dr^ª.
Gláucia Aparecida Prates
Inclui bibliografia

1. Acabamentos em madeira 2. Painéis de madeira. 3. Geoestatística. I.
Título. II. Itapeva - Curso de Engenharia Industrial Madeireira

CDD 684.1043

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS EXPERIMENTAL DE ITAPEVA

**ANÁLISE GEOESTATÍSTICA DA VARIABILIDADE
ESPACIAL DO ACABAMENTO COM TINGIDOR EM
PAINÉIS DE MADEIRA COLADA LATERALMENTE**

CRISTINA LAURA TUMBA QUINTAS

Este trabalho de graduação foi julgado adequado como parte dos requisitos para a obtenção do diploma de **graduadA em engenharia industrial madeireira**

Aprovado em sua forma Final pelo conselho de curso de graduação em engenharia industrial madeireira

Prof. Dr. José Cláudio Caraschi
Coordenador de Curso

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Carlos Alberto Oliveira de Matos
Orientador – Campus Experimental de Itapeva/UNESP

Prof^ª. Dr^ª. Cristiane Inácio de Campos
Campus Experimental de Itapeva/UNESP

Prof^ª. Dr^ª. Gláucia Aparecida Prates
Campus Experimental de Itapeva/UNESP

DEDICO
A Jeová Deus
À minha mãe, Rosa Cutxi, pelo amor e educação

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Carlos Alberto Oliveira de Matos pela orientação e paciência durante a realização deste trabalho e pela amizade.

Aos professores e funcionários da UNESP-Itapeva, particularmente à Cristiane Inácio de Campos, Gláucia Aparecida Prates, Juliana Cortez Barbosa, Juliano Brito e Alex.

Ao Nelson Quenjo Caunde.

A toda minha família, Rosa Cutxi, Manuel Tumba, Nzaquimuena Tumba e Cristina Manuel Laura, por terem me ajudado em horas tão difíceis.

Aos amigos, Catarina Moraes e Francisco Pires, pela amizade e convívio.

“Todos caem, mas apenas os fracos continuam no chão...”

Bob Marley

RESUMO

Na indústria madeireira sempre se usou técnicas de Estatística Clássica onde necessariamente se assume que todas as unidades amostrais são aleatórias e independentes. A Geoestatística leva em consideração que certos fenômenos se caracterizam pela dependência espacial: valores de unidades amostrais mais próximas entre si tendem a ser mais semelhantes do que valores de unidades amostrais mais distantes. Este trabalho teve por objetivo caracterizar a variabilidade espacial do acabamento (tingidor) nas superfícies superior e inferior de quatro painéis de madeira colada lateralmente usando métodos geoestatísticos. Com ajuda do pacote geoR foram construídos variogramas para a análise da dependência espacial, sendo o modelo matemático esférico o que melhor se ajustou aos variogramas gerados, e foi efetuada a *krigagem* para interpolação dos dados nas amostras onde a distribuição do tingidor apresentou dependência espacial. Os métodos geoestatísticos caracterizaram muita variabilidade espacial nos painéis com unidades amostrais dependentes e independentes em consequência da aplicação heterogênea do acabamento.

Palavras-chave: Painéis, Acabamento, Tingidor, Variabilidade, Geoestatística.

ABSTRACT

Classical statistical techniques which necessarily assume that all sampling units are random and independent were always used in the timber industry. Geostatistics considers that certain phenomena are characterized by spatial dependence: values of sampling units closer to each other tend to be more similar than values of sampling units farther away. This study aimed to characterize the spatial variability of the finishing (dye) in the upper and lower surfaces of four edge glued panels by using geostatistical methods using geoR. Semivariograms were constructed for the analysis of spatial dependence. The spherical mathematical model was the best fit to the semivariograms generated, and was done the interpolation of the data (kriging) in samples where the distribution of dye presents spatial dependence. In the bottom surfaces of two panels where the spatial dependence was detected geostatistical methods characterized a very large spatial variability due to the heterogeneous application of the finishing.

Keywords: Variability, Panels , Finishing, Dye, Geostatistics.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 – :Variograma experimental e modelo matemático ajustado.....	21
FIGURA 02 – :Painéis utilizados.....	23
FIGURA 03 – :Serra esquadrejadeira com eixo inclinado de 40° a 90°.....	23
FIGURA 04 – :Seções amostrais retiradas para análise.....	24
FIGURA 05 – :Imagem obtida pelo estereoscópio de uma unidade amostral.....	24
FIGURA 06 – : Variogramas - Painel A _{sup} e A _{inf}	27
FIGURA 07 – : Variogramas - Painel B _{sup} e B _{inf}	28
FIGURA 08 – :Variogramas - Painel C _{sup} e C _{inf}	28
FIGURA 09 - :Variogramas - Painel D _{sup} e D _{inf}	28
FIGURA 10 – : Validação cruzada - Painel A _{inf}	29
FIGURA 11 – : <i>Krigagem</i> - Painel A _{inf}	30
FIGURA 12 – : Validação cruzada - Painel D _{inf}	30
FIGURA 13 – : <i>Krigagem</i> - Painel D _{inf}	31
FIGURA 14 – :Distribuição do Tingidor Segundo Quartis - Painel A _{sup} :.....	32
FIGURA 15 – : Ajuste do variograma para um modelo linear do tipo pepita puro A _{sup} ..	32
FIGURA 16 – : Distribuição do Tingidor Segundo Quartis - Painel B _{sup}	33
FIGURA 17 – : Ajuste do variograma para um modelo linear do tipo pepita puro B _{sup} ..	33
FIGURA 18 – : Distribuição do Tingidor Segundo os Quartis - Painel B _{inf}	34
FIGURA 19 – : Ajuste do variograma para um modelo linear do tipo pepita puro B _{inf}	34
FIGURA 20 – : Distribuição do Tingidor Segundo os Quartis - Painel C _{sup}	35
FIGURA 21 – : Ajuste do variograma para um modelo linear do tipo pepita puro C _{sup} ..	35
FIGURA 22 – :Distribuição do Tingidor Segundo os Quartis - Painel C _{inf} :.....	36
FIGURA 23 – : Ajuste do variograma para um modelo linear do tipo pepita puro C _{inf}	36
FIGURA 24 - :Distribuição do Tingidor Segundo os Quartis - Painel D _{sup}	37
FIGURA 25 - :Ajuste do variograma para um modelo linear do tipo pepita puro D _{sup}	37

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Valores dos parâmetros do variograma painéis Ainf e Dinf onde as unidades amostram apresentaram dependência espacial.....	31
TABELA 2: Coeficiente de determinação R^2 para um modelo linear do tipo pepita puro.....	38

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO.	11
2. OBJETIVOS.	12
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.	13
3.1. Pinus taeda	13
3.2. Paineis Colados Lateralmente (<i>EGP</i>)	14
3.3. Acabamentos.	14
3.3.1 Tipos de . Acabamentos.	15
3.4 Geoestatística	19
4. MATERIAIS E MÉTODO.	22
4.1. Materiais utilizados.	22
4.2. Método.	22
4.3. Procedimentos Geoestatísticos Usados no Programa R	25
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.	27
5.1. Paineis com dependência.	28
5.2. Paineis sem dependência espacial.	31
6. CONCLUSÕES.	39
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	40

1. INTRODUÇÃO

Sendo a madeira um material natural e de composição complexa suas características variam muito entre espécies e até dentro da mesma espécie. Fatores físicos, químicos, estruturais, ambientais e anatômicos influenciam fortemente para essa variabilidade elevada.

A madeira por ser um material biodegradável, por mais que esteja tratada, quando exposta excessivamente à luz, ao calor e a água é atacada e sofre alterações superficiais como perda de cor, textura e perdas de propriedades ao decorrer do tempo, diminuindo drasticamente a sua vida útil chegando até mesmo a destruir a peça. Portanto a aplicação de produtos para acabamento na superfície da madeira tem a finalidade de fechar os poros e essa camada protetora que se forma é que vai impedir ou minimizar a entrada de água ou o contato direto dos agentes ambientais. As principais razões para o uso do acabamento na madeira são a proteção da madeira, o resgate e realce da beleza natural, a preservação da aparência, além de proporcionar uma superfície de fácil limpeza e tornar mais atraente os artigos manufaturados.

Em suma a escolha de um acabamento se resume a dois princípios: que aparência de madeira se deseja e que durabilidade se quer na superfície com o acabamento.

Os tipos de produtos aplicados para acabamento podem ser classificados em vários tipos: vernizes, tintas, tingidores, resinas penetrantes, gomas-laca, esmaltes, ceras e óleos. Ao se aplicar tintas e vernizes como acabamento de superfícies de peças de madeira, torna-se obrigatório o uso de equipamentos de segurança de trabalho porque em sua composição existem solventes orgânicos que emitem vapores a temperatura ambiente que, e em contato direto com a pele, podem provocar alergias, queimaduras e doenças respiratórias.

Existem dois processos de pinturas mais utilizados: por aspersão ou pistola e a boneca. Dos processos de pinturas mais utilizados, o que oferece o maior risco de intoxicação ao operador e que contamina o ambiente é a pintura por aspersão ou pistola, que exige muito mais cuidados por parte das empresas e operadores, porém é mais eficiente e rápido.

Neste trabalho usou-se a Geoestatística para mostrar a viabilidade do uso desse método no estudo da variabilidade espacial de um acabamento (tingidor) em painéis de madeira colada lateralmente comumente conhecidos pela sua abreviatura inglesa *EGP (Edge Glued Panel)* feitos de *Pinus taeda*. No estudo do comportamento das variáveis regionalizadas duas são as ferramentas fundamentais dos métodos geoestatísticos: os

variogramas (modelagem da dependência espacial) e a *krigagem* (interpolação de valores com dependência espacial).

2. OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo geral verificar as vantagens do uso de métodos geoestatísticos no estudo da variabilidade espacial da distribuição do acabamento nas superfícies de painéis de madeira colada lateralmente.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Com a globalização, os clientes estão mais exigentes, e a busca da qualidade dos painéis tem aumentado principalmente em relação à durabilidade e a qualidade dos acabamentos. A obtenção de um acabamento homogêneo e duradouro é um objetivo contínuo para as indústrias líderes no mercado.

Cada vez mais os painéis de madeira confeccionados com árvores de reflorestamento são utilizados na construção e na composição de móveis. As árvores de reflorestamento, especialmente *Pinus e Eucalipto*, são as mais empregadas pelos fabricantes e as novas tecnologias permitem um bom aproveitamento da madeira reconstituída para que esta se transforme em diferentes produtos. Hoje temos placas com maior homogeneidade e estabilidade, características que asseguram acabamento superior aos processos de pintura, impressão e revestimentos.

Os principais tipos de painéis de madeira produzidos no Brasil são: compensado multilaminado, compensado sarrafeado, chapas de fibras (duras e isolantes), aglomerado, chapas “MDF” e chapas “OSB”.

3.1. *Pinus taeda*

Segundo Remade (2010) *Pinus taeda* é uma das árvores mais plantadas em reflorestamentos no Sul do Brasil. Em áreas de altitude e com temperaturas frias, supera espécies de eucalipto por ser resistente às baixas temperaturas e é preferido ao *Pinus elliottii* por se desenvolver mais rapidamente.

A madeira é conífera possui valores médios de propriedade físicas e mecânicas como densidade aparente de 510 kg/m³ a 12% de umidade, estabilidade dimensional média onde o coeficiente de contração volumétrica de 0,41% e relação entre contrações de 1,6%, dureza semi leve de 2,4, resistência à flexão estática: 975 kg/cm², módulo de elasticidade: 130.000 kg/cm², resistência à compressão: 492 Kg/cm² respectivamente.

Possui trabalhabilidade fácil, secagem rápida, boa parafusagem, é uma madeira usada principalmente em carpintarias, interior, e exterior, Móveis de interior, painel contra-chapado, Chapa decorativa.

3.2. Painel Colado Lateralmente (EGP)

Os painéis de sarrafo, também conhecidos como painéis de madeira colados lateralmente, também são muito conhecidos pela sua abreviatura inglesa EGP (Edge Glued Panel), é caracterizado como um conjunto de peças de madeira coladas lateralmente, formando um painel.

Os sarrafos são unidos topo a topo que pode ser reta ou do tipo *finger-joints* (pequenos dentes com encaixe do tipo macho/fêmea). São atualmente bastante utilizados na construção civil e para a fabricação de móveis, portas e pisos devido à alta demanda de madeira, o EGP está ganhando e conquistando espaço principalmente por utilizar pedaços de madeira para a confecção de painéis que apresentam aspecto de madeira sólida.; isto gera grande valor agregado ao produto final através dessa tecnologia podem ser obtidas tábuas para construções, habitações, portas, prateleiras, pisos, forros, etc. podendo ainda ser construídas peças estruturais de maiores dimensões e resistências. Como o próprio nome do painel sugere, sarrafos de madeira com dimensões e espessuras semelhantes são acondicionados lado a lado com a presença de colas, adesivos, resinas e produtos para aumentar a vida útil da madeira, sendo submetidos ao calor e prensagem para essa adesão. Isso leva ao beneficiamento destes pequenos. Os sarrafos de *Pinus* são muito requisitados para serem transformados em EGP, pois a coloração clara de sua madeira é mais apreciada gerando um produto final de bom visual e acabamento. (REMADE, 2010)

3.3. Acabamentos

Para Velikanje (2010), um bom acabamento a superfície deve ser bem preparada, a madeira deve estar limpa, seca, lisa e livre de poeiras. No caso de uso de produtos de acabamentos transparentes, como vernizes e ceras que destacam os defeitos, também deve estar livre de defeitos como trincas e amassados e no caso de tintas, as superfícies podem ser niveladas com massas próprias para corrigir eventuais defeitos.

Antes da aplicação de qualquer produto de acabamento, o primeiro passo para obter uma boa pintura ou envernizamento da madeira é o lixamento onde são eliminadas as rebarbas, asperezas, falhas, etc. Se não for feito um lixamento adequado, com certeza, o acabamento não ficará conforme o esperado.

As lixas são compostas de três elementos: costato, adesivo e abrasão que são identificados com números e códigos alfanuméricos, estes códigos se referem a dados

construtivos como tipo de grão, adesivo utilizado e tipo de costato (pano, papel ou fibra). Devem ser utilizadas numa seqüência onde os grãos da lixa não podem ser 50% superiores aos da lixa anterior; por exemplo, se inicia usando uma lixa número 100, a seqüência deve ser 100, 150, 220, 320, 380 e 400.

Para aplicação de ceras recomenda-se lixar até a de número 400; para seladoras e vernizes poderá ser suficiente lixar até a de número 320 e para tintas, a lixa final 280 poderá ser suficiente. Após o lixamento, aplicam-se as seladoras que são produtos à base de nitrocelulose muito transparentes e de secagem muito rápida, que tem a função de fechar os poros da madeira como etapa preparatória para a aplicação de produtos de acabamento e que conferem brilho à superfície, cujos melhores resultados são obtidos com aplicação a pistola. Estes produtos são geralmente fornecidos concentrados e diluem-se antes de usar, depois da aplicação do selador usam-se o acabamentos.

Os produtos mais usados para acabamentos podem ser classificados em vários tipos: lacas (vernizes especiais), tintas (vernizes transparentes pigmentados), vernizes, gomas-laca, tingidores, clareadores, óleos.

3.3.1. Tipos de acabamentos

Para se obter um acabamento de madeira durável a aplicação dos produtos deve obedecer aos passos necessários conhecidos como sistema de acabamento que compreende Velikanje:

1) Passos preparatórios:

Remendos (se necessário)

Lixação

Aplicação de base (primer) ou selador

2) Tingimento

3) Acabamento final:

Revestimento final

4) Manutenção

Remendos:

Se estiverem faltando porções da superfície da madeira, devido a lascas, cortes, etc., uma massa de enchimento para madeira poderá ser usada para correção. Massas de

enchimento para madeira estão disponíveis em formulações à base de solvente e de água. Ambas estão disponíveis em uma variedade de cores que coincide de forma aproximada com a madeira ao redor. As massas de enchimento à base de solvente geralmente secam mais rápidas. Todas as aplicações da massa de enchimento para madeira devem ser feitas em uma quantidade que permita que a massa quando seca, possa ser lixada de forma a se nivelar com a superfície da madeira. Uma palavra de alerta é necessária aqui. A maioria das massas de enchimento contém resinas que infiltram e ajudam a criar uma ligação com a madeira ao redor. As resinas podem afetar a penetração de corantes subsequentes. Por isso, quando lixar a massa de enchimento, recomenda-se que a superfície da madeira imediatamente ao redor também seja lixada para remoção das resinas. Isto é especialmente válido se a massa de enchimento tiver sido usada para preencher perfurações feitas por prego.

Lixação:

O objetivo da lixação é remover qualquer sujidade, cola ou acabamento antigo da madeira e propiciar uma superfície uniformemente lisa e adequada para tingir e envernizar. Não existe procedimento que afete mais a aparência do acabamento final do que a lixação. A lixação pode ser feita manualmente ou por máquina, mas deve-se tomar cuidado para fazê-la na direção da fibra da madeira. Recomenda-se que toda a superfície seja lixada uniformemente com lixa de papel não mais grossa que 60 ou não mais fina que 220. Uma lixa de granulação mais grossa resultará em maior retenção de pigmento na madeira e, portanto uma cor mais profunda aparecerá. Para evitar uma aparência manchada é imperativo que a lixação seja uniforme.

Aplicação da Base (Primer):

Para imitar o aspecto da madeira, é possível tingir muitas superfícies que não sejam de madeira usando-se uma base que possa ser tingida. Se uma superfície pintada ou com acabamento prévio estiver em boas condições e for compatível com a base tangível, é possível criar uma aparência tingida semelhante à madeira. Tal aplicação pode evitar o custo de ter que remover o acabamento existente. A base tangível também pode ser aplicada à madeira para pintura (com uniões dentadas, isto é, do tipo “finger-jointed”), de maneira a permitir que uma parte da fibra natural apareça, mas que oculte a união entre as madeiras.

Aplicação do Selador:

Devido às características de certas madeiras e certos corantes, é necessário aplicar um selador ou controlador de corante para evitar que o corante manche ou forme contrastes acentuados nas fibras. Um selador se deposita nas porções mais porosas da madeira e, portanto limita a quantidade de corante que penetra naquelas áreas dando uma aparência mais uniforme.

Outros tipos de seladores podem ser aplicados após o tingimento. Seladores de lixão são usados porque contêm compostos que tornam a superfície irregular e, portanto, fácil de lixar antes de aplicar as camadas subseqüentes. Seladores de vinil proporcionam uma barreira à umidade e são recomendados quando as superfícies podem ser expostas à água, como nos restaurantes.

Tingimento:

Com esse tipo de acabamento a madeira pode se tornar mais valiosas porque a sua aparência foi modificada e realçada. O propósito do tingimento pode ser o de trazer definição para a fibra da madeira, para coincidir com a aparência de uma espécie diferente de madeira, de unir outras superfícies ou de complementar outros aspectos arquitetônicos.

Dito de forma simples, todos os corantes de madeira são variações ou combinações de dois tipos de corantes:

1. Corantes para tingimento, que realmente tingem a fibra da madeira.
2. Corantes pigmentados, que depositam pigmentos entre as fibras e no interior dos poros da madeira.

Corantes para tingimento tais como anilina, permitem uma maior profundidade ao acabamento e são usados freqüentemente para móveis finos. No entanto, eles são fotossensíveis e descoram com a exposição à luz natural ou mesmo à luz artificial. Hoje em dia, existem corantes para tingimento que não levantam a fibra da madeira. Estes corantes proporcionam profundidade e claridade, mas são resistentes aos raios ultravioletas, e por isso são muito mais estáveis que os corantes de anilina.

Tais corantes estão disponíveis em formulações à base de álcool e de acetona.

Os corantes pigmentados são estáveis e são mais freqüentemente recomendados para aplicação arquitetônica. Os corantes pigmentados estão disponíveis em formulações líquidas ou gelatinosas.

Geralmente a qualidade da aplicação do corante é avaliada pelos seguintes fatores: estabilidade da cor, uniformidade da aparência,

Acabamento Final:

A aplicação do acabamento transparente ou (semitransparente) é o passo final que dá à superfície a proteção e aparência desejada. Em geral, refere-se a este passo como “envernizamento”. A escolha do material de acabamento deve ser determinada pelos seguintes fatores: compatibilidade com os produtos aplicados previamente, aparência final desejada, estabilidade da aparência fina, longevidade do acabamento final, tipos de exposição à luz e ao uso, frequência de limpeza, possibilidade de reparo.

Em termos muito amplos, os acabamentos finais, também referidos como vernizes, são divididos em gomas-laca, lacas e poliuretanos. Cada categoria de acabamento final e todas as suas variações dentro de cada categoria têm características distintas, vantagens e desvantagens. O acabamento ideal pode ser descrito como: fácil de aplicar por vários métodos (pincel, rolo ou pulverização), secagem rápida, alto teor de sólidos (espessura), excelente aderência, dureza, durabilidade, resistente a produtos químicos, sem cor, não fotossensível, não poluente, sem odor, disponível em uma grande variedade de brilhos (brilhante, acetinado ou fosco) e econômico. Nós não conhecemos nenhum acabamento que possua todas estas qualidades simultaneamente. É função do designer profissional determinar o sistema de acabamento que melhor preencha as exigências de cada circunstância específica.

Manutenção:

Quando um acabamento de madeira de interiores está completo, ou seja, quando a camada final transparente estiver curada, deve-se passar um pano com um polidor de madeira contendo um agente de limpeza sobre toda a superfície. Isto remove os vestígios de poeira, sujidade e fuligem. O polidor de madeira revela a beleza máxima do acabamento. Aplicações periódicas do polidor de madeira mantêm a melhor aparência do acabamento e aumentam a sua longevidade.

Usar a quantidade mínima necessária para limpar o acabamento. Uma aplicação excessiva pode criar uma superfície oleosa.

Para superfícies exteriores expostas à luz solar direta, a vida útil do poliuretano UV pode ser estendida indefinidamente com reaplicações anuais. Até mesmo uma aplicação aerossol leve rejuvenesce os inibidores de raios ultravioletas.

3.4. Geoestatística

As técnicas da estatística clássica assumem que todos os valores de uma amostra são aleatórios e independentes. Sua aplicação não envolve qualquer conhecimento da posição atual das unidades amostrais ou do relacionamento entre elas. Já a geoestatística assume que a distribuição das diferenças de variáveis entre dois pontos amostrados não é a mesma para toda a área, e que isto depende da distância entre eles e da orientação dos pontos (Clark, 1979).

Para muitos geólogos "geoestatística" significa simplesmente a aplicação de métodos estatísticos em Geologia, o que não corresponde à definição do termo. Na África do Sul, o engenheiro de minas Daniel G. Krige e o estatístico H.S. Sichel desenvolveram empiricamente uma técnica própria de estimativa para o cálculo de reservas minerais, a qual posteriormente recebeu tratamento formal por G. Matheron, nos início dos anos 60 do século passado, na França com o nome Geoestatística, para o estudo das chamadas variáveis regionalizadas, ou seja, variáveis com condicionamento espacial. O trabalho de Krige foi publicado em 1951 e os primeiros trabalhos de Matheron foram realizados após sua viagem à África do Sul quando conheceu Krige. A primeira publicação, descrevendo os resultados de Krige foi a co-autoria com Duval e L'evy em 1955. Nos anos seguintes foram publicadas as obras mais completas de Matheron, já com o arcabouço completo da Geoestatística Linear (Matheron 1962, 1963 e 1965). Em Chilés e Delfiner (1999) é apresentada uma revisão histórica sobre a Geoestatística com uma síntese sobre o desenvolvimento de suas ferramentas.

Inicialmente a aplicação era apenas para situações em geologia mineira na lavra e prospecção e, como exemplos, podem ser citados o livro clássico sobre o assunto de Journel e Huijbregts (1978) e as obras em português de Valente (1982) e Yamamoto (2001). Posteriormente se estendeu para outros campos, especialmente nesses últimos anos, com aplicação em agricultura de precisão, cartografia, climatologia, geologia ambiental, geotecnia, hidrogeologia, pedologia, entre outros. Praticamente todas as últimas versões de softwares para confecção de mapas ou Sistemas de Informações Geográficas apresentam métodos geoestatísticos.

Atualmente o termo Geoestatística acha-se consagrado como um tópico especial da estatística aplicada que trata de problemas referentes às variáveis regionalizadas, as quais têm um comportamento espacial mostrando características intermediárias entre as variáveis verdadeiramente aleatórias e as totalmente determinísticas. Nesse sentido pode-se afirmar que tal metodologia representa a grande contribuição da Geologia para a Estatística Aplicada.

As variáveis regionalizadas são constituídas por um duplo aspecto contraditório. Pela sua característica "aleatória" apresenta irregularidades e variação imprevisível de um ponto para outro e pela sua característica "estrutural" apresenta relações existentes entre os pontos no espaço motivadas pela sua gênese. Em outras palavras: é impossível prever com exatidão o teor do minério num determinado ponto da jazida (aspecto aleatório), mas é provável que se encontre minério rico perto de minério rico (aspecto estrutural). No estudo do comportamento das variáveis regionalizadas duas são as ferramentas fundamentais dos métodos geoestatísticos: o variograma e a krigagem.

Variograma :a estimativa da dependência entre amostras vizinhas no espaço pode ser realizada através da autocorrelação que é de grande utilidade quando se está fazendo amostragem em uma direção. Quando a amostragem envolve duas direções (x, y) o instrumento mais indicado na estimativa da dependência entre amostras é o variograma (Silva, 1988). O variograma analisa o grau de dependência espacial entre amostras dentro de um campo experimental, além de definir parâmetros necessários para a estimativa de valores para locais não amostrados, através da técnica de krigagem (Salviano, 1996). O variograma é a ferramenta básica, que permite descrever quantitativamente a variação no espaço de um fenômeno regionalizado (Huijbregts, 1975).

Krigagem :conhecido o variograma da variável, e havendo dependência espacial entre as amostras, podem-se interpolar valores em qualquer posição no campo de estudo, sem tendência e com variância mínima (Vieira, 2000). O método de interpolação chama-se krigagem e tem como base os dados amostrais da variável regionalizada e as propriedades estruturais do variograma obtido a partir destes dados o que permite visualizar o comportamento da variável na região através de um mapa de isolinhas ou de superfície.

Um variograma apresenta três parâmetros como apresentados_(Figura1) e definidos a seguir :

a) patamar ($C+C_0$): geralmente, o variograma pára de crescer depois de certa distância e torna-se aproximadamente estável ao redor de um valor limite. Este limite é o patamar;

b) alcance (a): distância na qual o variograma atinge o patamar; até esse ponto as unidades amostrais são consideradas correlacionadas espacialmente;

c) efeito pepita (C_0): valor da função do variograma para a distância igual a zero. Na prática, muitas vezes não começa do zero e revela a descontinuidade do variograma para distâncias menores do que a menor distância entre as unidades amostrais. Parte desta descontinuidade pode ser também devida a erros de medição.

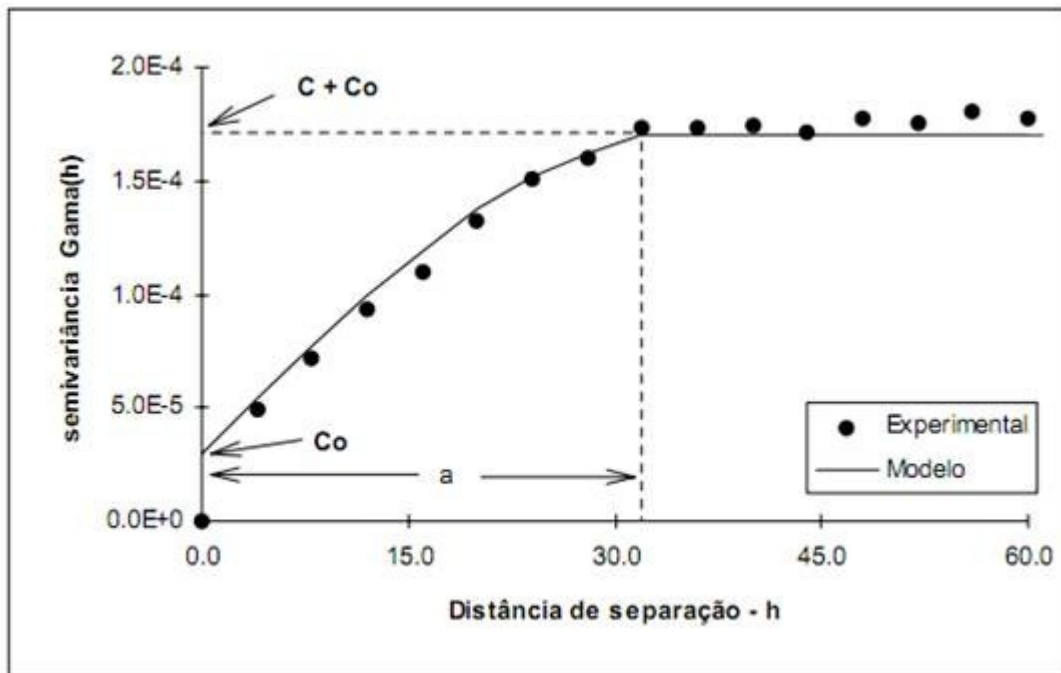


Figura 1: Variograma experimental e modelo matemático ajustado.
 Fonte: (Genú, 2010, p. 7)

Em suma a Geoestatística propõe que em todas as amostras, as unidades amostrais que estiverem espacialmente perto possuem valores semelhantes, existem dois métodos geoestatísticos fundamentais o variograma que permite demonstrar quantitativamente a dependência e a variabilidade espacial de um fenômeno regionalizado e a krigagem que é o interpolador geoestatístico onde os pesos dos dados são determinados da análise espacial através do variograma, ou seja, depois da construção do variograma se as amostras forem dependentes, usa-se o procedimento de interpolação.

Para a obtenção dos parâmetros do variograma para a construção do modelo de variabilidade propriamente dito deve-se verificar a fidelidade do modelo e para tal usa-se processo de validação cruzada onde se remove um dado do conjunto de dados amostrais e estima-se o valor retirado utilizando-se apenas as unidades amostrais remanescentes e têm-se, dessa forma, dois valores para o mesmo ponto, o real e o estimado.(USP, 2010)

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho foram utilizados os seguintes materiais e método

4.1. Materiais utilizados

Quatro painéis de EGP

Fita métrica

Régua

Serras esquadrejadeira (Verry)

Estereoscópio (zoom 5x, Leica M80)

Computador (Positivo, B62B)

Pacote geoR (Programa R versão 2.10.0)

Programa Leica Qwin V3

4.2. Método

Neste trabalho foram utilizados quatro painéis colados lateralmente (EGP) feitos com madeira da espécie *Pinus taeda* provenientes do Laboratório de Mobiliário do Campus Experimental da UNESP / Itapeva como mostra a Figura 2 , com as seguintes dimensões.

A: 32 cm x 167 cm x 1cm

B: 49 cm x 157 cm x 1cm

C: 47 cm x 167 cm x 1cm

D: 49 cm x 167 cm x 1cm

Em seguida os painéis foram processados em serra esquadrejadeira no laboratório de processos mecânicos do campus (Figura 3) De cada painel tirou-se em média 15 seções de 1 centímetro de largura espaçadas de dez centímetros (Figura 4). Em seguida as amostras foram levadas no Laboratório de Anatomia onde, com a ajuda do estereoscópio ligado a um microcomputador coletou-se dados da impregnação do tingidor nas superfícies superiores e inferiores de cada painel utilizando o programa Leica Qwin V3 (figura 5). Para a coleta de dados mediram-se os pontos em cada cinco centímetros das seções amostrais. Com os dados

subtraídos utilizou-se o programa R, através do pacote geoR, onde se analisou a variabilidade e a dependência espacial através de variogramas e *krigagem*.



Figura 2: Painéis utilizados.



Figura 3: Serra esquadrejadeira com eixo de inclinado de 40° a 90°.



Figura 4: Seções amostrais retiradas para análise.

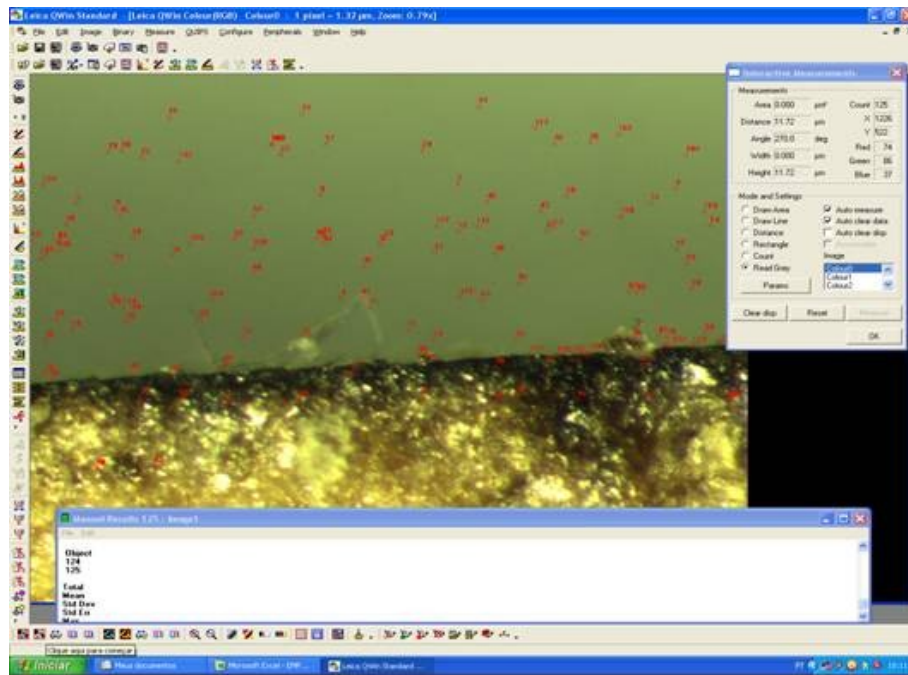


Figura 5: Imagem obtida pelo Estereoscópio de uma unidade amostral.

A figura 5 mostra a imagem de uma unidade amostral obtida no computador ligado ao Estereoscópio para a medição da distribuição do tingidor das superfícies dos painéis de uma, ligado ao microcomputador com o programa Leica Qwin para a coleta dos dados.

4.3. Procedimentos Geoestatísticos Usados no Programa R

Para a análise Geoestatística do painel colado lateralmente foram construídos variogramas e mapas de superfície através do método de *krigagem*. A seguir mostraremos os procedimentos usados no pacote GEOR para obtenção dos resultados encontrados.

Primeiro estimou-se transformações potenciais não condicionais univariadas para à normalidade pelo método de máxima verossimilhança. Em seguida foi feito o Box-Cox não condicional. Ou seja, não existe um modelo de regressão e não existem preditores. O objeto foi tornar a distribuição da variável tão normal quanto possível. A transformação dos dados foi implementada através do argumento *lambda*, que assume um valor numérico para o parâmetro da família Box-Cox de transformações (Box e Cox, 1964).

O pacote *geoR* implementa métodos que são apropriados quando a distribuição condicional é gaussiana e a ligação é a função identidade com opções para incluir uma transformação da variável *Y* escolhida dentro da família Box-Cox.

A ferramenta usada para descrever a dependência espacial em geoestatística é o variograma empírico que descreve a associação espacial em função da distância de separação, e é calculado da seguinte forma. Para cada par de pontos de dados (x_i, y_i) e (x_j, y_j) calculamos $h = ||x_i - x_j||$, a distância entre x_i e x_j e $v = (y_i - y_j)^2 / 2$.

A dispersão de v contra h para todos os pares é a nuvem de variogramas. Na prática, é comum para o grupo de pontos em classes de distâncias ("caixas"), a média dos valores correspondentes e h v . Os v médios resultam no variograma de classes ou variograma amostral

$$\gamma(h) = \frac{1}{2|N_h|} \sum_{(i,j) \in N_h} (y_i - y_j)^2$$

Equação (1)

onde $(y_i - y_j)$ é uma classe de distância, N_h são os pares da mesma classe, e $|N_h|$ é o número de pares em N_h , tudo em cm $\gamma(h)$ é o variograma em cm^2

Um simples teste de Monte Carlo baseado no variograma foi usado para verificar a evidência de correlação espacial.

Sob a hipótese nula de não correlação espacial se intercambiou os valores de dados em todas as localizações. Portanto, para realizar o teste:

- (i) permutar os locais dos dados,
- (ii) para cada permutação calcular o variograma,
- (iii) calcular os "envelopes" do variograma com os valores mínimos e máximos em cada classe;
- (iv) desenhar o variograma dos dados originais e verificar se ele está dentro dos envelopes.

A função `variofit` implementou o procedimento de ajuste de curva pelo método de mínimos quadrados não-lineares, com opções para mínimos quadrados ordinários e ponderados. Alternativamente, ajustar um variograma "a olho" de maneira interativa pode ser feito usando a função

O método de validação cruzada para avaliar a qualidade do ajuste é o "leave-one-out", método onde cada ponto é removido do conjunto de dados e previsto com os pontos restantes, com uma opção para reajuste do modelo a cada corrida. Para cada local de validação, valores observados e previstos e suas diferenças podem ser usados de maneiras diferentes para avaliar o ajuste do modelo como, por exemplo, através do gráfico de validação cruzada dos valores observados contra os valores previstos. E nos painéis onde as unidades mostrais apresentaram dependência espacial foram construídos os mapas de superfície através do interpolador geoestatístico (*krigagem*). (WEISBERG, 2010)

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores das unidades amostrais foram subtraídas nas faces superiores e inferiores (doravante denominadas sup. e inf.) de quatro painéis de EGP (doravante denominados como A,B,C e D). Através do pacote GeoR do programa do R construiu-se os variogramas para a análise do grau da dependência espacial entre unidades amostrais e da quantidade da variação espacial, o modelo matemático que melhor se ajustou aos variogramas construídos foi o esférico que foram validados através da validação cruzada. Nos painéis onde não foi caracterizada a dependência espacial o grau de ajuste para um modelo linear do tipo pepita puro foi verificado através do coeficiente de determinação R^2 .

Para as amostras que apresentaram dependência espacial usou-se o método de *krigagem* (interpolação geoestatística), ferramenta que nos permitiu visualizar o comportamento das variáveis na superfície dos painéis através de um mapa de isolinhas ou de superfície e definir parâmetros necessários para a estimativa de valores para locais não amostrados.

Para a análise e caracterização da dependência espacial construímos os variogramas da face superior e inferior dos quatro painéis de madeira colada lateralmente. Onde o eixo y o variograma (equação 1) em cm^2 e x o comprimento do painel em (cm).

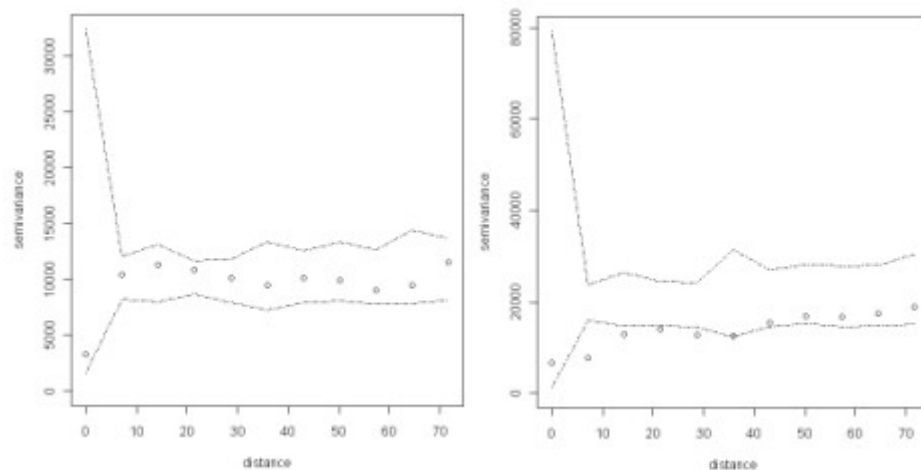


Figura 6: Variogramas - Painel Asup e Ainf.

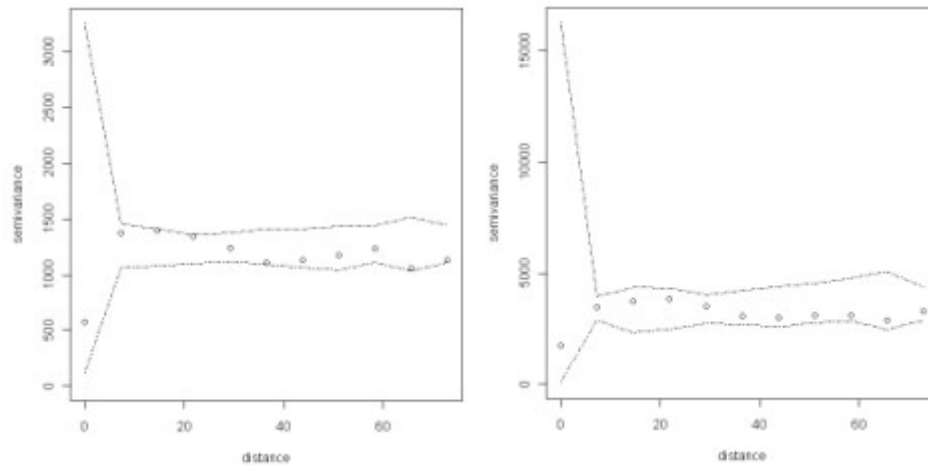


Figura 7: Variogramas - Paineis Bsup e Binf

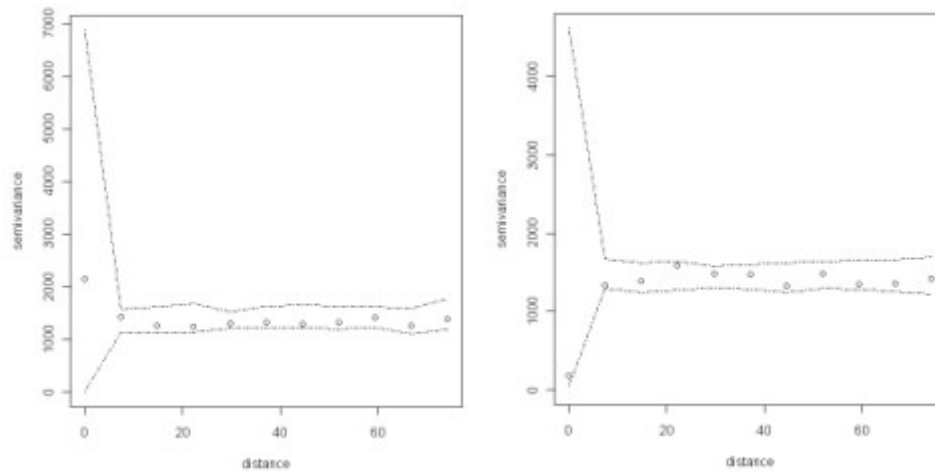


Figura 8: Variogramas - Paineis Csup e Cinf

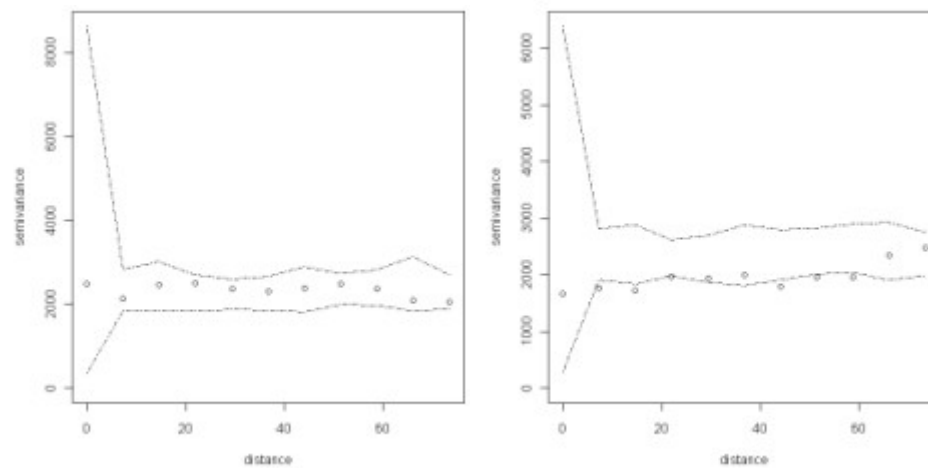


Figura 9: Variogramas - Paineis Dsup e inf

5.1. Painéis com dependência.

Com os variogramas construídos, observou-se que as superfícies inferiores dos painéis A e B apresentaram unidades amostrais com dependência, e em seguida

apresentaremos a Krigagem e a validação cruzada de ambos. Lembrando que a krigagem só é feita quando as unidades amostrais apresentarem dependência espacial.

Na validação cruzada, as figuras 10 e 12 o eixo y representa os valores reais e o eixo x os valores estimados para a validação do modelo e no mapas de superfície, as figuras 11 e 13 o eixo y representa a altura do painel e x a largura do painel ou seja a dimensão dos painéis.

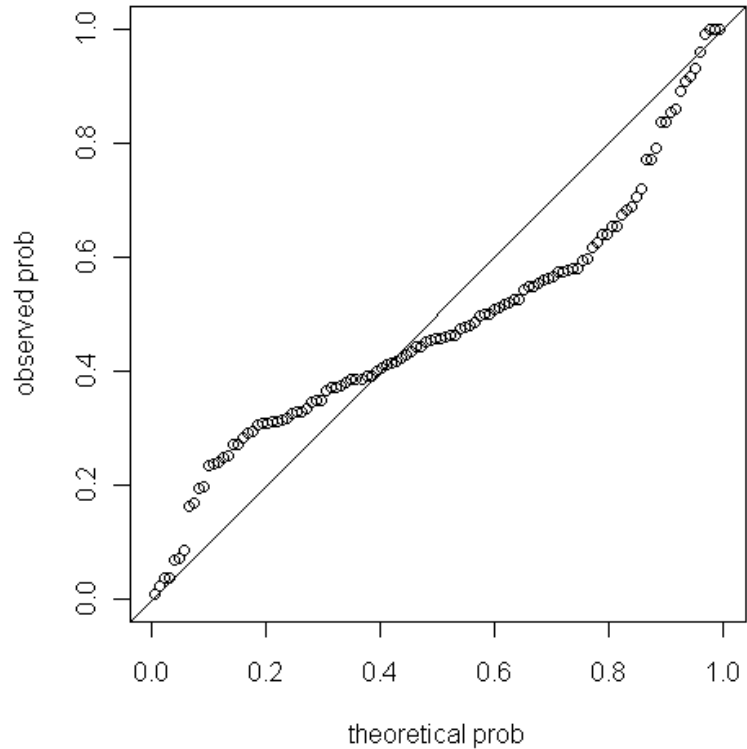


Figura 10: Validação cruzada - Painel Ainf

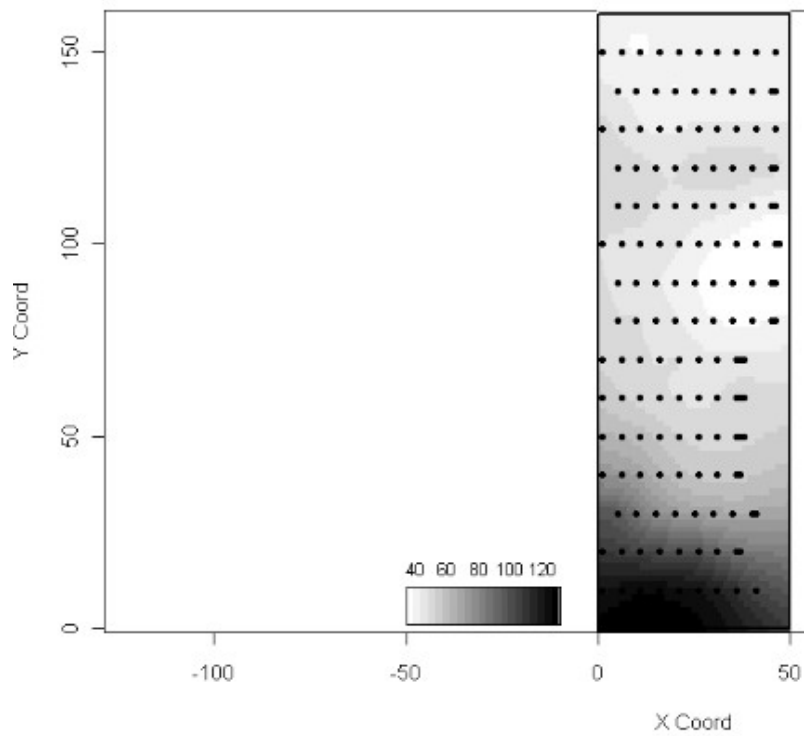


Figura 11: *Krigagem- Painel Ainf*

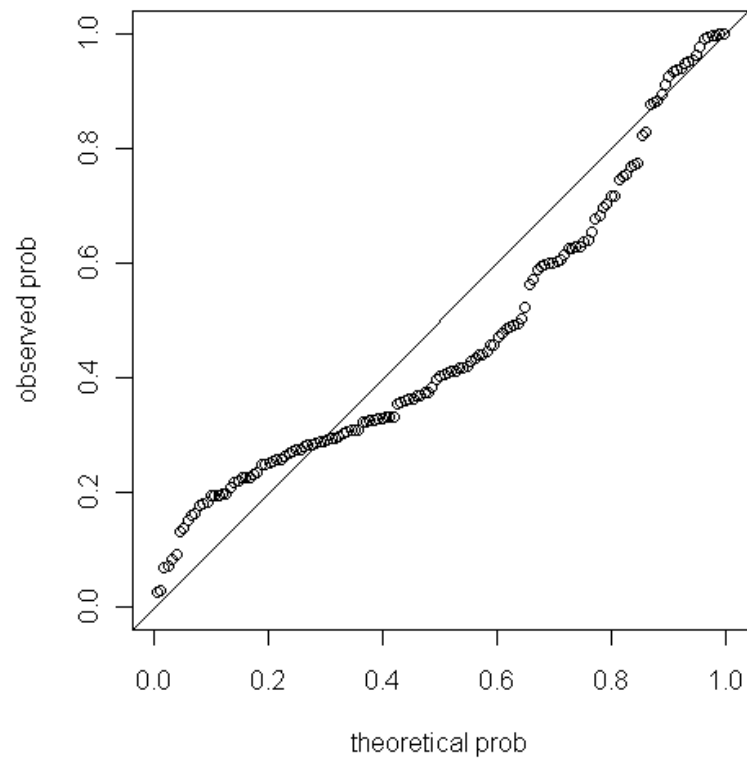


Figura 12: Validação cruzada - Painel Dinf

Onde y representa os valores reais e x os valores estimados para validação do modelo.

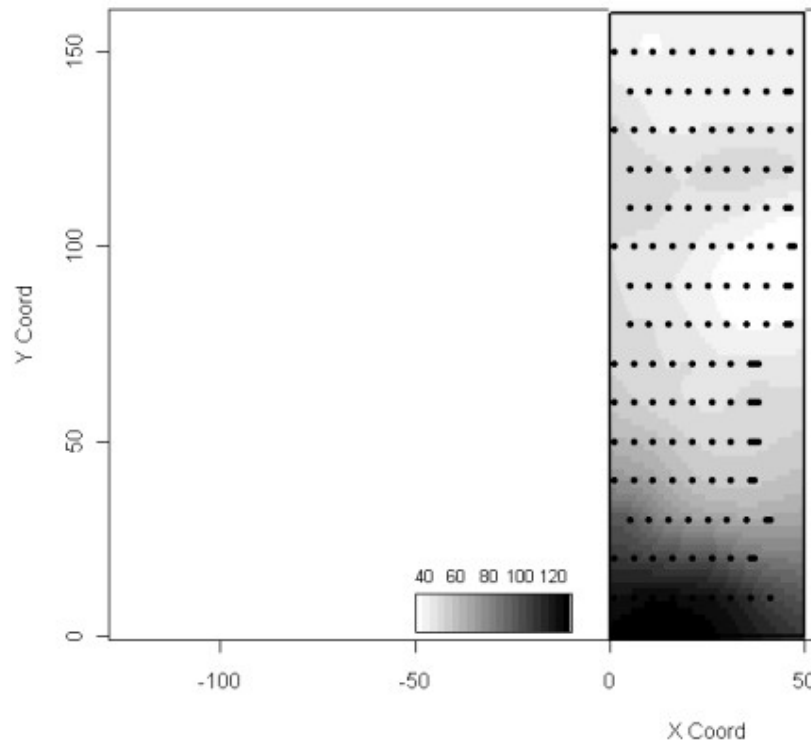


Figura 13: *Krigagem*- Painel Dinf

A seguir apresentaremos os valores dos parâmetros dos variogramas apenas dos painéis onde as unidades amostrais apresentam dependência espacial

Tabela 1 :Valores dos parâmetros do variograma dos painéis Ainf e Dinf onde as unidades amostrais apresentaram dependência espacial

Painéis	Modelo	Pepita($c_0; \tau^2$)	Alcance($a; \phi$)	Patamar($c+c_0; \tau^2+\sigma$)
Ainf	Esférico	7569.504	38.92064	10722.83641
Dinf	Esférico	1652.576	37.84079	192594.3

5.2. Painéis sem dependência espacial.

Os painéis Asup, Bsup, Binf, Csup, Cinf e Dsup não apresentaram dependência espacial, porém verificou-se uma variabilidade muito grande.

Onde x representa a largura e y a altura do painel em cm para as figuras 14,16,18,20,22 e 24 e nas figuras 15,17,19,21,23,25 o eixo y representa o variograma em cm^2 (Equação 1) e o eixo x a largura do painel.

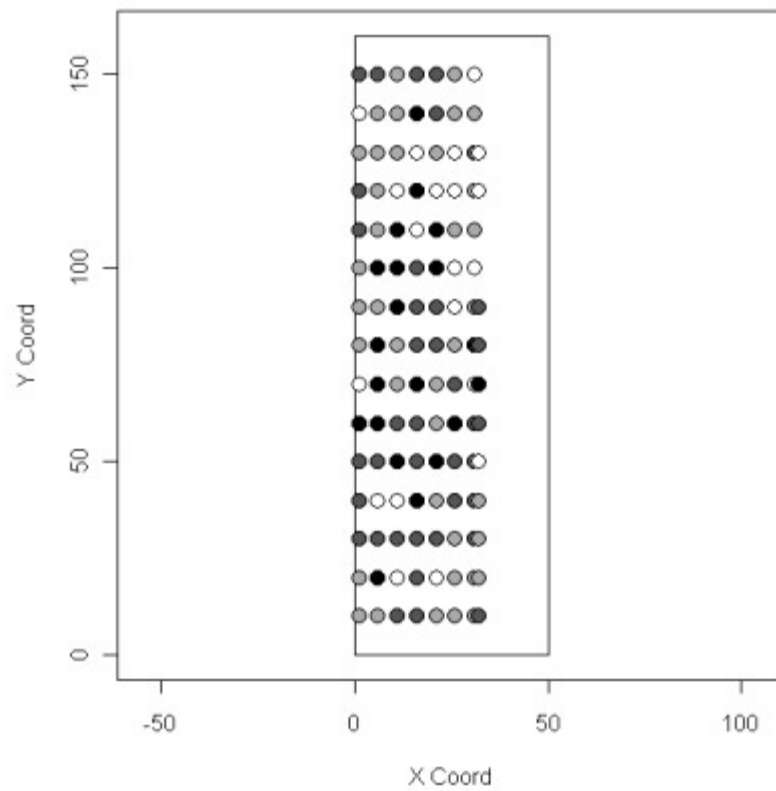


Figura 14: Distribuição do Tingidor Segundo Quartis - Painel Asup

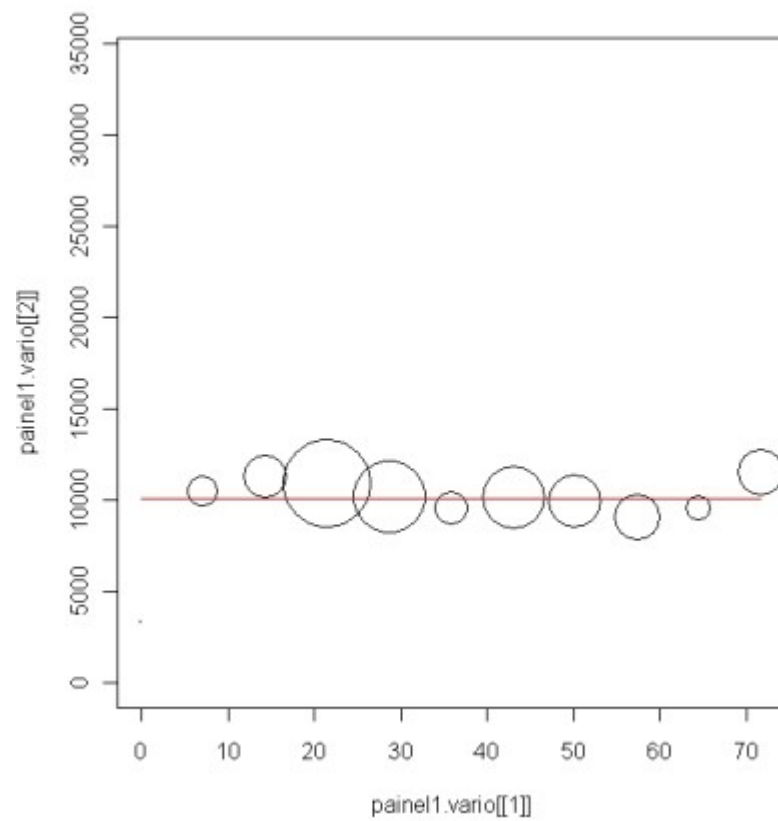


Figura 15: Ajuste do variograma para um modelo linear do tipo pepita puro – Painel Asup

O grau de ajuste do modelo foi verificado através do coeficiente de determinação R^2 (Tabela 2)

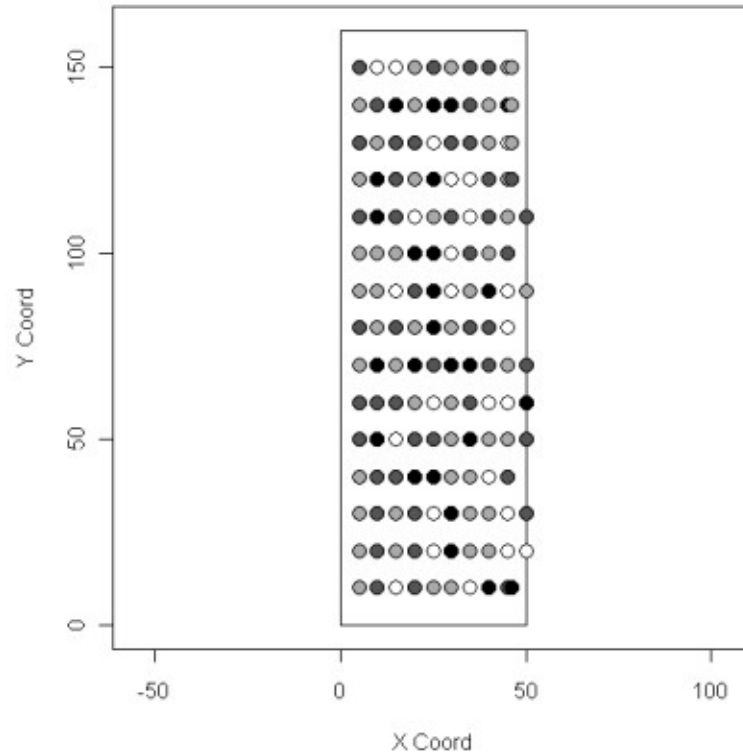


Figura 16 : Distribuição do Tingidor Segundo Quartis - Painel Bsup

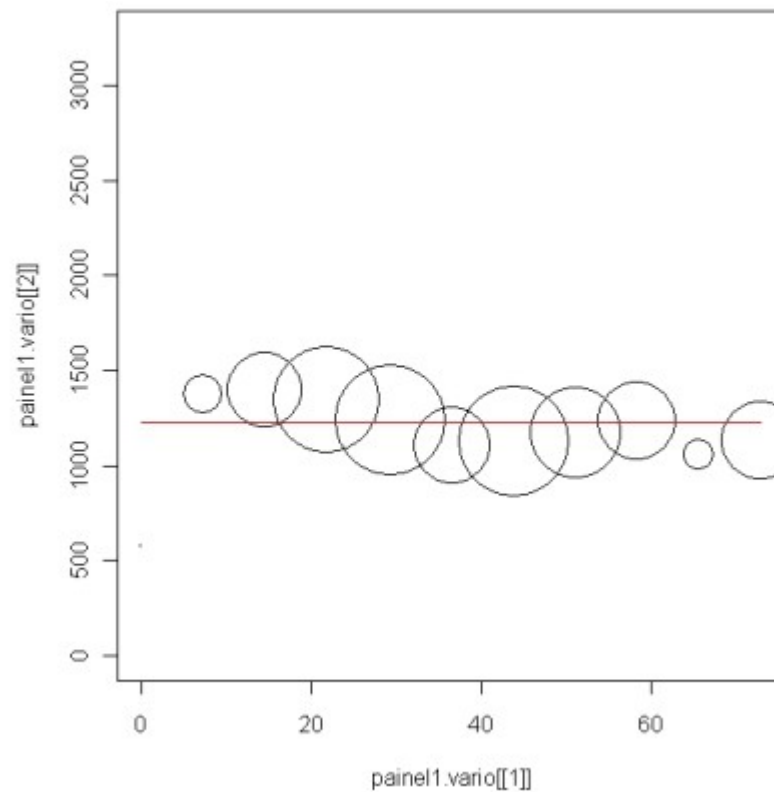


Figura 17: Ajuste do variograma para um modelo linear do tipo pepita puro - Painel Bsup

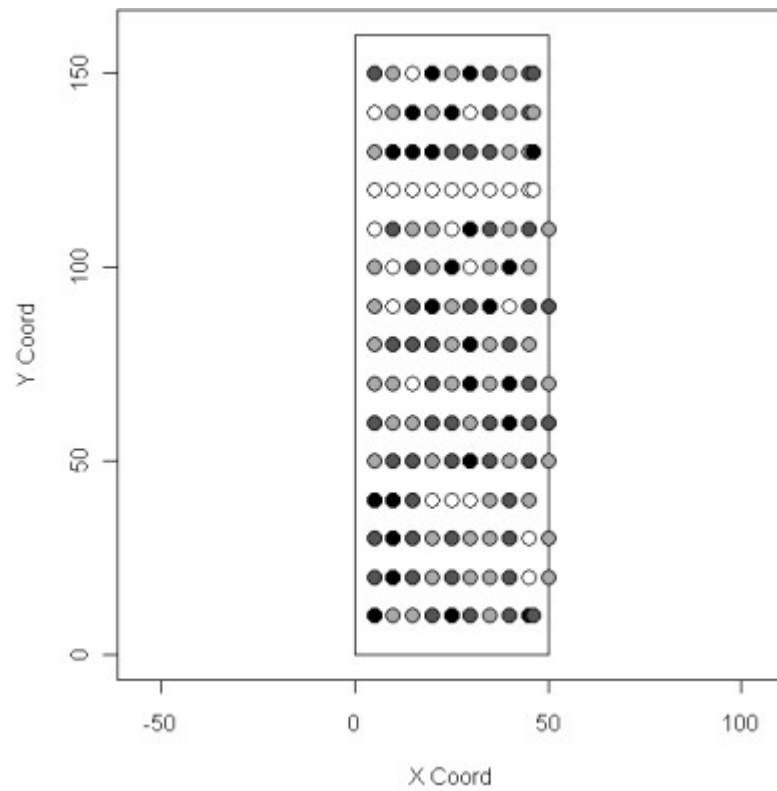


Figura 18 : Distribuição do Tingidor Segundo os Quartis - Painel Binf

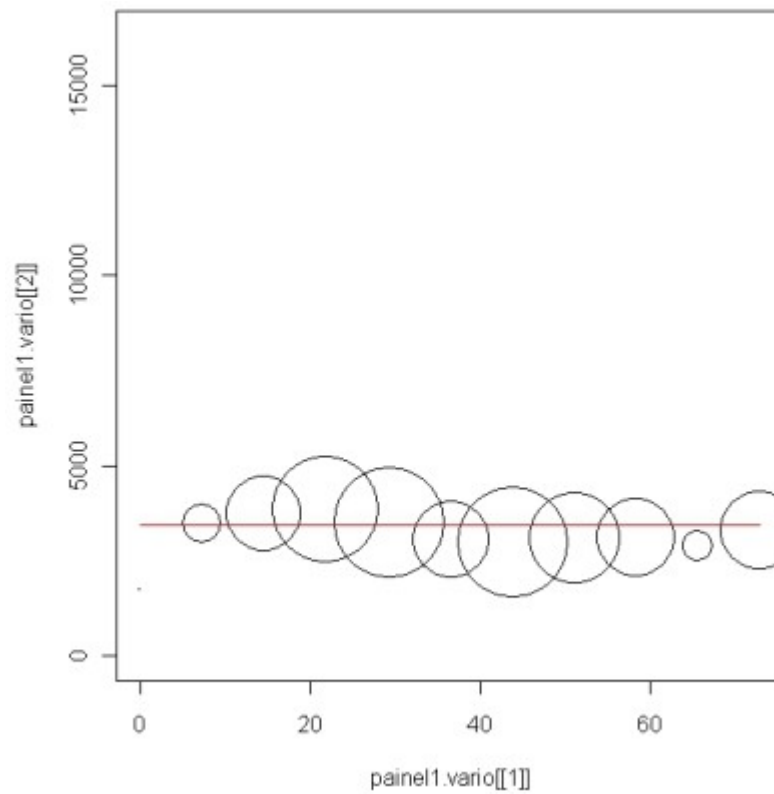


Figura 19: Ajuste do variograma para um modelo linear do tipo pepita puro Painel Binf.

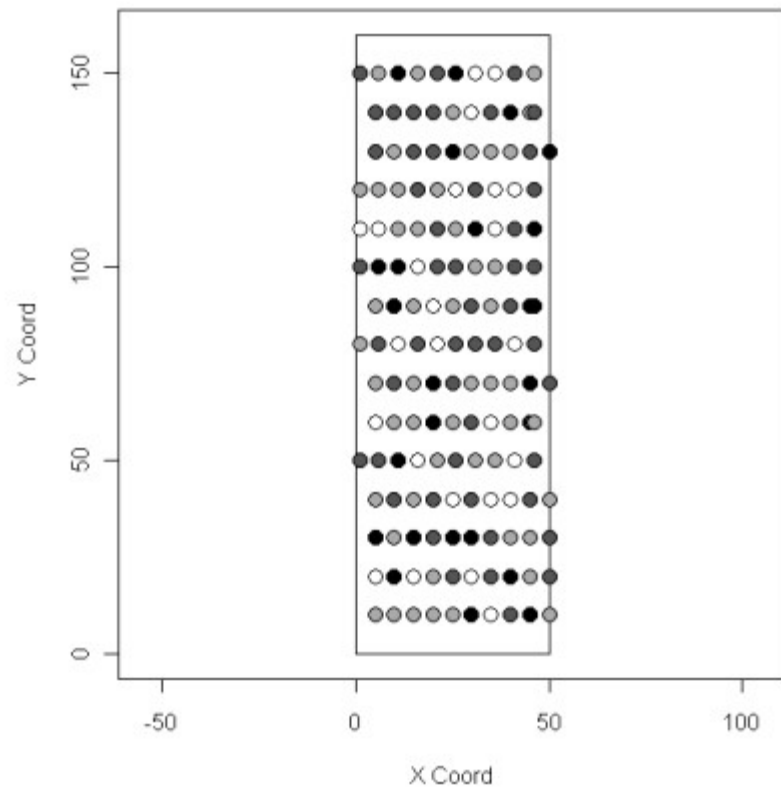


Figura 20 : Distribuição do Tingidor Segundo os Quartis - Painei Csup.

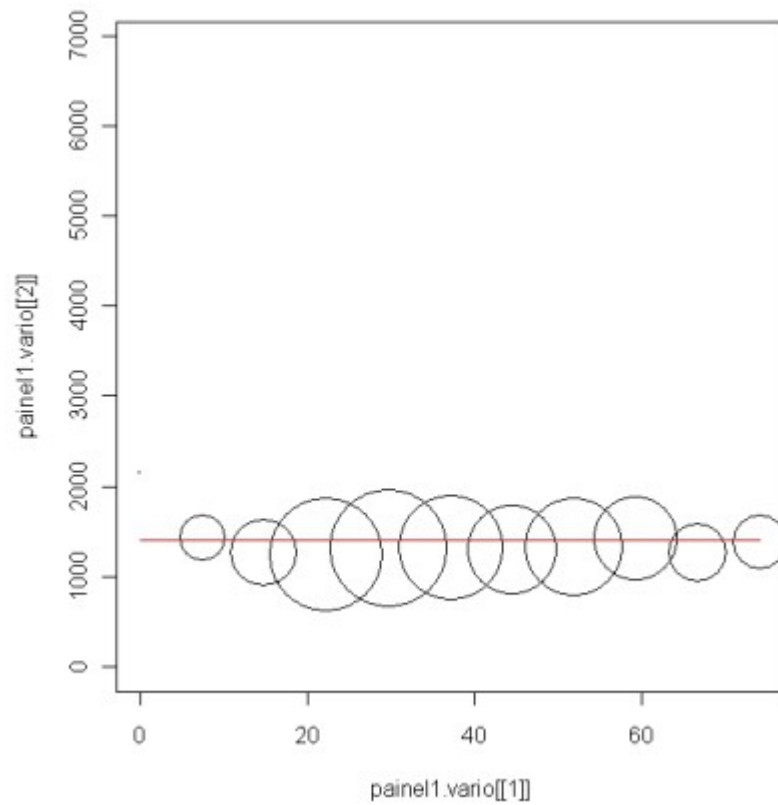


Figura 21: Ajuste do variograma para um modelo linear do tipo pepita puro Painei Csup

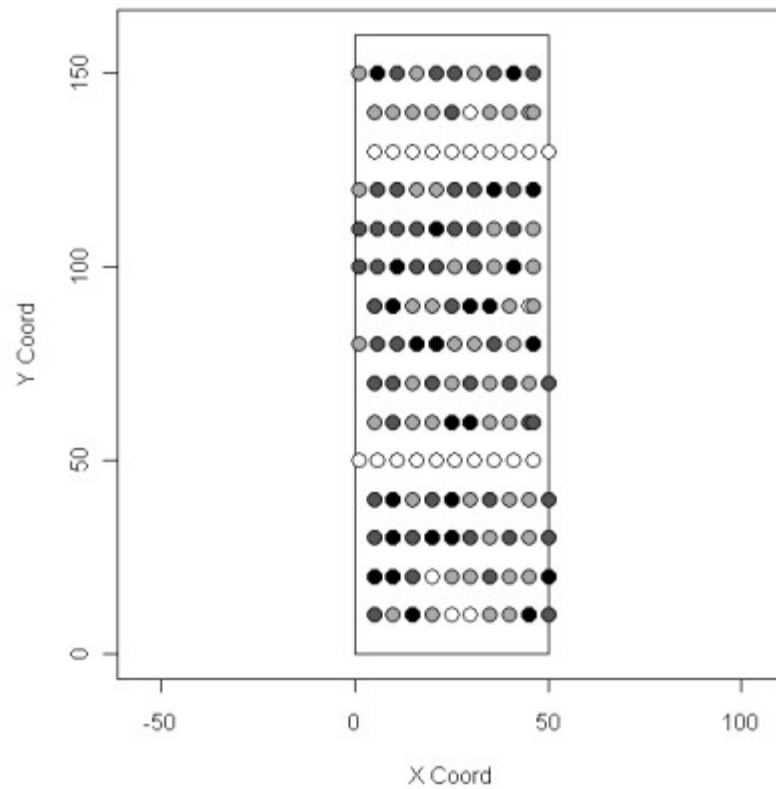


Figura 22: Distribuição do Tingidor Segundo os Quartis - Painel Cinf

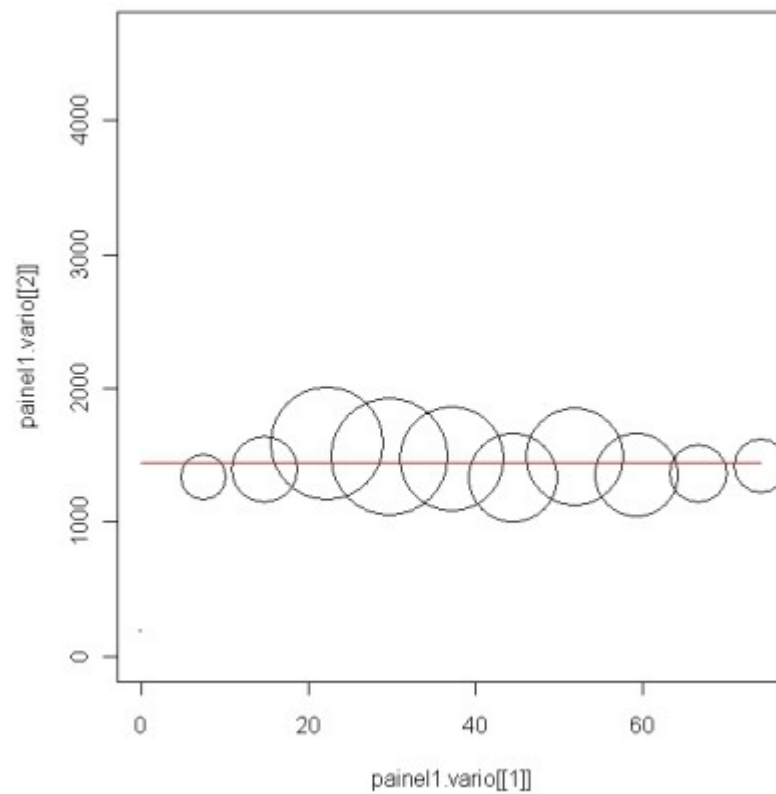


Figura 23: Ajuste do variograma para um modelo linear do tipo pepita puro Painel Cinf

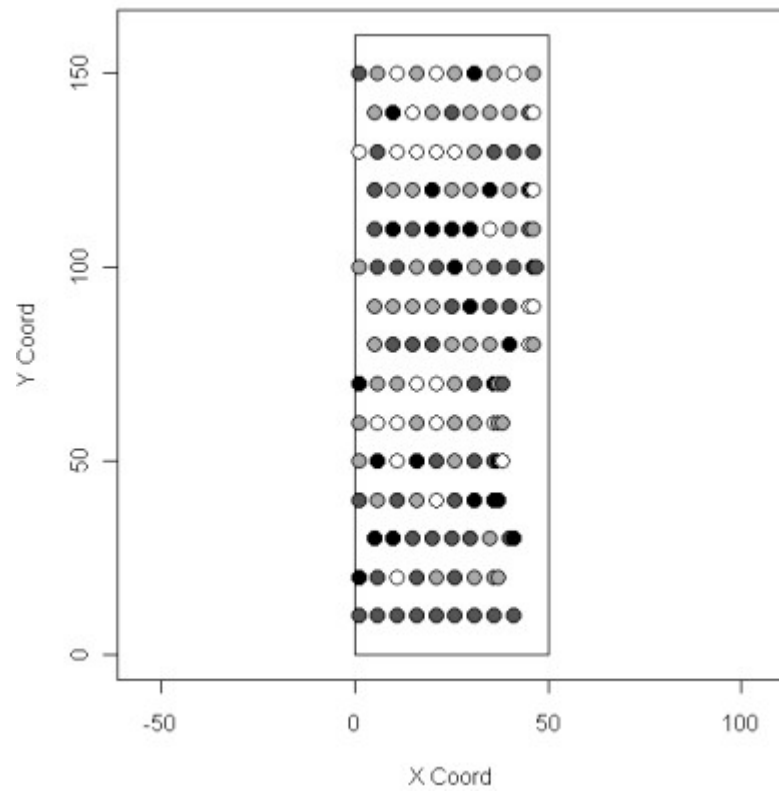


Figura 24: Distribuição do Tingidor Segundo os Quartis - Painel Dsup

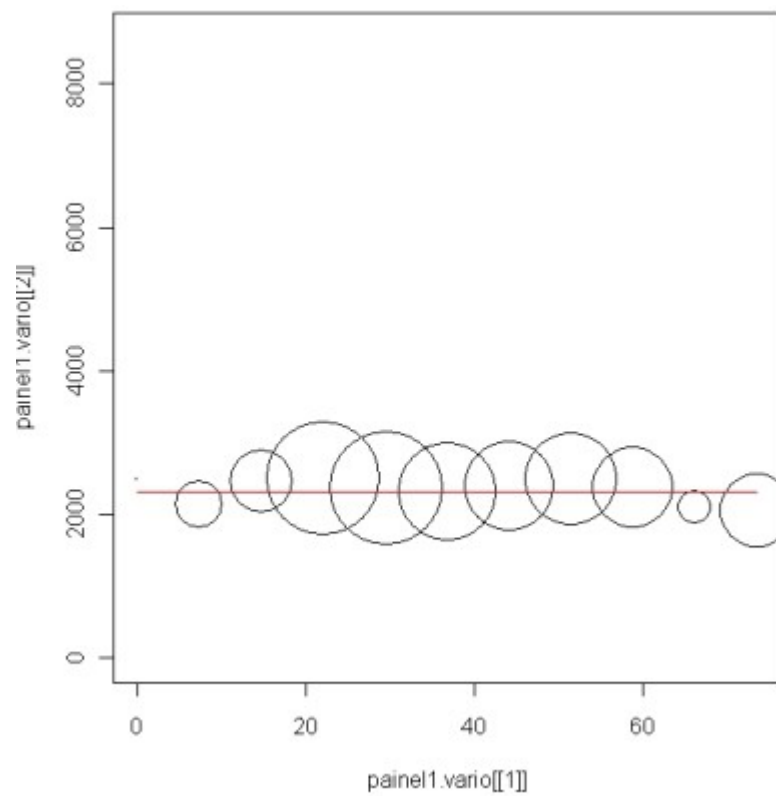


Figura 25: Ajuste do variograma para um modelo linear do tipo pepita puro Painel Dsup

O coeficiente de determinação é uma medida de qualidade, ele indica quanto a variância da variável resposta é explicada pela variância das variáveis explicativas e seu valor esta no intervalo de 0 a 1, quanto maior mais explicativo é o valor. Na tabela 2 observa-se os valores do R^2 dos painéis analisados e estão muito abaixo de 1, exceto os valores dos painéis A e D inferior apresentaram valores não muito baixos.

Tabela 2: Coeficiente de determinação R^2 para um modelo linear do tipo pepita puro

Amostras	Face Superior	Face Inferior
Painel A	0.05808064	0.4427196
Painel B	0.004149943	0.08752334
Painel C	0.3972749	0.00005979246
Painel D	0.0991672	0.4425503

Os resultados mostraram que, das oito superfícies analisadas duas apresentaram dependência espacial, possibilitando o uso da interpolação dos dados (*krigagem*) que nos permitiu ver claramente a distribuição do acabamento nos painéis. O restante das amostras observou-se a ausência de dependência o que inviabilizou o uso da krigagem, mais se observou uma variabilidade muito grande, fazendo-nos perceber que na aplicação dos produtos de acabamentos devemos ter os cuidados recomendados como superfície livre de poeiras, asperezas e rebarbas, portanto uma lixação bem feita é um dos principais fatores que influencia na qualidade final do painel, direções das fibras dos sarrafos, porosidade, para diminuirmos essa variabilidade, aumentando assim a qualidade dos painéis produzidos.

A distribuição do produtos do acabamento nas superfícies de paineis tem que ser aleatórias, independentes e com baixa variabilidade para que a qualidade do acabamento seja boa. Na análise geoestatística realizada percebeu-se que as faces superiores dos paineis mostraram-se independentes, aleatórios, porém com muita variabilidade; Lembrando que os paineis que mostraram dependência espacial foi na face inferior, onde não se precisa necessariamente de um acabamento de qualidade. A preocupação é com as faces superiores.

Essa grande variabilidade da distribuição do tingidor pode ter sido influenciando pela prováveis direções diferentes das fibras dos sarrafos, falta de qualificação do profissional que aplicou o tingidor, baixa qualidade do selador, lixação mal feita ou seja superfície não homogênea com presença de asperezas e outros, umidade da madeira, presença de poros deixando a madeira mais ou menos permeável e outros motivos que precisariam ser estudados mais para frente.

6. CONCLUSÃO

A utilização da geoestatística permitiu visualizar claramente problemas no acabamento nas faces superiores e inferiores dos painéis analisados. Tanto para os painéis que apresentaram unidades amostrais dependentes, tanto para os que não apresentaram detectou-se uma variabilidade da distribuição do tingidor muito grande como observadas nas figuras (11 e 13) e (14,16,18,20,22 , 24) respectivamente.

O acabamento nos painéis estudados seria de boa qualidade se, as unidades amostrais fossem independentes, aleatórias e com baixa variabilidade; Então painéis dependentes com muita variabilidade é ruim para acabamento e a mesma coisa para painéis com unidades amostrais independentes e com muita variabilidade ou seja nenhum dos painéis analisados mostrou uniformidade ou homogeneidade na superfície como mostra os valores dos coeficientes de determinação R^2 encontradas na tabela 2.

Para que a aplicação dos produtos de acabamentos nas superfícies dos painéis tenham realmente uma qualidade propriamente dita ,para além dos cuidados básicos como um bom lixamento temos que ficar atentos com outros fatores como qualidade do selador, porosidade da madeira, direções das fibras dos sarrafos ,qualificação do profissional e outros.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CLARK, I. The semivariogram: part I. **Engineering & Mining Journal**, EUA (Jacksonville), v. 7, n. 180, p.90-94, 1979.

GENÚ, Aline Marques. **Geoestatística Multivariada**. Disponível em: <<http://ce.esalq.usp.br/tadeu/aline.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2010.

HUIJBREGTS, C. J.. Regionalized variables and quantitative analysis of spatial data. In: DAVIS, J. C.; MCCULLAGH, M. J. (Ed.). **Display and analysis of spatial data**. New York: John Wiley, 1975. p. 38-53.

JOURNEL, A. G.; HUIJBREGTS, C. J.. **Mining Geostatistics**. London: Academic Press, 1978. 600 p.

KRIGE, Daniel G.. A Statistical Approach to Some Basic Mine Valuation Problems on the Witwatersrand. **Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa**, Johannesburg, v. 6, n. 52, p.119-139, 1951.

MATHÉRON, Georges. **Traité de geostatistique appliquée**: Tome 1. Paris: Technip., 1962. 333 p. (Mémoires du Bureau de Recherches Géologiques et Minières). 14.

MATHÉRON, Georges. **The theory of regionalized variables and its applications**. Fontainebleau: École Nationale Supérieure Des Mines de Paris, 1971. 211 p. (Les Cahiers de Centre de Morphologie Mathématique de Fontainebleau). 5.

MATHERON, Georges. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, Littleton, v. 8, n. 58, p.1246-1266, 1963.

RIBEIRO JUNIOR, Paulo J.; DIGGLE, Peter J.. GeoR: a package for geostatistical analysis. **R-news**, Vienna, p. 14-18. jun. 2001. Disponível em: <<http://CRAN.R-project.org/doc/Rnews/>>. Acesso em: 25 jul. 2010.

VELIKANJE, Gary P. **Resumo dos Acabamentos para Madeira de Interiores**. Disponível em: <http://www.woodkote.com/Portuguese/PorAllOverviewWoodFinishing.pdf>>. Acesso em: 5 jul. 2010.

SALVIANO, A. A. A.. **Variabilidade de atributos de solo e de Crotalaria juncea em solo degradado do município de Piracicaba-SP**. 1996. 91 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz / USP, Piracicaba, 1996.

SILVA, A. P.. **Variabilidade espacial de atributos físicos do solo**. 1996. 105 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz / USP, Piracicaba, 1988.

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

(Brasil) (Org.). **Espécies de Madeira**. Disponível em: <http://www.remade.com.br>>. Acesso em: 25 nov. 2010.

PORTAL REMADE (Ed.). **MADEIRAS - PMVA - PRODUTOS DE MAIOR VALOR AGREGADO: EGP**. Disponível em:

http://www.remade.com.br/br/madeira_pmva.php?num=2&title=EGP>. Acesso em: 25 jul. 2010.

USP (Ed.). **Geoestatística**. Disponível em:

http://ppegeo.igc.usp.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S198044072006000003&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 11 set. 2010.

USP (Ed.). **Geoestatística**. Disponível em <http://ce.esalq.usp.br/tadeu/aline.pdf>>. Acesso em: 11 set. 2010.

WEISBERG, John Fox And Sandford (Ed.). **An {R} Companion to Applied Regression**. Disponível em: socserv.socsci.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion>. Acesso em: 10 nov. 2010.