

LUCIANO ZUMERLE ZANETI

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE CIGARRAS (*Quesada gigas* Oliver) EM  
POVOAMENTOS DE PARICÁ (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) NA  
REGIÃO DE DOM ELISEU - PA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de “*Magister Scientiae*”.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2005

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

Z28d  
2005

Zaneti, Luciano Zumerle, 1980-

Distribuição espacial de cigarras (*Quesada gigas* Oliver) em povoamentos de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) na região de Dom Eliseu - PA / Luciano Zumerle Zaneti. – Viçosa : UFV, 2005. ix, 69f : il. ; 29cm.

Orientador: Vicente Paulo Soares.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referência bibliográfica: f.67-69

1. Cigarra (Inseto) - Distribuição geográfica. 2. Amostragem (Estatística). 3. Paricá - Doenças e pragas. 4. *Quesada gigas*. 5. *Schizolobium Amazonicum*. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 595.75217

LUCIANO ZUMERLE ZANETI

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE CIGARRAS (*Quesada gigas* Oliver) EM  
POVOAMENTOS DE PARICÁ (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) NA  
REGIÃO DE DOM ELISEU - PA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de “*Magister Scientiae*”.

APROVADA: 02 de setembro de 2005.

---

Prof. Dr. Nerilson Terra Santos  
(Conselheiro)

---

Prof. Dr. Hélio Garcia Leite  
(Conselheiro)

---

Prof. José Marinaldo Gleriani

---

Prof. Guido Assunção Ribeiro

---

Prof. Dr. Vicente Paulo Soares  
(Orientador)

À minha mãe Mirtes Zumerle Zaneti,  
dedico

## AGRADECIMENTOS

À todos que de alguma forma contribuíram para em minha formação.

À Deus por cada momento de minha vida como ser humano.

À minha mãe por tudo que sou e gostaria de dizer que o fato dela ter me colocado no mundo é um mero detalhe diante da importância que ela teve ao longo de toda a minha vida e em todas as minhas conquistas.

Ao meu pai por uma série de bons comportamentos que dele herdei principalmente na maneira de tratar as pessoas, na coragem de encarar a vida, o mundo, os problemas e na maneira de agir como homem.

À minha irmã Elaine, pela importante influência que teve em minha educação, estando sempre comigo desde a minha infância.

Aos meus avós Norma e Armando por sempre terem orgulho de mim; e também aos meus avós Nila e Adelino por terem sido meus segundos pais quando aos 14 anos fui estudar na cidade morando em sua casa.

À todos os meus tios e primos admitindo que sou uma mistura de todos eles, agradecendo especialmente aos meus tios Edimar, Pedro, Arlindo, Laurindo e Benes que sempre estiveram mais próximos de mim.

Aos meus orientadores de graduação Profa. Horlandezan Belirdes Nippes Bragança e Prof. Gilson Fernandes da Silva por sempre terem confiado em mim e acreditado no meu trabalho.

Aos amigos Josué Verdim, Vinícius Almeida, Leonardo Pagonotti e Fernando Soares pelo companheirismo durante a graduação e o mestrado, sendo os dois primeiros considerados meus irmãos pela afinidade que temos.

Ao professor Vicente Paulo Soares que foi mais que um orientador, foi um grande amigo com muita capacidade profissional para guiar meus trabalhos e com grande experiência para ajudar nas tomadas de decisão mais importantes.

Aos professores Nerilson Terra Santos, Hélio Garcia Leite, José Marinaldo Gleriani e Guido Assunção Ribeiro, pela importante contribuição deram a este trabalho.

Ao Departamento de Engenharia Florestal e à Universidade Federal de Viçosa pela oportunidade de cursar este mestrado.

Ao Centro de Pesquisa do Paricá de Dom Eliseu-PA pelo papel fundamental que teve na reunião das informações de campo e no apoio logístico, possibilitando a construção deste trabalho.

## BIOGRAFIA

LUCIANO ZUMERLE ZANETI, filho de Antônio Zaneti Sobrinho e Mirtes Zumerle Zaneti, nasceu em 30 de outubro de 1980, em Castelo, Espírito Santo.

Em 1998, ingressou no curso de Agronomia, no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Estado do Espírito Santo (CCA-UFES), graduando-se em 2003. Em agosto de 2003 iniciou o curso de Mestrado em Ciência Florestal, na Universidade Federal de Viçosa, concluindo em 02 de setembro de 2005.

## CONTEÚDO

RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	viii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1. Caracterização do paricá .....	2
2.2. Generalidades sobre as cigarras .....	3
2.3. Distribuição espacial de pragas e seus efeitos na amostragem.....	6
2.4. Conceitos de análise espacial de dados geográficos.....	8
2.4.1. Variáveis regionalizadas.....	10
2.4.2. Semivariograma.....	11
2.4.3. Krigagem ordinária.....	17
2.4.4. Inverso do quadrado da distância (IQD).....	18
2.4.5. Validação cruzada.....	19
3. METODOLOGIA.....	22
3.1. Localização da área de estudo.....	22
3.2. Base de dados, softwares e definição das unidades amostrais.....	23
3.3. Contagem e registro do número de cigarras.....	28
3.4. Geração dos mapas de dispersão de cigarras.....	29
3.5. Avaliação dos métodos de interpolação e das estratégias de amostragem.....	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
4.1. Valores e estatísticas das amostras de treinamento.....	31
4.2. Krigagem Ordinária aplicada à amostragem realizada em outubro/2004.....	36
4.3. Inverso do quadrado da distância (IQD) aplicado à amostragem realizada em outubro/2004.....	41
4.4. Krigagem aplicada à amostragem realizada em julho/2005.....	43
4.5. Inverso do quadrado da distância (IQD) aplicado à amostragem realizada em julho/2005.....	58
4.6. Comparação entre krigagem e inverso do quadrado da distância, aplicados à amostragem de julho/2005.....	61
4.7. Considerações finais.....	64
5. CONCLUSÕES.....	66
6. BIBLIOGRAFIA.....	67

## RESUMO

ZANETI, Luciano Zumerle, M.S., Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2005.  
**Distribuição espacial de cigarras (*Quesada gigas* Oliver) em povoamentos de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) na região de Dom Eliseu – PA.** Orientador: Vicente Paulo Soares. Conselheiros: Nerilson Terra Santos e Helio Garcia Leite.

Os objetivos deste trabalho foram: estudar através da análise espacial de dados geográficos, a ocorrência de cigarras (*Quesada gigas* Oliver) em povoamentos de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke), avaliando os efeitos da variação da intensidade amostral e da composição de unidades amostrais, na precisão dos mapas de predição da quantidade de cigarras por árvore nos reflorestamentos e testando a aplicação de dois interpoladores (krigagem e inverso do quadrado da distância) para a geração de mapas de predição da quantidade de insetos dentro dos reflorestamentos. Para isto, foi feita a contagem do número de cigarras/árvore em pontos dentro de duas áreas de estudo, presentes em um reflorestamento de paricá localizado no município de Dom Eliseu - PA, onde ocorriam problemas com infestação por cigarras. Em uma destas áreas os pontos foram lançados na densidade de 1 ponto a cada 30 hectares, onde foi amostrada uma única árvore por ponto, obedecendo à estratégia de amostragem convencionalmente usado pela empresa proprietária do reflorestamento em estudo. Na outra área, outros pontos foram lançados, desta vez na densidade de 1 ponto a cada 3 hectares e com a amostragem feita em 4 árvores ao invés de uma. As unidades amostrais, suas localizações geográficas, bem como a quantidade de cigarras contada em cada um deles foram inseridos em um programa de geoprocessamento, que tinha suporte para análise espacial de dados geográficos. Neste programa, tais dados foram analisados através da aplicação de dois métodos de interpolação (krigagem ordinária e inverso do quadrado da distância), que possibilitou a geração de mapas de predição da quantidade de cigarras por árvore, bem como permitiu avaliar a adequação dos métodos de interpolação e das diferentes estratégias de amostragem, através da validação cruzada das interpolações. As análises indicaram que as duas intensidades amostrais usadas neste trabalho não foram suficientes para permitir a detecção de forte dependência espacial do número de cigarras/árvore nas áreas de estudo. A dependência espacial ainda permaneceu fraca mesmo na amostragem onde foram usadas 4 árvores por unidade amostral; no entanto, houve uma tendência de melhora nos resultados da

validação cruzada e conseqüentemente na precisão dos mapas de predição de cigarras/árvore, à medida que se aumentou a quantidade de árvores por unidade amostral. Devido a esta baixa dependência espacial, os resultados dos dois métodos de interpolação (krigagem ordinária e inverso do quadrado da distância) apresentaram-se semelhantes. Apesar disto, o método da krigagem ordinária apresentou-se vantajoso pela maior quantidade de recursos que ofereceu durante a análise dos resultados. Os resultados deste trabalho indicam que as estratégias de amostragem utilizadas devem ser melhoradas para gerar mapas de predição com maior precisão para a quantidade de cigarras/árvore nos reflorestamentos de paricá.

## ABSTRACT

ZANETI, Luciano Zumerle, M.S., Universidade Federal de Viçosa, September 2005.  
**Spatial distribution of Buzzer (*Quesada gigas* Oliver) in Paricá (*Schizlobium amazonicum* Huber ex Ducke) stands in the region of Dom Eliseu – PA.**  
Adviser: Vicente Paulo Soares. Committee members: Nerilson Terra Santos and Helio Garcia Leite.

This work has as an objective the study of the occurrence of buzzers (*Quesada gigas* Oliver) in Paricá (*Schizlobium amazonicum* Huber ex Ducke) stands using spatial geographical data analysis, evaluating the effects of the sample intensity variation and the composition of the sample units on the precision of the buzzer quantity prediction maps per tree in the reforestations, testing the application of two interpolators (kriging and the inverse of the square of the distance) for the generation of insect quantity prediction maps within the reforestation stands. As such, the number of buzzers/tree were counted in points in the two study areas, within a Paricá reforestation in the Dom Eliseu county, state of Pará, that has a buzzer infestation problem. In one of these areas the points were set out in a density of 1 point for every 30 hectares, where as one tree was sampled per point, obeying the sample strategy conventionally used by the company which owns the reforestation in study. In the other area, more points were set out, but this time with a density of 1 point for every 3 hectares and with the sampling done on four trees instead of one. The sample units, there geographical localization and the quantity of buzzers in them, were put in to a geoprocessing program that supports spatial geographical data analysis. In this program, the data was analyzed applying two interpolation methods (ordinary Kriging and the inverse of the square of the distance) that allowed the generation of buzzer quantity prediction maps per tree, and also allowed for the study of the adequacy of the interpolation methods and of the different sampling strategies, through the cross validation of the interpolations. The analysis indicated that the two sampling intensities utilized in this work weren't enough to allow a strong spatial dependence of the number of buzzers/tree in the study areas. The spatial dependency still remained weak when the sampling was of four trees per sample unit, however, there was an improvement tendency in the results of the cross validation and consequently in the precision of the buzzer/tree prediction maps, as the number of trees per sample unit increased. Due to this low spatial dependency, the results of both interpolation methods (ordinary Kriging and the inverse of the square of the distance)

were similar. Other than this, the ordinary Kriging method was more of an advantage because of the greater amount of resources it offered during the result analysis. The results of this work indicate that the sampling strategies must be improved to generate better and more precise buzzer/tree prediction maps for the reforestations of Paricá.

## 1. INTRODUÇÃO

Com a difusão do cultivo do paricá através da monocultura em amplas áreas, a ocorrência de problemas silviculturais começa a se tornar uma realidade. Há uma grande necessidade de estudos voltados para o acompanhamento de questões básicas de manejo, como métodos de preparo do solo, dimensionamento de adubação, técnicas de inventário e monitoramento das adversidades que levem à supressão de plantas.

A cigarra (*Quesada gigas* Oliver) é a principal praga da cultura do paricá. A presença de grandes populações deste inseto vem sendo associada a fatores provocantes de injúria e morte de árvores nesta cultura. O acompanhamento da demografia deste inseto é uma prática corriqueira nos reflorestamentos localizados nas proximidades do município de Dom Eliseu – PA.

Através de unidades amostrais (pontos amostrados) no interior dos plantios, são gerados mapas de dispersão da praga nos talhões, e a partir destes mapas são tomadas decisões a respeito do controle, sendo as informações de suma importância para a redução das perdas provocadas pela mortalidade associada à ocorrência das cigarras.

A contagem das cigarras nas unidades amostrais é uma tarefa onerosa e imprecisa. As larvas dos insetos se instalam em galerias no interior do solo e nesta fase de ninfa usam-se das raízes do paricá para extrair a seiva que lhes serve de alimento. A necessidade de contar o número de cigarras no solo inviabiliza a utilização de grande número de unidades amostrais para a geração dos mapas. Além disso, a dificuldade em encontrar os insetos dentro do solo torna a tarefa inexata e compromete a validação dos mapas de dispersão do inseto nos plantios.

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivos:

- Estudar a ocorrência de cigarras em povoamentos de paricá através de análise espacial de dados geográficos;
- Avaliar os efeitos da variação na intensidade amostral e na composição das unidades amostrais na precisão de mapas de quantidade de cigarras por árvore em reflorestamentos de paricá;
- Testar os interpoladores Krigagem Ordinária e Inverso do Quadrado da Distância para a geração destes mapas.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Caracterização do paricá

O paricá é uma espécie da família das leguminosas (Fabaceae), nativa da floresta amazônica sul-americana. Ele apresenta tronco alto e liso, elevado fator de forma e a casca é cinza, com tonalidade bastante clara. A espécie pode alcançar de 20 a 30 metros de altura e atingir até um metro de diâmetro. Apresenta copa galhosa formando uma abóbada perfeita, no entanto, a pouca densidade de folhas não garante a completa cobertura contra a insolação, permitindo que um sub-bosque bastante exuberante se desenvolva em sua sub-superfície. A madeira tem coloração branca amarelada, de superfície lisa e que permite a produção de material com acabamento sedoso (Lima, 2003).

De acordo com Le Coint (1947), sendo uma planta de crescimento rápido, o paricá apresenta madeira com densidade baixa, em torno de  $30 \text{ g/cm}^3$ , com boa qualidade para ser aplicada na fabricação de forros, palito, papel, laminados e compensados. Atualmente, com o advento dos plantios em larga escala, novas vertentes de aplicação estão surgindo, ocorrendo o uso da madeira de paricá para móveis, acabamentos e molduras.

Segundo informações fornecidas por empresas localizadas na região de Dom Eliseu – PA, em plantios bem conduzidos desta região, as árvores apresentam altura em torno de 25 metros, com diâmetro (DAP) aproximado de 25 centímetros ao final do sétimo ano após o plantio, período este, definido aproximadamente pelos informantes como idade de corte para os plantios da região mencionada.

Para a fabricação de compensados e laminados a madeira do paricá apresenta excelentes propriedades físicas e texturais, não necessitando ser cozido para o torneamento e a madeira branca e leve oferece, ao final do processo de fabricação do compensado, um produto com ótimo acabamento.

Segundo informações obtidas junto às principais empresas produtoras de compensado localizadas na região de Dom Eliseu – PA, a madeira do paricá permite uma redução significativa nos custos de produção do compensado, pois reduz extremamente as despesas de colheita e transporte, pela homogeneidade e boa localização dos reflorestamentos e pela redução dos custos durante a industrialização da madeira. Assim, as empresas que produzem compensado à base de paricá conseguem

lançar seus produtos no mercado externo e interno a custos reduzidos se comparadas a outras que usam madeiras da floresta nativa, forçando todo o setor a procurar alternativas para a redução dos custos de produção.

## 2.2. Generalidades sobre as cigarras

As cigarras são insetos comumente encontrados em ambientes silvestres. Com a supressão da floresta e alteração do ecossistema, as cigarras podem adaptar seu hábito alimentar e passar a atacar de forma generalizada plantações de espécies cultivadas, tornando-se pragas (Martinelli & Zucchi, 1997).



Figura 1: Cigarra *Quesada gigas* (Oliver) em sua fase adulta.

Segundo Zanuncio et al. (2004), em meados de 2002, cigarras da espécie *Quesada gigas* (Oliver) (Figura 1) foram registradas em plantações de *Schizolobium amazonicum* (Huber ex Ducke) nos municípios de Itinga do Maranhão - MA e Paragominas - PA, atacando o sistema radicular das plantas e provocando danos severos em amplas áreas de reflorestamento. De acordo com o mesmo autor, nesta mesma ocasião, foi verificado que as plantas apresentavam sintomas de quedas de

folhas e redução do crescimento provocado pela presença dos insetos, sintomas estes similares aos danos causados por este mesmo inseto em lavouras de café.

Dentre as diversas espécies de cigarras, a *Quesada gigas* (Oliver) é a que se associa ao paricá adulto. Estas são insetos notáveis, principalmente pelo som que os machos emitem, com o propósito de atrair as fêmeas para o acasalamento. Isto se verifica no período de reprodução, onde os insetos adultos são mais ativos e a simbalização produzida por eles ecoa pelo interior das florestas e reflorestamentos, com intensidade dependente do tamanho da população de adultos localizados na área (Maccagnan, 2003).

O acasalamento ocorre principalmente no início de períodos quentes, quando as cigarras adultas estão no auge de suas atividades. Por serem aladas nesta fase, as cigarras podem se dispersar por amplas áreas. A cópula ocorre em árvores isoladas e é comum as cigarras migrarem para o interior de florestas adjacentes com folhagens mais densas, dificultando qualquer tipo de coleta, amostragem ou mecanismo de controle que se aplique a esta fase de vida do inseto (Maccagnan, 2003).

O período de vida dos insetos adultos é de dois ou três meses, sendo considerado efêmero se comparado à longevidade dos insetos na fase ninfal no interior do solo (BOULARD, 1965). Para as cigarras associadas ao café, supõe-se que o período ninfal varie entre três e quatro anos (Fonseca, 1945). Não existem, na literatura brasileira, registros de pesquisas que apontem detalhes a respeito do ciclo biológico destas cigarras, no entanto, na Argentina foi determinado o período ninfal da espécie *Fidicina mannifera* de seis anos, associada à erva mate (Maccagnan, 2003).

Observações práticas de técnicos e profissionais que conduzem reflorestamentos, localizados no município de Dom Eliseu – PA, sugerem que as cigarras associadas ao paricá tenham uma fase ninfal de aproximadamente dois anos. Isto pode ser justificado por diferenças na disponibilidade de seiva ou de elementos nutritivos contidos nela, quando se compara o paricá com outras espécies. Nestes mesmos reflorestamentos foram observadas ninfas de cigarras de tamanho consideravelmente grande a partir do terceiro ano após o plantio. Deste período em diante, o paricá se torna sujeito aos efeitos da *Quesada gigas* (Oliver). Não existem indícios de problemas com infestação de cigarras ou de danos causados por elas em reflorestamentos de paricá com idade inferior a três anos.

Segundo BEAMER (1928), o início da instalação das cigarras no sistema radicular das plantas hospedeiras se dá quando as larvas eclodem a partir de ovos

instalados em ramos e galhos secos da superfície do solo. Estas larvas - ainda minúsculas, com cerca de 2,2 milímetros de comprimento - tem comportamento geotrópico positivo e descem destes galhos e penetram em aberturas dos solos tateando o seu interior com suas longas antenas à procura de raízes (Maccagnan, 2003). Ainda segundo Beammer (1928), após encontrar um local adequado, a ninfa se utiliza de suas patas anteriores, adaptadas a esta tarefa, para retirar pequenas partículas de terra que comprime contra o seu corpo e depois prensa contra as paredes da galeria permitindo a construção da mesma. O líquido anal secretado pela ninfa também auxilia na construção da galeria (Boulard, 1965).

De modo geral, as galerias são cilíndricas, dispostas verticalmente para o interior do solo e seu comprimento é muitas vezes maior que o seu diâmetro (Maier, 1980). As larvas muito jovens das cigarras associadas ao paricá não fazem galerias em formato cilíndrico e alongado, por causa da sua pouca capacidade de escavação, se instalando em orifícios circulares bem próximos á superfície do solo e de tamanho pouco maior que seu corpo (Figura 2).



Figura 2: Ninfas de *Quesada gigas* (Oliver) no interior de suas galerias, descobertas pela remoção da superfície do solo.

Segundo seus aspectos morfológicos e comportamentais, os estudiosos da entomologia dividem a fase jovem da *Quesada gigas* (Oliver) em cinco ínstaes (fases). O primeiro é o período de recém eclosão dos ovos quando a cigarra ainda está se instalando no solo. Neste ínstar as larvas têm aproximadamente 2,2 milímetros de

comprimento. No segundo ínstar elas tem cerca de 4,2 milímetros e ainda são difíceis de serem observadas nos solos. A partir do terceiro ínstar, quando atingem aproximadamente oito milímetros de comprimento, as larvas já são mais facilmente observadas. No quarto ínstar as larvas atingem cerca de 15 milímetros e ainda se apresentam com coloração branca e abdômen bem mais largo que o tórax. No quinto ínstar, com cerca de 25 milímetros de comprimento, a coloração da *Quesada gigas* (Oliver) muda para um amarelo pardo e o tórax fica mais espesso, da mesma grossura do abdômen e a cigarra está pronta para sair do solo e subir pelo tronco de alguma planta (geralmente a própria hospedeira) e sofrer metamorfose, se tornando alada e deixando preso no tronco da planta sua última exúvia (esqueleto externo dos insetos, exoesqueleto). Em todos os ínstars desta fase jovem, a cigarra não tem mobilidade horizontal no solo, ela apenas se locomove verticalmente dentro das galerias (Maccagnan, 2003).

### **2.3. Distribuição espacial de pragas e seus efeitos na amostragem**

A amostragem é um elemento do manejo de pragas essencial para o processo de tomada de decisão. Atualmente, com o avanço tecnológico é possível realizar um controle mais eficiente e barato com menos danos ao meio ambiente. Para isto, é fundamental avaliar o tamanho da população de insetos e como estes estão distribuídos dentro do espaço ocupado pela cultura. Este conhecimento permite que sejam planejadas estratégias (quando, onde, como e com que intensidade) de controle.

Os métodos de amostragem de insetos variam de acordo com o comportamento e idade dos mesmos. Segundo Zambolim (2002) a amostragem para o manejo integrado de pragas deve ser realizada durante o pico populacional das pragas que é geralmente quando elas provocam os maiores danos às culturas.

Kishita et al. (2003) sugeriram inovações nas técnicas de amostragem para monitorar o coleóptero *Melanotus okinawensis* (Ohira) que ataca os brotos subterrâneos da cana-de-açúcar. Estes autores recomendaram definir os mapas de quantidade de pragas no solo, pois o controle de pragas quase sempre implica na mobilização de grande quantidade de recursos necessários para a aplicação e aquisição de insumos os quais, geralmente, são nocivos ao meio ambiente. No entanto, a definição destes mapas pode nem sempre ser simples.

Gilbert et al. (2001) analisaram a presença do inseto *Dendroctonus micans* em plantações de abeto (árvore da família das pináceas) através de procedimentos geostatísticos. Neste estudo, os autores não conseguiram constatar dependência espacial na distribuição do inseto e sugeriram que a instalação inicial da praga ocorre de maneira aleatória e que as gerações sucessivas apresentam preferência por atacar as mesmas árvores atacadas por suas precursoras.

Estes mesmos autores comentam ainda, que esta aleatoriedade de distribuição, pode estar relacionada a fatores ambientais desconhecidos que estejam relacionados às pragas, como a maior susceptibilidade de determinadas plantas ou à qualidade de elementos da seiva, que possam tornar algumas plantas mais atrativas que outras. Estes autores sugerem que análises espaciais mais amplas sejam realizadas, através de metodologias que contextualizem não somente a quantidade da praga, mas também outros fatores relacionados a esta quantidade.

Em um novo trabalho, Gilbert & Grégoire (2003) confirmaram algumas pressuposições citadas no parágrafo anterior, obtendo alta relação espacial para a distribuição da mesma praga através da detecção e uso de fatores ambientais relacionados à presença do inseto.

Gilbert & Grégoire (2003) também concluíram que a dependência espacial de populações de insetos no ambiente é influenciada pela capacidade de dispersão dos mesmos, logo insetos com capacidade de vôo mais ampla em sua fase reprodutiva, tendem a se dispersar mais aleatoriamente do que insetos com menor capacidade móvel, estes últimos tendem a se agrupar em reboleiras e a ter distribuição espacial mais constante.

Em oposição, segundo Isaaks & Srivastava (1989), frequentemente, dados amostrais podem não demonstrar um modelo de continuidade espacial claramente definido. No entanto, a falta desta evidencia na estrutura das amostras disponíveis não justifica o uso de modelos de funções aleatórias não correlacionadas espacialmente. Em grupos de dados de ciências relacionadas ao ambiente sempre existe algum modelo de continuidade espacial. Isto talvez não esteja evidente nas amostras disponíveis, devido ao seu número insuficiente, aos erros de amostragem, às observações discrepantes ou aos possíveis “outliers”.

## 2.4. Conceitos de análise espacial de dados geográficos

A análise espacial de dados geográficos está fundamentada sobre o preceito que Tobler (1970) chama de a primeira lei da geografia: *“todas as coisas são parecidas, mas coisas mais próximas se parecem mais que coisas mais distantes”*. Baseadas nesta pressuposição, muitas técnicas são desenvolvidas para geração de superfícies contínuas a partir de unidades amostrais pontuais, métodos estes conhecidos como procedimentos de interpolação. Estes procedimentos exploram a relação espacial entre unidades amostrais para gerar estimativas de outros pontos intermediários cujos valores são desconhecidos.

Estes conhecimentos são de grande valia para estudar determinados fenômenos para os quais, devido à dificuldade de se avaliar toda uma área de maneira absoluta, ou seja, em toda a sua extensão, são usadas unidades amostrais pontuais distribuídas dentro da área para estimar os valores intermediários, o que permite reduzir os custos do monitoramento de fenômenos ambientais (Matheron, 1971).

Procedimentos desta natureza são aplicados por órgãos de pesquisa e censitários no monitoramento sanitário para gerar mapas de distribuição de focos de doenças, crimes e outros elementos sociais. Estes procedimentos também são aplicados em estudos ambientais para o estudo de características dos solos, águas, ar, distribuição de animais e plantas (Matheron, 1971).

De acordo com Isaaks & Srivastava (1989), muitos dos processos de interpolação, inclusive os mais eficientes, se baseiam na estimação dos valores desconhecidos a partir da média ponderada de valores próximos a eles, conforme exemplificado na Figura 3, onde os valores dos 11 pontos na figura serão usados para estimar o valor no ponto vermelho, cujo valor X é desconhecido. Neste caso, valor X será uma média ponderada dos outros 11 valores. A diferença entre os métodos de interpolação, geralmente se baseia no procedimento para estimar os pesos dos valores observados a serem utilizados para se gerar o mapa de interpolação. Alguns métodos levam em consideração somente a distância entre os pontos para a atribuição dos pesos, enquanto outros levam além da distância, a tendência de distribuição do fenômeno no espaço como um todo.

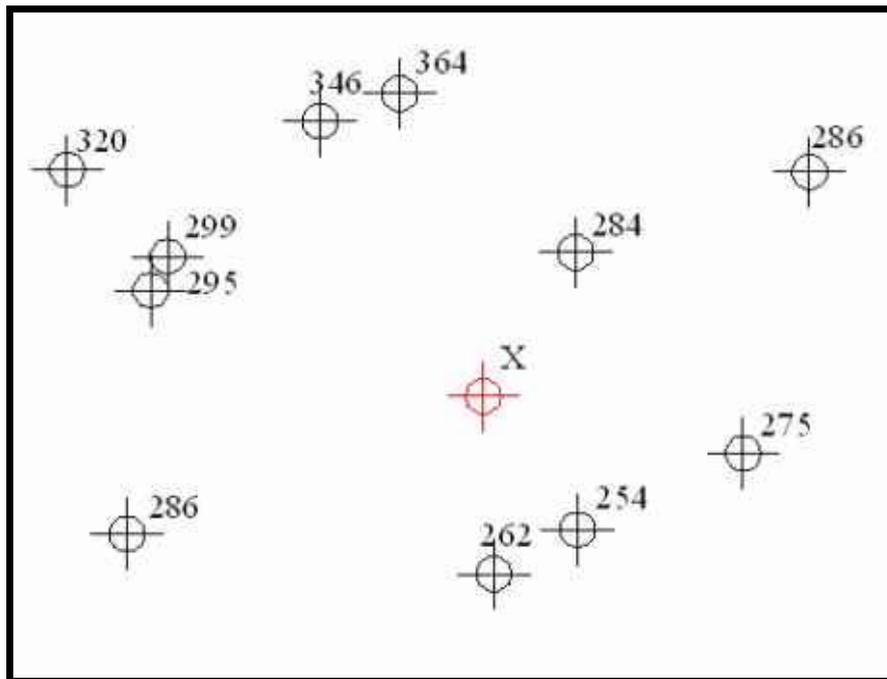


Figura 3: Representação gráfica de pontos amostrados (unidades amostrais) e um ponto não amostrado “X”.

Desde o início do século, a variabilidade espacial de algumas características dos solos vem sendo objeto de preocupação de muitos pesquisadores. Os procedimentos adotados na época baseavam-se no uso de parâmetros como média e desvio padrão para explicar a dispersão de variáveis espacialmente distribuídas, considerando-se a hipótese principal de que as variações de um local para outro fossem de caráter aleatório (Câmara et al., 2002).

Segundo Burrough (1987), muitos métodos tradicionais de interpolação se baseiam em funções matemáticas simples, que são facilmente implementadas e de execução razoavelmente rápida, como o método da triangulação, média local das unidades amostrais, o método do vizinho mais próximo e o inverso do quadrado da distância. Tais procedimentos, no entanto, deixam a desejar sob o ponto de vista que não respondem a respeito de qual o tamanho do raio de influência das unidades amostrais, além de não permitirem ao analista saber qual o erro de estimação associado aos valores gerados. Tais métodos também não consideram a influência de outro fator que não a distância entre os pontos para atribuir pesos na ponderação dos cálculos.

Krige (1951), trabalhando com dados de concentração de ouro, concluiu que somente a informação dada pela variância seria insuficiente para explicar o fenômeno em estudo. Para tal, seria necessário levar em consideração a distância entre as

observações. A partir daí surge o conceito da geoestatística, que leva em consideração a localização geográfica e a dependência espacial.

#### 2.4.1. Variáveis regionalizadas

Matheron (1963, 1971), baseado nas observações de Krige, desenvolveu a teoria das variáveis regionalizadas, a partir dos fundamentos da geoestatística.

A teoria das variáveis regionalizadas pressupõe que a variação de uma variável 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 (Burrough, 1987).

Segundo o mesmo autor, se  $\mathbf{x}$  representa uma posição em uma, duas ou três dimensões, então o valor da variável  $Z$ , em  $\mathbf{x}$ , é dado por:

$$Z(\mathbf{x}) = m(\mathbf{x}) + \varepsilon'(\mathbf{x}) + \varepsilon''$$

Onde:

- $m(\mathbf{x})$  é uma função determinística que descreve a componente estrutural de  $Z$  em  $\mathbf{x}$ .
- $\varepsilon'(\mathbf{x})$  é um termo estocástico, que varia localmente e depende espacialmente de  $m(\mathbf{x})$ .
- $\varepsilon''$  é um ruído aleatório, com distribuição normal com média zero e variância  $\sigma^2$ .

As variáveis regionalizadas usadas na geoestatística apresentam características peculiares que as diferenciam de variáveis comuns, conforme descritas a seguir por Câmara et al. (2002):

**Localização** = uma variável regionalizada é representada por um valor o qual apresenta tamanho, forma e orientação específicas. Estas características das variáveis regionalizadas caracterizam seu suporte geométrico, quando este tende a zero, tem-se uma unidade amostral pontual ou imaterial. Assim, as variáveis regionalizadas levam em consideração a geometria das unidades amostrais, o que não é observado na estatística clássica.

**Anisotropia** = algumas variáveis regionalizadas são anisotrópicas, ou seja, apresentam comportamento de distribuição diferenciado para as diferentes direções consideradas. Estes comportamentos são considerados no contexto de estudos destas variáveis.

**Continuidade** = sendo as unidades amostrais consideradas em séries ou grupos de dados, duas ou mais séries podem ainda apresentar valores e geometria semelhantes, sendo diferenciadas apenas pela ordem de distribuição.

#### 2.4.2. Semivariograma

Segundo Câmara et al. (2002), o semivariograma permite analisar a continuidade de variáveis regionalizadas, através da representação quantitativa da variação de um fenômeno regionalizado no espaço, servindo de suporte para aplicação das técnicas de krigagem.

O semivariograma é estimado a partir da fórmula (Câmara et al., 2002):

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

Onde:

$\hat{g}(h)$ ? é o semivariograma

$h$ ? representa cada distância considerada entre quaisquer dois pontos

$N(h)$ ? número de repetições para cada  $h$

$Z(x_i)$ ? valor da variável  $Z$  medida em um local representado por  $x_i$

$Z(x_i + h)$  ? valor da variável  $Z$  medida em um local distanciado de  $x_i$  por uma distância  $h$

Quando a distribuição das unidades amostrais é sistemática, ou seja, respeitando uma grade de amostragem, as distâncias  $h$  referentes às unidades amostrais são mais regulares, ou seja, têm-se distâncias fixas para as quais  $h$  se repete várias vezes. No entanto, quando a amostragem é aleatória as distâncias  $h$  são muito variáveis e dificilmente se encontram  $h$  repetidos. Para efetuar o cálculo do semivariograma para estes casos, devem-se estabelecer faixas de tolerância para o valor de  $h$ . Por exemplo, considerando um intervalo de 100 metros; os  $h$  que estiverem compreendidos entre 50 e 150 metros pertencerão ao intervalo 100, os que estiverem compreendidos entre 150 e 250 metros pertencerão ao intervalo 200 e assim por diante. O tamanho e o número de intervalos usados na análise são variáveis importantes, pois o tamanho afeta o valor do semivariograma calculado para cada intervalo e estas duas variáveis afetam a configuração do gráfico do semivariograma experimental, conforme apresentado na Figura 4 (Druck et al., 2004).

A representação gráfica do semivariograma em função de  $\mathbf{h}$  pode ser exemplificada pela Figura 4.

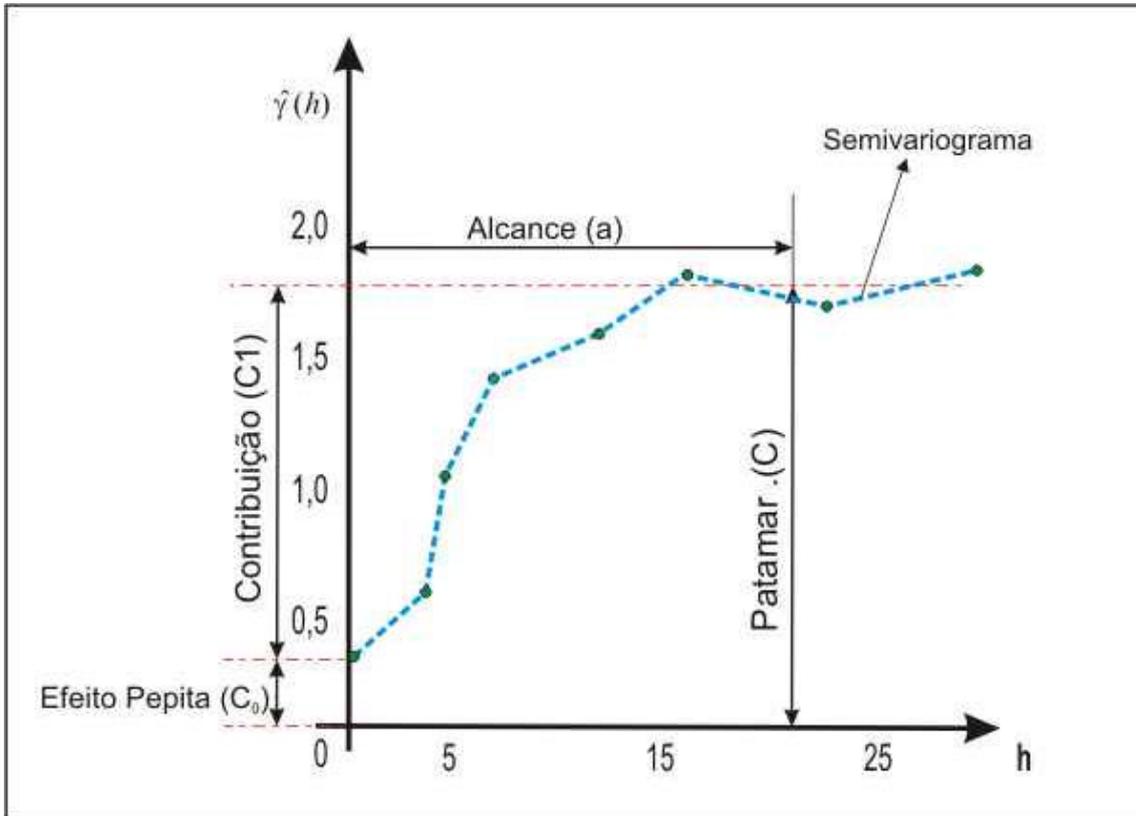


Figura 4: Representação gráfica do semivariograma  $\hat{\gamma}(h)$  em função da distância ( $h$ ).

A natureza do comportamento do semivariograma permitirá inferir sobre a distribuição do fenômeno no espaço através de modelos explicativos da variação deste. Posteriormente, a aplicação destes modelos através de técnica como a krigagem permitirá gerar padrões de distribuição do fenômeno bem mais consistentes (Câmara et al., 2002).

Ainda de acordo com (Câmara et al., 2002), alguns parâmetros importantes do semivariograma são definidos a seguir e podem ser observados na Figura 4:

- *Patamar (C)*: é o valor do semivariograma correspondente a seu *alcance (a)*. Deste ponto em diante, considera-se que não existe mais dependência espacial entre as unidades amostrais, porque a variância da diferença entre pares de unidades amostrais ( $\text{Var}[Z(\mathbf{x}) - Z(\mathbf{x}+\mathbf{h})]$ ) torna-se constante com a distância.

- *Efeito Pepita (C0)*: Por definição, para  $h = 0$ , o valor de  $\gamma(\mathbf{h})$  é zero. Entretanto, na prática, à medida que  $\mathbf{h}$  tende para zero,  $\gamma(\mathbf{h})$  se aproxima de um valor positivo chamado *Efeito Pepita (C0)*. O valor de  $C_0$  revela a descontinuidade do semivariograma

para distâncias menores do que a menor distância entre as unidades amostrais. Uma parte desta descontinuidade pode ser devida a erros de medição, mas outra parte dela pode ocorrer devido à variabilidade em pequena escala não captada pela amostragem. Se boa parte da variabilidade responsável pela dependência espacial estiver presente abaixo desta menor distância entre as unidades amostrais, então o efeito pepita será alto e será necessário adensar a amostragem para captar a dependência espacial.

De acordo com Isaaks & Srivastava (1989), o valor do efeito pepita pode ser um indicativo de fraca dependência espacial, pois à medida que ele aumenta e conseqüentemente se aproxima do valor do patamar, a dependência espacial enfraquece, pois os pesos dos diferentes pontos amostrados, usados na estimativa de um dado ponto não amostrado, tornam-se semelhantes. Conseqüentemente, as estimativas da Krigagem Ordinária, a ser discutida a frente, tornam-se parecidas com as de métodos que não levam em consideração a tendência de distribuição espacial dos pontos amostrados.

- *Contribuição ( $C_1$ )*: é a diferença entre o patamar ( $C$ ) e o Efeito Pepita ( $C_0$ ).

- *Alcance ( $a$ )*: é a distância dentro da qual as unidades amostrais apresentam-se correlacionadas espacialmente. Isto significa que para distâncias maiores que o alcance as variações do fenômeno são aleatórias e não podem mais ser explicadas pelo modelo.

Isaaks & Srivastava (1989) relataram que a avaliação do alcance, a exemplo do efeito pepita, pode também servir de indicativo a respeito da presença de dependência espacial nos pontos amostrados. Segundo estes autores, quando o alcance de um dado modelo de semivariograma tende a ser muito reduzido, os pesos associados aos pontos amostrados usados na predição do ponto não amostrado tendem também a se igualar, pois as distâncias estatísticas entre os diferentes pontos amostrados e o ponto não amostrado vão ficando cada vez mais semelhantes. Isto caracteriza a mesma tendência que ocorre com o aumento do efeito pepita, onde as estimativas produzidas através da krigagem ordinária tendem a se aproximar das estimativas de outros interpoladores mais simples, como o inverso do quadrado da distância. Na Figura 4, o alcance ocorre próximo de 25 unidades de distância.

Alguns modelos de distribuição do semivariograma são demonstrados na Figura 5 e descritos na seqüência:

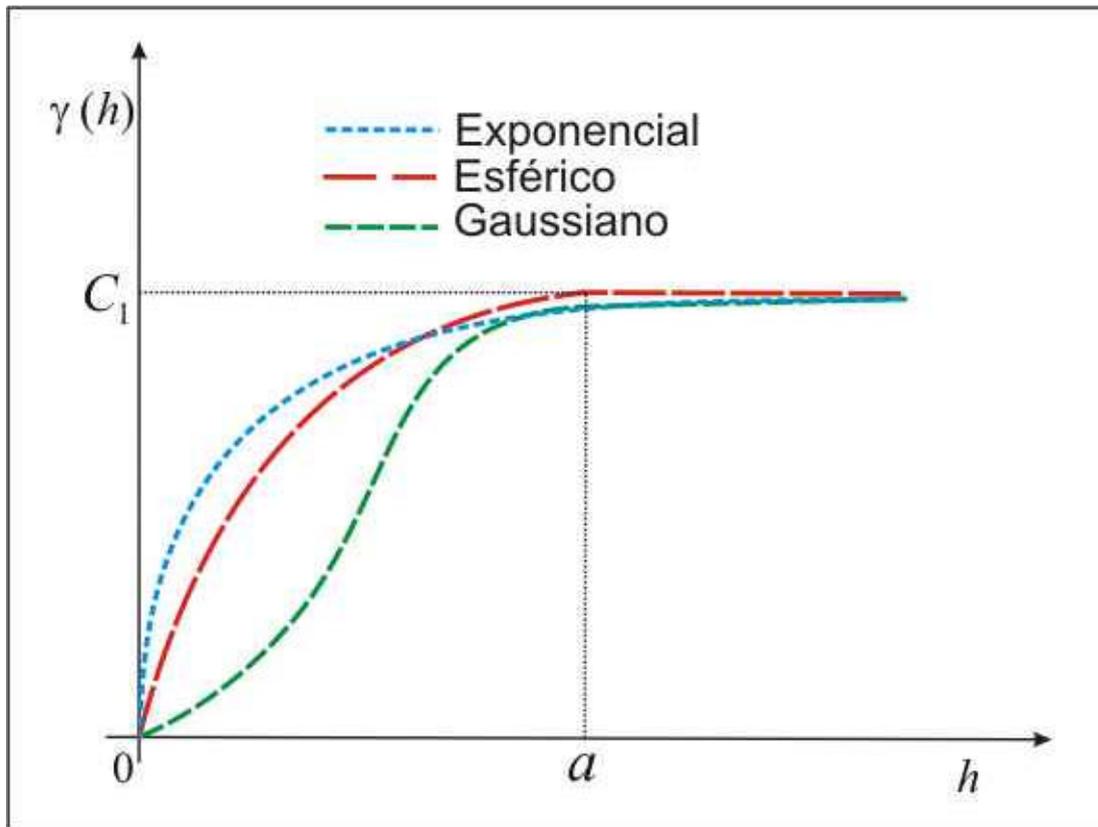


Figura 5: Alguns dos principais modelos de semivariograma, mais comumente encontrados em softwares de geoprocessamento.

- Modelo Exponencial

O modelo exponencial é um dos mais utilizados, e sua representação gráfica é apresentada na Figura 5. Este modelo indica existir grande variação para pequenos intervalos de distância, ou seja, a variável em estudo apresenta pequena continuidade. A equação normalizada deste modelo é:

$$g(h) = \begin{cases} 0 & , h = 0 \\ C_0 + C_1 \left[ 1 - \exp \left( - \frac{3 \cdot h}{a} \right) \right] = C_0 + C_1 [Exp(h)] & , h \neq 0 \end{cases}$$

Onde:

$C_0$  = valor do efeito pepita

$C_1$  = valor do patamar

$a$  = alcance

$h$  = distância considerada

- Modelo Esférico

Um outro modelo bastante utilizado é o esférico, o qual também tem sua representação gráfica na Figura 5. Este modelo indica existir grande variação para pequenos intervalos de distância, porém em menor proporção que a apresentada pelo modelo exponencial. A equação normalizada deste modelo é:

$$g(h) = \begin{cases} 0 & , h = 0 \\ C_0 + C_1 \left[ \frac{3}{2} \left( \frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left( \frac{h}{a} \right)^3 \right] = C_0 + C_1 [Sph(h)] & , 0 \leq h \leq a \\ C_0 + C_1 & , h > a \end{cases}$$

- Modelo Circular de Semivariograma:

Também representa variação espacial razoavelmente alta, sendo este bastante semelhante ao esférico. Sua formulação é:

$$g(h) = \begin{cases} 0 & , h = 0 \\ \frac{2(C_0 + C_1)}{\rho} \left[ \frac{h}{a} \sqrt{1 - \left( \frac{h}{a} \right)^2} + \arcsin \frac{h}{a} \right] = C_0 + C_1 [Cir(h)] & , 0 \leq h \leq a \\ C_0 + C_1 & , h > a \end{cases}$$

- Modelo Gaussiano

O que caracteriza este modelo é seu comportamento parabólico próximo à origem, conforme apresentado na Figura 5. Sua feição indica existir pequena variação para pequenos intervalos de distâncias, quando comparado aos modelos exponencial e esférico. Esta característica faz com que o modelo gaussiano seja usado para estudar fenômenos extremamente contínuos. Sua formulação é dada por:

$$g(h) = \begin{cases} 0 & , h = 0 \\ C_0 + C_1 \left[ 1 - \exp \left( -3 \cdot \left( \frac{h}{a} \right)^2 \right) \right] = C_0 + C_1 [Gau(h)] & , h \neq 0 \end{cases}$$

### 2.4.3. Krigagem ordinária

A krigagem ordinária é um método de interpolação usado para estimar os valores de uma característica para pontos não amostrados dentro de uma área. O termo krigagem é derivado do nome Daniel G. Krige, que foi o pioneiro na introdução do uso de médias móveis para evitar a superestimação sistemática de reservas de mineração (Delfiner & Delhomme, 1975).

A diferença entre a krigagem ordinária e os outros métodos de interpolação está na maneira de atribuir os pesos aos pontos amostrados usados no processo de interpolação de pontos não amostrados. Na interpolação linear simples, os pesos são todos iguais a  $1/N$  (em que  $N$  = número de pontos amostrais). Por outro lado, na interpolação baseada no inverso do quadrado das distâncias, o peso para cada valor do ponto amostrado é definido como o inverso do quadrado da distância que o separa do ponto não amostrado. Já na krigagem ordinária os pesos são obtidos levando-se em consideração o padrão da dependência espacial existente para o fenômeno em estudo que é expressa pelo modelo de semivariograma adotado. Segundo Isaaks & Srivastava (1989), a krigagem ordinária é um estimador linear não tendencioso que visa a minimização da variância do erro das estimativas.

A escolha de um modelo de covariância ou modelo de semivariograma é um pré-requisito para realizar a krigagem ordinária, pois é a partir de um modelo de semivariograma que serão estimadas as covariâncias que irão compor as matrizes C e D usados na obtenção do vetor W dos pesos da krigagem ordinária, conforme mostrado a seguir:

$$\begin{matrix}
 & C & & W & = & D \\
 \begin{bmatrix}
 \tilde{C}_{11} & \Lambda & \tilde{C}_{1n} & 1 \\
 M & O & M & M \\
 \tilde{C}_{n1} & \Lambda & \tilde{C}_{nn} & 1 \\
 1 & K & 1 & 0 \\
 4 & 4 & 4 & 3
 \end{bmatrix} & & & \begin{bmatrix}
 w_1 \\
 M \\
 w_n \\
 m
 \end{bmatrix} & = & \begin{bmatrix}
 \tilde{C}_{10} \\
 M \\
 \tilde{C}_{n0} \\
 1 \\
 2 \\
 3
 \end{bmatrix} \\
 & (n+1) \times (n+1) & & (n+1) \times 1 & & (n+1) \times 1
 \end{matrix}$$

Na krigagem ordinária os pesos e a minimização da variância são diretamente dependentes da escolha de um modelo e a escolha do modelo pode levar mais tempo do que o restante do processo, visto que não existe um método quantitativo para defini-lo. Em muitos casos, a escolha do modelo é baseada em uma interpretação subjetiva da continuidade espacial (Isaaks & Srivastava, 1989).

Segundo Druck et al. (2004), uma vez definido o modelo de covariância e calculados os pesos  $w_i$  atribuídos a cada vizinho  $Z(u_i)$  usado na estimativa do valor desconhecido  $\hat{Z}(u_0)$ , este é calculado através da ponderação:

$$\hat{Z}(u_0) = \sum_{i=1}^n w_i Z(u_i) \quad , \quad \text{com} \quad \sum_{i=1}^n w_i = 1$$

#### **2.4.4. Inverso do quadrado da distância (IQD)**

O interpolador do inverso do quadrado da distância (IQD) é de uso muito comum para interpolação devido à simplicidade teórica de sua formulação bem como devido ao rápido processamento para a geração de grandes bases de dados (Druck et al., 2004).

Baseado em relação simples entre os pontos amostrados, suas distâncias e os pontos não amostrados, este interpolador usa o inverso do quadrado da distância entre o ponto não amostrado e pontos amostrados para atribuir o peso para cada um dos pontos amostrados. Desta forma, pontos mais distantes do ponto não amostrado contribuem menos que pontos mais próximos e vice-versa (Câmara et al., 2002). O valor para um ponto não amostrado ( $G_0$ ) é obtido por:

$$G_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{X_i}{d_i^2} \right)}{\sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{d_i^2} \right)}$$

Onde,

$G_0$  = Valor para um ponto “0” não amostrado;

$X_i$  = Valor do i-ésimo ponto amostrado;

$d_i$  = Valor da distância entre o i-ésimo ponto amostrado e o ponto não amostrado “0”.

Dependendo da quantidade de pontos amostrados envolvidas no cálculo de cada ponto não amostrado, o procedimento torna-se mais ou menos demorado (Druck et al., 2004). Alguns softwares possibilitam escolher a quantidade de pontos amostrados que serão utilizados na estimativa de um ponto não amostrado, o que permite ao analista, baseado em sua experiência e no conhecimento do fenômeno analisado, escolher a quantidade mais conveniente (Druck et al., 2004). No entanto, ao se usar este método, não é possível estabelecer o raio de influência de um ponto amostrado dentro da área estudada. Na krigagem ordinária o raio de influência é estabelecido pelo alcance do semivariograma (Câmara et al., 2002).

#### **2.4.5. Validação cruzada**

A validação cruzada é uma ferramenta que permite avaliar o processo de estimação a partir da avaliação dos erros de estimação oriundos da utilização de tal processo. Este procedimento pode ser útil na escolha do método de interpolação a ser usado, ou mesmo, no caso da krigagem ordinária, para a definição do modelo de semivariograma que melhor descreve a tendência espacial do fenômeno estudado (Isaaks & Srivastava, 1989).

Seu princípio se baseia na comparação entre valores verdadeiros e estimados para a área de estudo. Para isto, cada ponto amostrado é temporariamente removido e é calculada uma estimativa usando os pontos amostrados adjacentes através de um método de interpolação, por exemplo, krigagem ordinária. O desvio entre o valor

estimado e o seu valor verdadeiro é o erro de estimação que permite inferir sobre a validade do método de interpolação (Isaaks & Srivastava, 1989).

Resíduos positivos na validação cruzada indicam superestimação de resultados, enquanto os negativos indicam subestimação; também a partir destes resíduos podem ser calculados outros parâmetros quantitativos de avaliação como a média dos erros (ME) e a raiz quadrada do erro médio (RQEM). Os resultados da validação cruzada podem ser plotados em gráficos de valores preditos e observados e regressões lineares podem ser ajustadas para melhor discutir a relação entre as predições e as observações em questão. Quando os valores dos parâmetros  $b_1$  e  $b_0$  destas regressões, são respectivamente próximos de 1 e 0, a relação entre os valores preditos e observados é alta e os resultados das predições são precisos, ao contrário do que quando ocorre  $b_1$  fica próximo de 0 e  $b_0$  distante de 0 (Isaaks & Srivastava, 1989).

Murphy & Sternitzke (1979) definem os parâmetros, média dos erros e raiz quadrada do erro médio usados na avaliação:

Média dos erros

$$ME = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N (\hat{V}_i - V_i)$$

Onde:

$ME$  = média dos erros

$N$  = números de pontos ou de resíduos

$\hat{V}_i$  = valor estimado

$V_i$  = valor verdadeiro

A média dos erros é um valor importante para avaliação de um método de interpolação, pois quanto mais o seu valor se distâncie de zero, indica o aumento na deriva entre os valores verdadeiros e os preditos pelo mapa, invalidando a sua exatidão. O sinal do erro médio sugere a tendência dos resultados em superestimar (quando positivo) ou subestimar (quando negativos) os valores verdadeiros do fenômeno modelado, como visto anteriormente.

Raiz quadrada do erro médio

$$RQEM = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N (\hat{V}_i - V_i)^2}$$

Onde:

$RQEM$  = raiz quadrada do erro médio

$N$  = números de pontos ou de resíduos

$\hat{V}_i$  = valor estimado

$V_i$  = valor verdadeiro

Esta medida permite avaliar de forma generalizada a exatidão da interpolação, pois seus valores são tanto maiores quanto mais intensas as derivas dos valores estimados em relação aos verdadeiros, em situação ideal o valor da RQEM é igual a 0.

### 3. METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos deste trabalho consistiram das etapas de definição das unidades amostrais, contagem do número de cigarras por árvore nas unidades amostrais, geração dos mapas de dispersão de cigarras através das ferramentas de interpolação e avaliação de métodos de interpolação e estratégias de amostragem.

#### 3.1. Localização da área de estudo

As áreas escolhidas para este estudo foram áreas compostas por reflorestamentos de paricá, presentes em uma propriedade chamada Fazenda Chapadão, localizada no município de Dom Eliseu – PA (Figura 6).

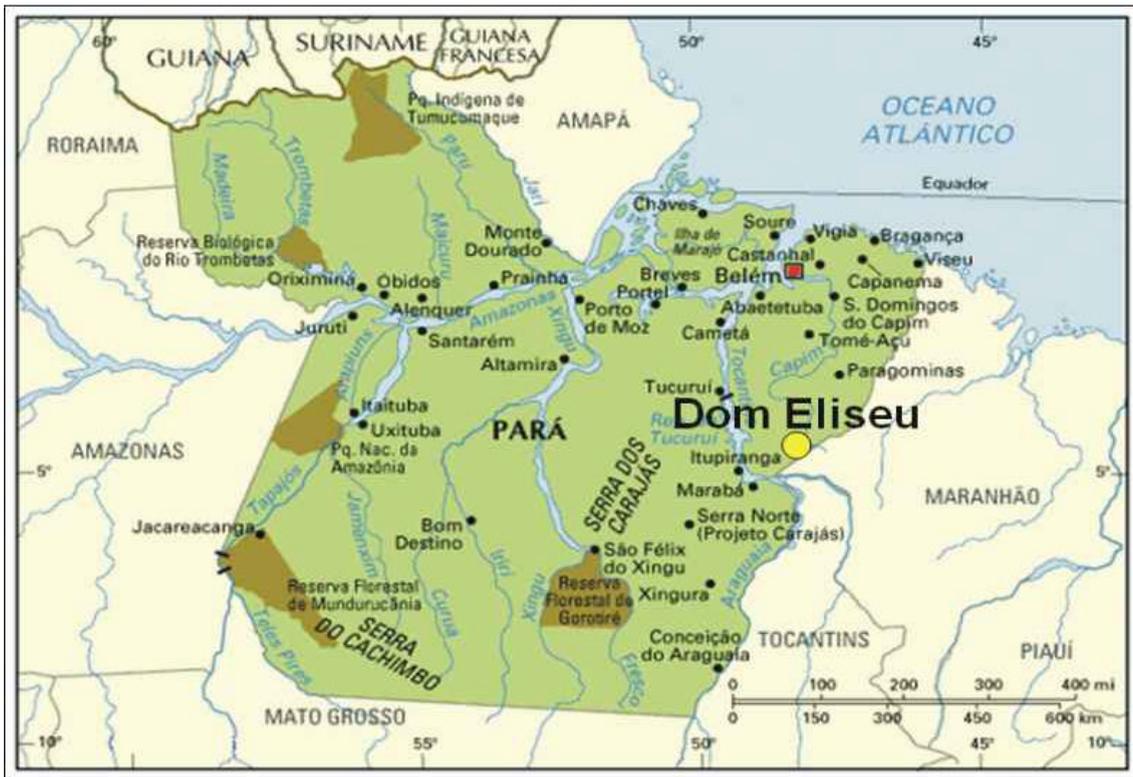


Figura 6: Localização do município de Dom Eliseu – PA.

A propriedade em questão apresentava plantios de paricá com diferentes idades (entre 0 e 7 anos), distribuídos em talhões de tamanhos variados e nem sempre bem

divididos, devido às propriedades da geografia local. A Fazenda Chapadão está localizada aproximadamente na coordenada UTM SAD 1969 (211500, 9551500), zona 23 M (Figura 7).

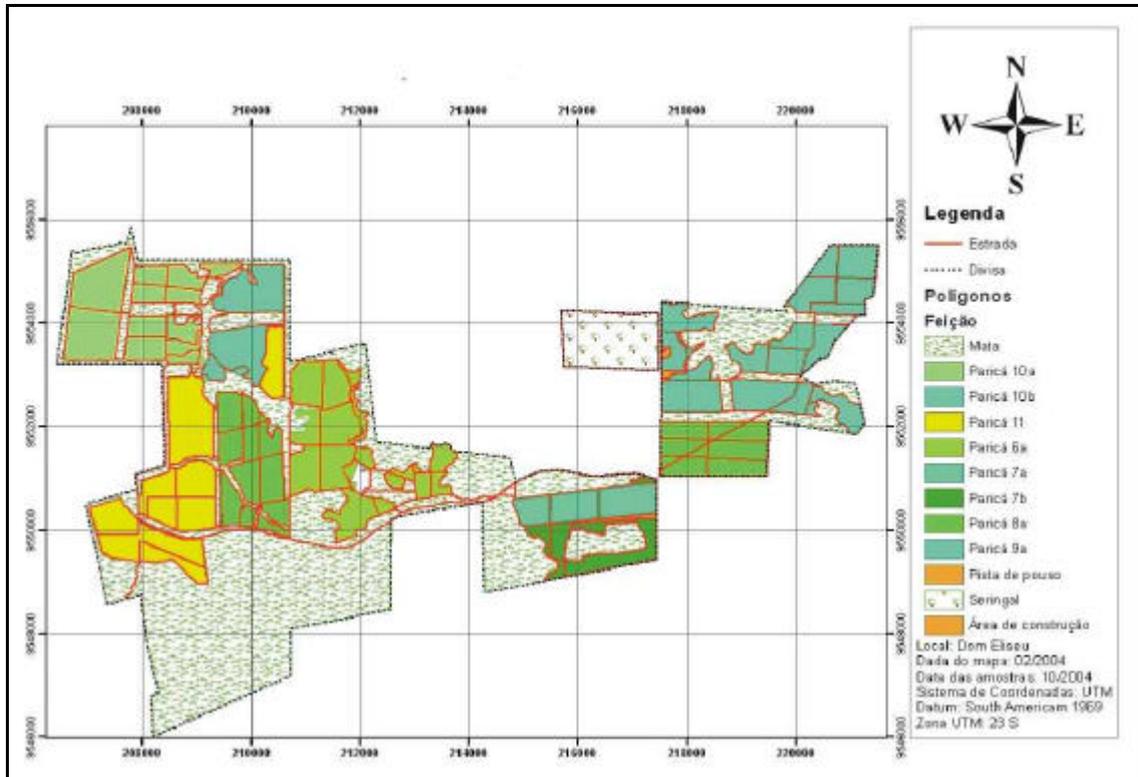


Figura 7: Mapa da Fazenda Chapadão de Dom Eliseu – PA, com discriminação dos diversos plantios de paricá.

### 3.2. Base de dados, softwares e definição das unidades amostrais

A base de dados foi gerada através de arquivos de mapeamento da empresa proprietária da área de estudo. Toda a base de dados se encontra em formato Geodatabase do sistema ArcGIS, usado nesta pesquisa, e cuja extensão é a “.mdb”. Esta base de dados é composta de elementos lineares e poligonais que definem, respectivamente, as estradas e os talhões dentro do reflorestamento. A Figura 7 define uma moldura de dados gerada a partir da base de dados em questão.

Estes elementos que faziam parte da composição da base de dados disponível para o início deste trabalho estavam contidos em três planos de informação (ou “layers” como são mais conhecidos no ramo do geoprocessamento): Dois planos de informação de linhas, um com a rede de estradas e outro com os limites da propriedade e um plano

de informação de polígonos, onde estavam contidos todos os talhões do plantio com seus respectivos atributos.

Além das informações usadas para a constituição da Figura 7, existe dentro da mesma base de dados, um banco de dados relacionado aos elementos gráficos, que define atributos do tipo, comprimento de estradas, área de talhões, idade, espaçamento de plantio, tipo de preparo do solo adotados em cada talhão, etc, informações estas que foram usadas na definição das áreas de estudo.

Estas informações permitiram padronizar algumas das variáveis relacionadas aos plantios: escolhendo-se áreas com espaçamento entre plantas de 5 X 5 metros, com preparo do solo do tipo mecanizado, e com idades iguais a 5 ou 6 anos. Isto resultou na localização das áreas de estudo caracterizadas a seguir:

Na primeira área foi feita uma amostragem em outubro de 2004. Os plantios desta área tinham idades de cinco e seis anos (Figura 8). Esta amostragem seguiu os padrões adotados pelas empresas locais, com a intensidade aproximada de uma unidade amostral a cada 30 hectares, sendo que a distância aproximada entre as unidades amostrais mais próximas foi de 400 metros. Foram usados nesta área 31 unidades amostrais, com uma árvore amostrada em cada uma.

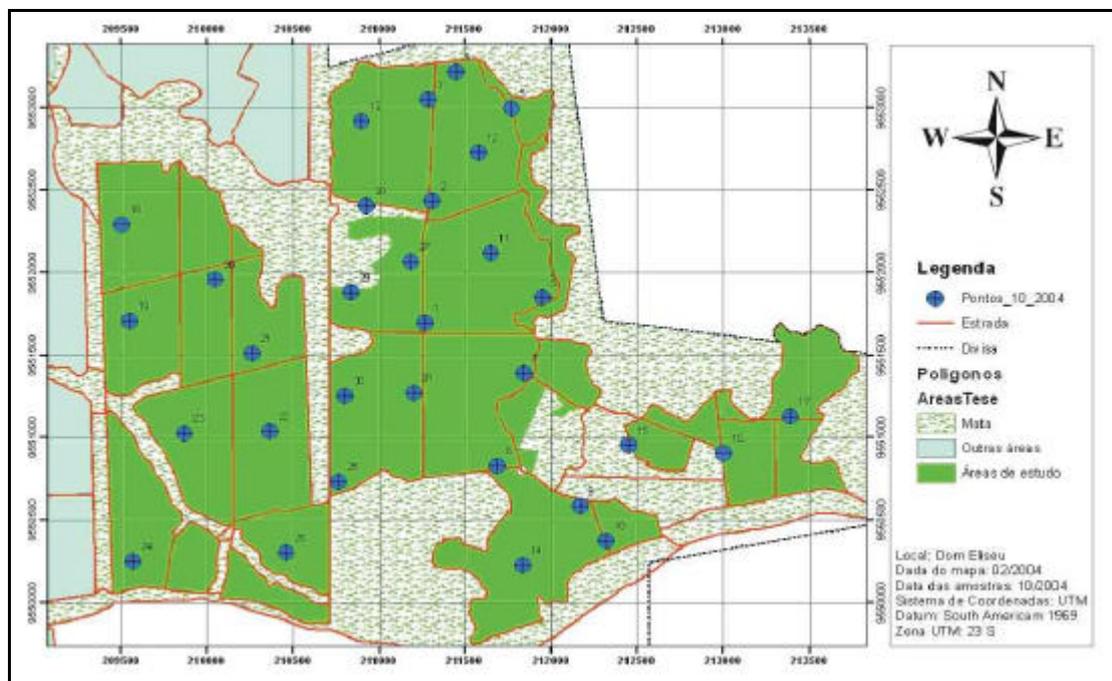


Figura 8: Mapa da Fazenda Chapadão de Dom Eliseu – PA, mostrando as 31 unidades amostrais usadas na amostragem de outubro de 2004.

Na segunda área foi feita a amostragem em julho de 2005, usando a intensidade aproximada de 1 unidade amostral a cada 3 hectares, com uma distância mínima entre unidades amostrais próxima de 200 metros. Esta área apresentava 5,5 anos de idade e foram usadas 25 unidades amostrais dentro de seus 70 hectares, resultando na intensidade amostral mencionada anteriormente (Figura 9). Esta área foi escolhida por apresentar diferentes níveis de infestação de cigarras no seu interior.

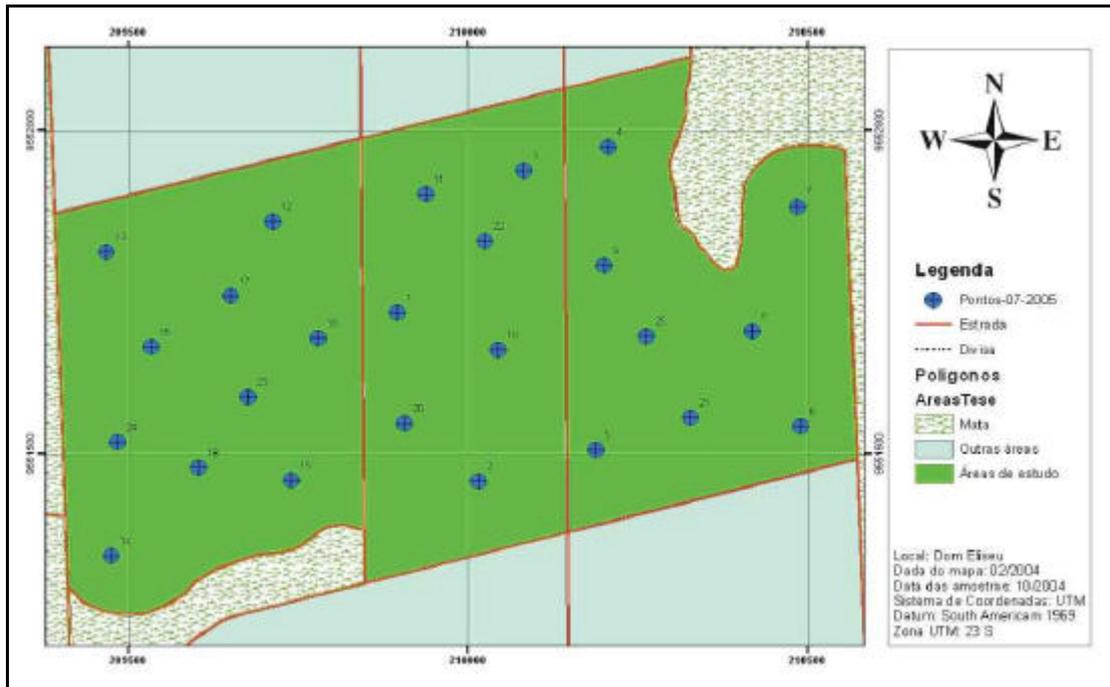


Figura 9: Mapa da Fazenda Chapadão de Dom Eliseu – PA, mostrando as 25 unidades amostrais usadas na amostragem de julho de 2005.

A amostragem de julho de 2005 também teve diferença em relação à de outubro de 2004 quanto à composição das unidades amostrais. Foi feita a contagem em quatro árvores ao invés de uma, as quais se distanciavam do ponto de referência da unidade amostral em 15 metros. A distância entre as plantas vizinhas na unidades amostral foi de 21,21 metros de acordo com esquema demonstrado na Figura 10.

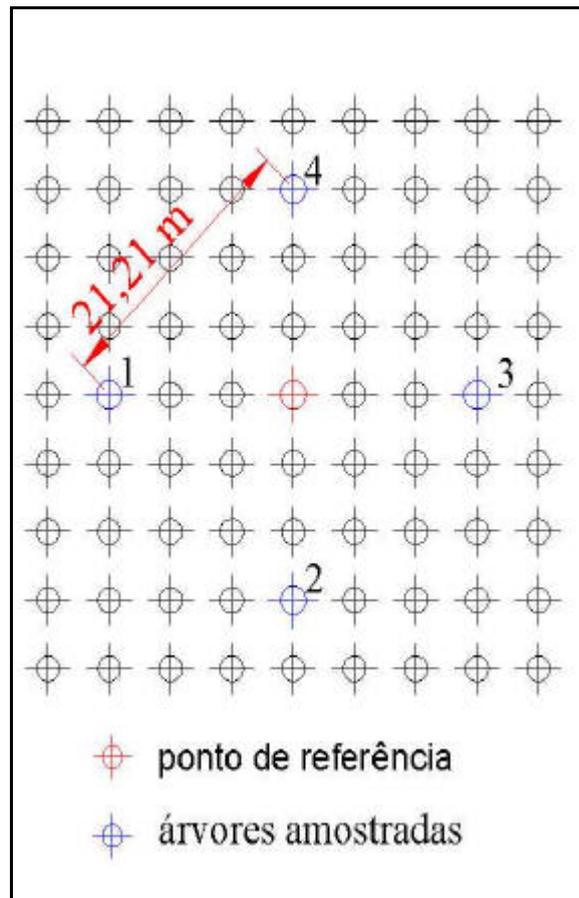


Figura 10: Estratégia de amostragem realizada em julho de 2005, com os pontos indicando as árvores dos plantios. O ponto de referência representa a localização geográfica da unidade amostral.

Pela quantidade de árvores usadas por unidade amostral, a amostragem de julho de 2005 permitiu a avaliação da quantidade de cigarras/árvore sob quatro diferentes estratégias, como é demonstrado no Quadro 1.

Quadro 1 - Estratégias de amostragem variando o número de árvores e a intensidade amostral.

<b>Estratégias de amostragem</b>	<b>Data</b>	<b>Número de árvores</b>	<b>Intensidade amostral</b>
1	outubro de 2004	1 por unidade amostral	1 ponto por 30 hectares
2	julho de 2005	1 por unidade amostral	1 ponto por 3 hectares
3	julho de 2005	2 por unidade amostral	1 ponto por 3 hectares
4	julho de 2005	3 por unidade amostral	1 ponto por 3 hectares
5	julho de 2005	4 por unidade amostral	1 ponto por 3 hectares

Os valores de cigarras/árvore para cada uma destas estratégias foram calculados a partir da média das primeiras árvores amostradas em cada ponto. Assim, para a estratégia 2 foi usado o valor cigarras/árvore medido na primeira árvore amostrada em cada ponto; para a estratégia 3, o valor cigarras/árvore foi calculado a partir da média das duas primeiras árvores amostradas em cada ponto; e assim por diante até a estratégia 5.

Nas duas amostragens, as unidades amostrais foram lançadas previamente (em escritório) dentro dos mapas das áreas de estudo, de maneira aleatória, com o uso do software ArcGIS. Posteriormente, as unidades amostrais apresentadas nas figuras 8 e 9 foram localizados com GPS de navegação, através de suas coordenadas previamente definidas durante o lançamento das unidades amostrais.

As unidades amostrais na amostragem de outubro de 2004 constituíram um novo plano de informação na base de dados do estudo (plano de informação de pontos). Depois da contagem das cigarras, os valores cigarras/árvore de cada unidade amostral foram adicionados como atributo deste plano de informação.

As unidades amostrais da amostragem de julho de 2005 constituíram um outro plano de informação (também de pontos). Depois da contagem de cigarras em cada uma das unidades amostrais, os valores cigarras/árvore para cada uma das estratégias de amostragem, apresentadas no quadro 1, foram adicionados como atributos às respectivas unidades amostrais deste novo plano de informação.

### 3.3. Contagem e registro do número de cigarras

O objetivo da amostragem foi observar, para cada unidade amostral, a quantidade de cigarras presentes por árvore. Para isto, foi definida uma área ao redor de cada planta amostrada onde foi feita a contagem, na expectativa de determinar a quantidade de insetos que estavam parasitando o seu sistema radicular. Estas áreas abrangiam um círculo de 1,5 metros de raio ao redor da planta amostrada, onde uma camada superficial de mais ou menos cinco centímetros de solo foi removida para descobrir os orifícios onde estavam localizadas as ninfas, como mostra a Figura 11.



Figura 11: Limpeza ao redor da planta amostrada.

É importante frisar que este tipo de procedimento não dá suporte a uma contagem absoluta da quantidade de ninfas por planta, dado que muitos orifícios podem estar localizados em regiões mais baixas do perfil – abaixo dos cinco centímetros de profundidade. Também mesmo nos orifícios que se estendem até a superfície do solo pode haver a possibilidade da ninfa estar localizada na base deste, ou abaixo dos 15 centímetros de profundidade, o que causaria a falsa qualificação dele como orifício vazio. Outro fator que impede a quantificação exata da quantidade de cigarras por planta

é o fato de que as raízes se estendem além das dimensões envolvidas pelo círculo de 1,5 metros de raio onde é feita a remoção do solo. O erro de não amostragem também é agravado pelo fato de que as cigarras de ínstaes menores são mais difíceis de serem encontradas, visto que apresentam tamanho corporal reduzido, galerias ainda muito pequenas e superficiais que são completamente destruídas pelas ferramentas de remoção do solo.

Para efeito prático, as duas amostragens foram realizadas nestes moldes, pois o custo associado ao processo de amostragem é alto e aumenta ainda mais à medida que se aprofunda e se expande o tamanho do círculo ao redor da planta onde são contadas as cigarras. No entanto, espera-se que a maioria das cigarras apresentem-se nesta localização, pois as cigarras tendem a se associar às raízes mais grossas que se encontram próximas as plantas. Além disso, o paricá tem a particularidade de apresentar sistema radicular extremamente superficial, o que resulta na disposição da maioria dos insetos na região amostrada, de acordo com observações práticas de profissionais que trabalham na região do estudo.

Com a remoção da camada circular de solo, as ninfas foram contadas no interior de seus orifícios e o total de insetos por árvore foi registrado em uma planilha de anotações.

### **3.4. Geração dos mapas de dispersão de cigarras**

Através da extensão Geostatistical Analyst do software ArcGIS foram gerados os mapas de dispersão através dos métodos do Inverso do Quadrado da Distância e da Krigagem Ordinária para cada uma das duas amostragens.

Durante a utilização do interpolador do Inverso do Quadrado da Distância, foi necessário estabelecer os valores do raio de busca e da quantidade de pontos amostrados vizinhos que seriam usados na interpolação. O raio de busca determina a distância de influência de um ponto amostrado sobre a estimativa de pontos não amostrados. O número máximo define um limite superior de vizinhos, para os casos onde dentro do raio de busca existam muitos pontos amostrados passíveis de serem usados na estimativa do valor de um ponto não amostrado. Já o número mínimo define um limite inferior de pontos amostrados vizinhos, necessários para estimar o valor de um ponto não amostrado. Caso não exista um número mínimo de vizinhos dentro do raio de busca, o algoritmo busca vizinhos fora do raio de busca. Para este trabalho, o raio de

busca e os números máximo e mínimo de pontos vizinhos foram definidos como 2000 metros e 16 e 3 pontos vizinhos, respectivamente, seguindo os valores sugeridos pelos trabalhos anteriormente efetuados pela empresa fornecedora dos dados.

Na aplicação do método da krigagem ordinária não houve necessidade de definição do raio de busca para pontos vizinhos, pois o raio de busca é automaticamente definido pelo alcance do modelo de semivariograma ajustado aos dados. Os valores máximos e mínimos de vizinhos foram definidos da mesma forma que para o método do inverso do quadrado da distância. Na krigagem, durante o ajuste do semivariograma, foi necessário definir os tamanhos e número de intervalos de **h** (como explicado no item **2.4.2**). A definição destes valores é subjetiva e varia para cada ajuste, ficando a critério do analista, que tem o suporte do gráfico do semivariograma e da validação cruzada, para tomar a decisão quanto aos melhores valores.

### **3.5. Avaliação dos métodos de interpolação e das estratégias de amostragem**

A escolha do modelo de semivariograma foi feita através da observação visual do ajuste dos modelos de semivariograma (circular, esférico, exponencial e gaussiano) aos pontos do gráfico do semivariograma experimental, cujos exemplos podem ser observados nas Figuras 15 e 27, e com o suporte dos resultados da validação cruzada.

Os efeitos das diferenças do número de árvore por unidade amostral foram avaliados através da interpretação dos resultados da validação cruzada, geradas a partir da aplicação dos dois métodos de interpolação para as estratégias 2, 3, 4 e 5, referentes à amostragem de julho de 2005, pois a validação cruzada permite inferir sobre a precisão da interpolação.

O efeito da intensidade amostral foi avaliado por meio da comparação entre a adequação dos resultados obtidos para as duas amostragens, onde as intensidades amostrais foram diferentes.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Valores e estatísticas das unidades amostrais

Os valores observados para o número de cigarras/árvore em cada uma das 31 unidades amostrais, com as respectivas coordenadas para a amostragem realizada em outubro de 2004, são apresentados no Quadro 2. O número de cigarras/árvore variou de 0 a 67. As estatísticas descritivas para o número de cigarras/árvore são apresentadas no Quadro 3. Os valores observados para a média (12,29), a mediana (4,0) e coeficiente de assimetria (1,71) indicam que o número de cigarras/árvore não apresenta distribuição normal. O histograma para esta mesma característica, apresentado na Figura 12, reforça a indicação para a não-normalidade. Como pode ser observado neste histograma, houve uma grande quantidade de unidades amostrais entre 0 e 7 cigarras/árvore.

Quadro 2 - Número de cigarras/árvore observado em cada unidade da amostragem realizada em outubro de 2004, com suas respectivas coordenadas.

unidades amostrais	Coordenadas		NÚMERO de cigarras / árvore	unidades amostrais	Coordenadas		NÚMERO de cigarras / árvore
	X	Y			X	Y	
1	210741	9551823	67	17	211453	9553219	6
2	210942	9552408	58	18	211775	9552994	0
3	209509	9552292	1	19	211952	9551848	15
4	209556	9551703	0	20	211849	9551391	35
5	210052	9551957	5	21	211690	9550828	6
6	210271	9551509	0	22	212172	9550581	0
7	210373	9551038	1	23	212322	9550374	0
8	209872	9551026	1	24	211655	9552119	4
9	209578	9550250	0	25	211586	9552725	0
10	210467	9550299	0	26	210900	9552919	4
11	210773	9550732	15	27	210809	9551251	53
12	211208	9551270	3	28	211838	9550222	5
13	211274	9551696	42	29	212455	9550953	2
14	211191	9552066	18	30	213004	9550908	3
15	211314	9552433	11	31	213392	9551125	0
16	211292	9553049	26				

Quadro 3 - Estatísticas descritivas para o número de cigarras/árvore para a amostragem realizada em outubro de 2004.

<b>Número de unidades amostrais</b>	31	<b>Média</b>	12,29
<b>Valor mínimo</b>	0	<b>Mediana</b>	4
<b>Valor máximo</b>	67	<b>Desvio Padrão</b>	18,902
		<b>Simetria</b>	1,7126

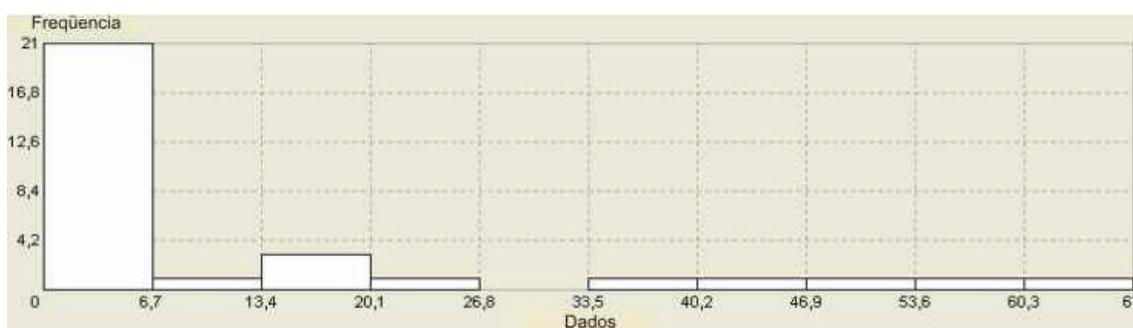


Figura 12 - Histograma de frequência do número de cigarras/árvore por unidade amostral, para a amostragem realizada em outubro de 2004.

Os valores observados para o número de cigarras/árvore em cada uma das 25 unidades amostrais, com suas respectivas coordenadas, para a amostragem realizada em julho de 2005, são apresentados no Quadro 4. Nesta amostragem, o menor valor observado para o número de cigarras/árvore foi igual a 0 e o maior valor igual a 100, mostrando que a amplitude dos valores nesta amostragem tendeu a ser maior do que a observada na amostragem realizada em outubro de 2004.

As estatísticas descritivas para o número médio de cigarras/árvore são apresentadas no Quadro 5, quando foram consideradas uma, duas, três e quatro árvores por unidade amostral. Observa-se que, à medida que se aumenta o número de árvores por unidade amostral utilizadas para calcular o valor médio do número de cigarras/árvore, houve pouca variação nos valores obtidos para a média e mediana, com tendência de diminuição para o valor da simetria e da amplitude.

O aumento no número de árvores por unidade amostral também influenciou o comportamento do desvio padrão dos dados que diminuiu com o aumento da quantidade de árvores por unidade amostral, pois as unidades compostas pela média de mais observações apresentam naturalmente valores mais próximos (Quadro 5).

Os histogramas para o número médio de cigarras/árvore, quando foram consideradas uma, duas, três e quatro árvores por unidade amostral, são apresentados na Figura 13 (a), (b), (c) e (d). A distribuição de frequências apresentadas nestes histogramas indicam que o número médio de cigarras/árvore não apresentou distribuição normal para a amostragem realizada em julho de 2005. No entanto, observa-se que à medida que se aumentou o número de árvores por unidade amostral, utilizadas para calcular o valor médio do número de cigarras/árvore, houve uma tendência da distribuição ser mais simétrica em torno do seu valor médio.

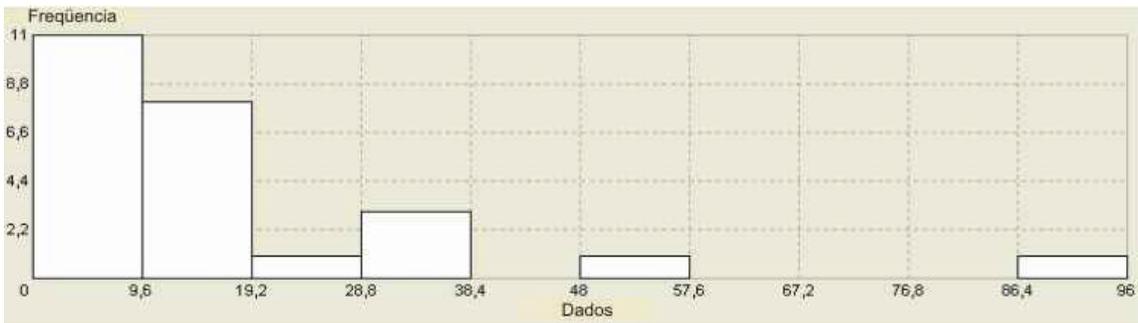
Quadro 4: Número de cigarras/árvore de cada unidade amostral com as respectivas médias calculadas para uma, duas, três e quatro árvores por ponto, na amostragem de julho de 2005.

Pontos amostrados	Coordenadas		Cigarras/árvore				Valor médio cigarras/árvore calculado a partir da média das árvores			
	X	Y	1	2	3	4	1	1 e 2	1, 2 e 3	1, 2, 3 e 4
1	209898	9551717	6	4	33	3	6	5	14	12
2	210017	9551458	16	7	100	6	16	12	41	32
3	210084	9551938	21	17	3	12	21	19	14	13
4	210208	9551973	6	7	7	6	6	7	7	7
5	210191	9551506	13	38	11	3	13	26	21	16
6	210491	9551542	48	20	15	68	48	34	28	38
7	210487	9551882	5	6	10	25	5	6	7	12
8	210420	9551689	30	32	56	3	30	31	39	30
9	210203	9551791	14	7	5	0	14	11	9	7
10	210046	9551661	14	7	5	0	17	21	18	18
11	209939	9551902	4	3	2	3	4	4	3	3
12	209714	9551860	0	0	0	0	0	0	0	0
13	209468	9551813	15	11	15	39	15	13	14	20
14	209476	9551341	16	7	37	33	16	12	20	23
15	209741	9551459	4	4	9	0	4	4	6	4
16	209535	9551665	16	7	5	0	16	12	9	7
17	209652	9551744	1	1	6	4	1	1	3	3
18	209781	9551679	4	7	53	8	4	6	21	18
19	209605	9551479	16	5	32	39	16	11	18	23
20	209908	9551547	96	80	67	7	96	88	81	63
21	210329	9551556	29	6	7	31	29	18	14	18
22	210026	9551829	9	6	33	4	9	8	16	13
23	209677	9551588	0	23	16	7	0	12	13	12
24	209486	9551518	36	24	18	10	36	30	26	22
25	210265	9551681	5	25	6	6	5	15	12	11

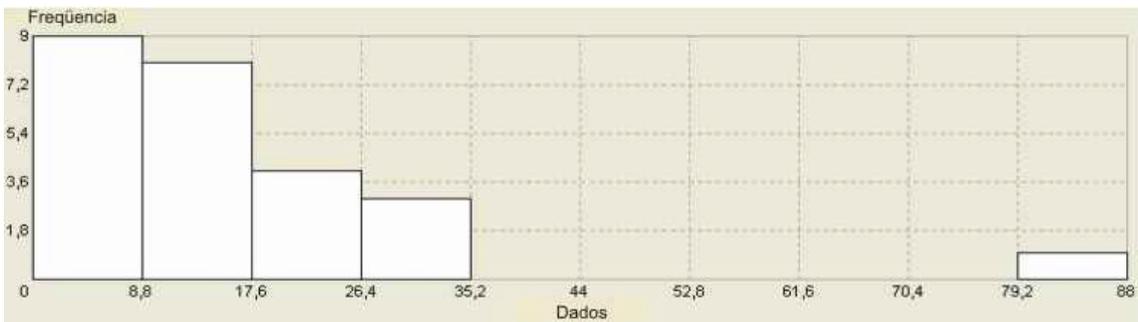
Quadro 5 - Estatísticas descritivas para o número médio de cigarras/árvore para a amostragem realizada em julho de 2005.

Estatística	Valor médio do número de cigarras/árvore por unidade amostral			
	Uma árvore	Duas árvores	Três árvores	Quatro árvores
<b>Nº de pontos amostrados</b>	25	25	25	25
<b>Mínimo</b>	0	0	0	0
<b>Máximo</b>	96	88	81	63
<b>Média</b>	17,08	16,24	18,16	17,00
<b>Mediana</b>	14	12	14	13
<b>Desvio-padrão</b>	20,27	17,59	16,55	13,47
<b>Simetria</b>	2,57	2,85	2,35	1,68

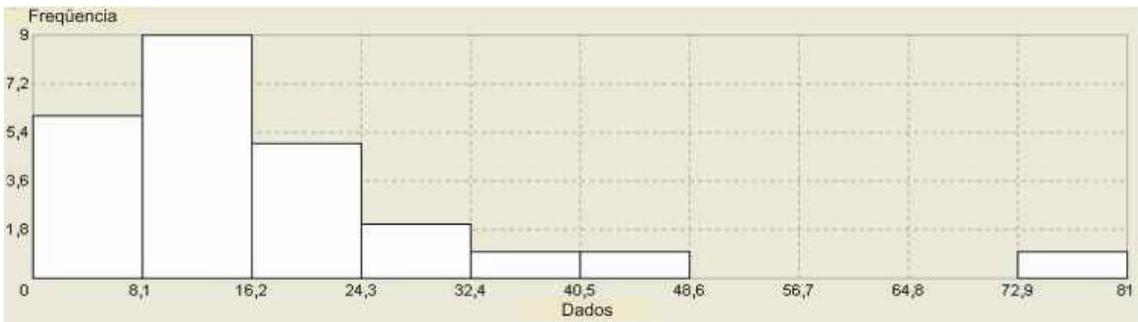
(a)



(b)



(c)



(d)

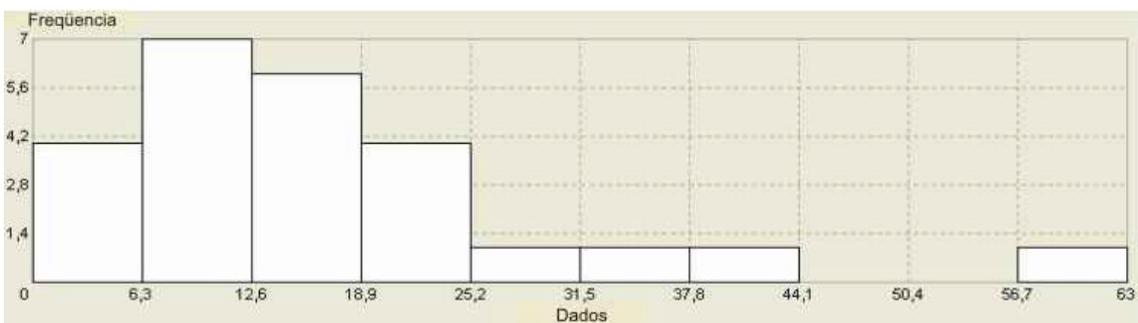


Figura 13 - Histograma de frequência do número médio de cigarras/árvore por unidade amostral, quando foram consideradas apenas uma árvore (a), duas árvores (b), três árvores (c) e quatro árvores (d), para a amostragem realizada em julho de 2005.

## **4.2. Krigagem Ordinária aplicada à amostragem realizada em outubro de 2004**

A amostragem realizada em outubro de 2004 foi do tipo convencional, seguindo os padrões de intensidade e composição das unidades amostrais usadas pela empresa proprietária da área em estudo. O principal propósito de incluir esta amostragem neste trabalho foi o de comparar este procedimento convencional, com os procedimentos de amostragem propostos na amostragem realizada em julho de 2005, a fim de se verificar se é necessário implementar modificações no procedimento convencional.

Os mapas gerados usando krigagem ordinária - quando os modelos de semivariograma esférico, exponencial, circular e gaussiano foram utilizados para modelar a dependência espacial do número de cigarras/árvore - são apresentados na Figura 14. Ao comparar estes mapas, observa-se que não houve grandes diferenças com relação à dispersão desta variável. Em geral, estes mapas revelaram a presença de um foco de cigarras na região central da área de estudo, onde os valores excederam a quantia de 20 insetos por planta. À medida que se distanciava deste foco central houve uma redução na quantidade de insetos por planta. No entanto, os mapas gerados ao ajustar os modelos de semivariogramas esférico e exponencial apresentaram uma intensidade de praga mais elevada no centro do foco, com um pico mais saliente se comparado ao mapa gerado ao ajustar o modelo gaussiano. Esta diferença nos mapas pode ser explicada pela tendência que o modelo gaussiano tem de suavizar as superfícies que modela, razão para este modelo ser mais indicado para representar fenômenos que tenham uma continuidade espacial mais expressiva, ao contrário dos dados aqui apresentados (Figura 14).

Os ajustes dos modelos de semivariograma exponencial, esférico, circular e gaussiano são apresentados na Figura 15. Os ajustes indicaram existir uma fraca dependência espacial entre os dados. Todos os modelos apresentaram valores de alcance muito reduzidos se comparados à distância mínima entre pontos (em torno de 400 metros) sendo que houve poucos pares de pontos na parte curva do semivariograma, ou seja, antes de atingir o alcance. O valor da contribuição foram também sempre reduzidos, com efeito pepita elevado, exceção do modelo exponencial, o que sugere que a dependência espacial possa estar ocorrendo em uma escala menor e que talvez não tenha sido adequadamente captada pela amostragem. Estas discussões são apoiadas nas

citações de Câmara et al. (2002) e Isaaks & Srivastava (1989), a respeito dos parâmetros do semivariograma.

O estudo da validação cruzada dos modelos de semivariograma ajustados é apresentado na Figura 16. Para todos os modelos, a relação entre os valores preditos e observados tendeu a ser baixa, pois o coeficiente de regressão  $b_1$  tendeu a apresentar valor muito baixo, em torno de 0,33 e o  $b_0$  bastante alto, em torno de 7, ao contrário do que seria desejável, com  $b_1$  próximo de um e  $b_0$  próximo de zero, como sugerido por Isaaks & Srivastava (1989).

A raiz quadrada do erro médio (RQEM) foi bem semelhante para todos os semivariogramas, oscilando em torno do valor 16. Esta similaridade indica que houve pouca diferença entre os modelos de semivariograma utilizados para representar a dependência espacial para o número de cigarras/árvore (Figura 16). O valor 16 para o RQEM, que é relativamente distante do valor ideal igual à zero, de acordo com Murphy & Sternitzke (1979), indica que o procedimento de amostragem realizado em outubro de 2004 não foi capaz de detectar de forma precisa a dependência espacial que existe para o número de cigarras/árvore. No entanto, para efeito de comparação com os procedimentos de amostragem realizados em julho de 2005, foi escolhido o modelo exponencial para descrever a dependência espacial para a variável em análise, pois o modelo exponencial é indicado para fenômenos de transição espacial rápida.

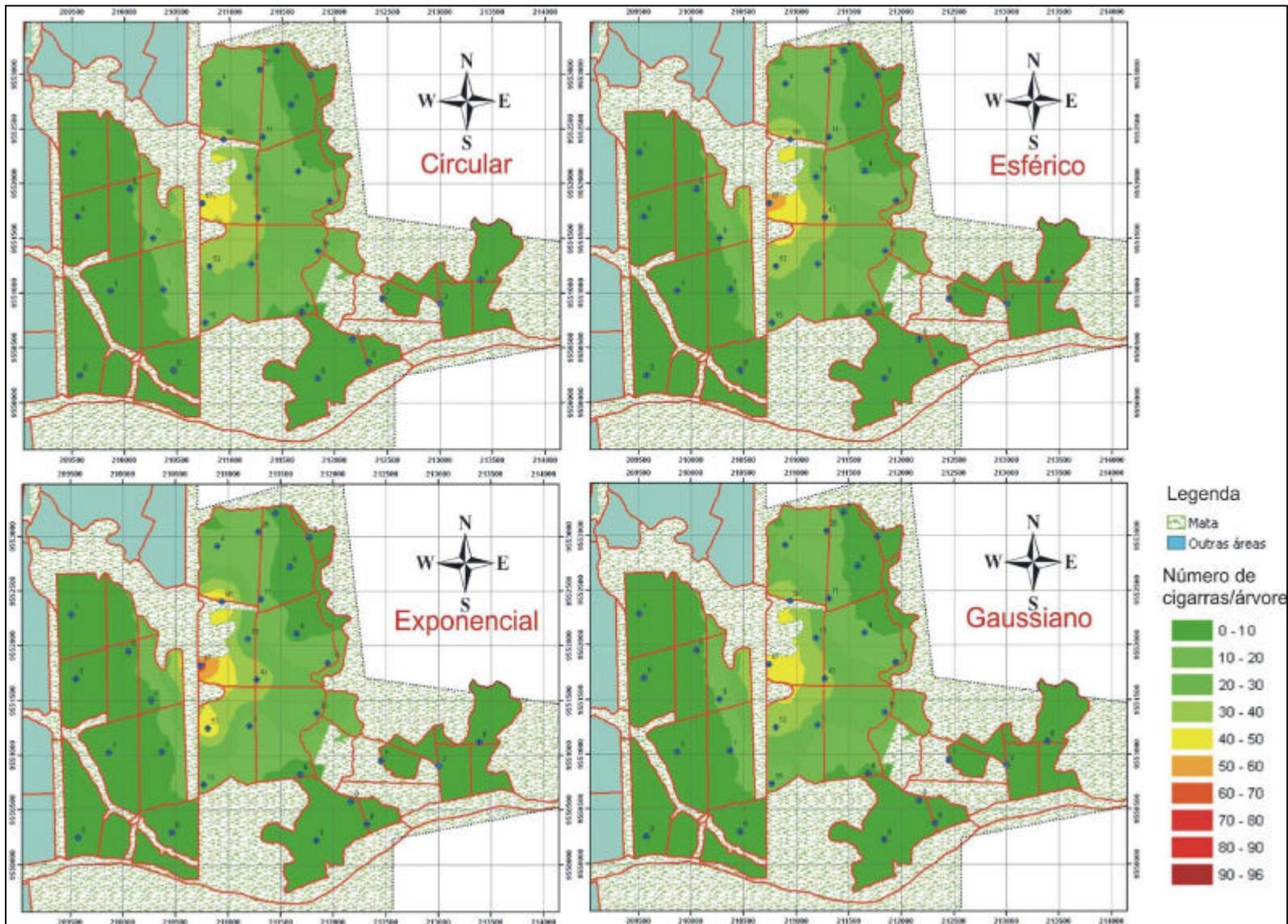
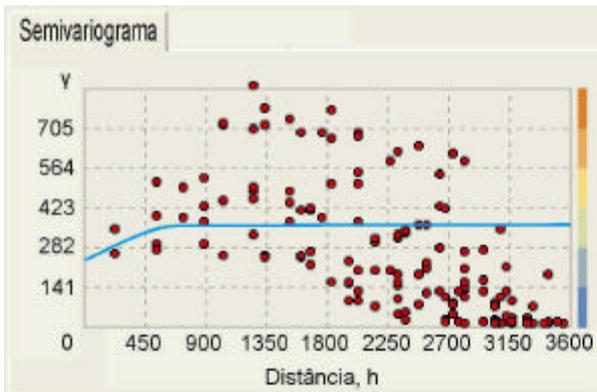
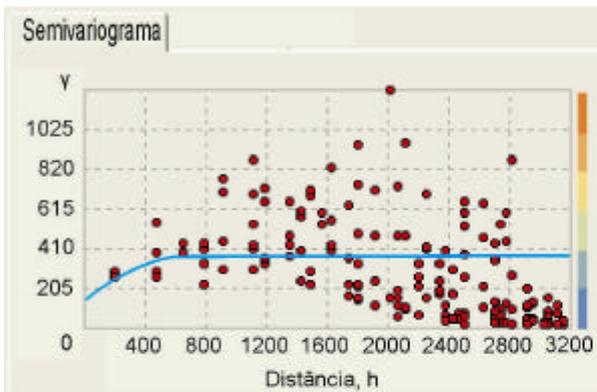


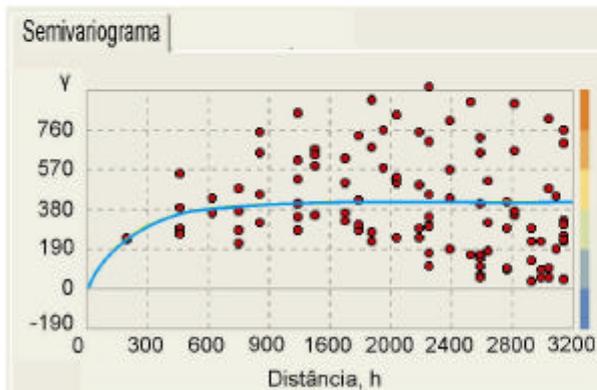
Figura 14 - Mapa de predição por krigagem ordinária do número de cigarras/árvore ao ajustar quatro modelos de semivariograma



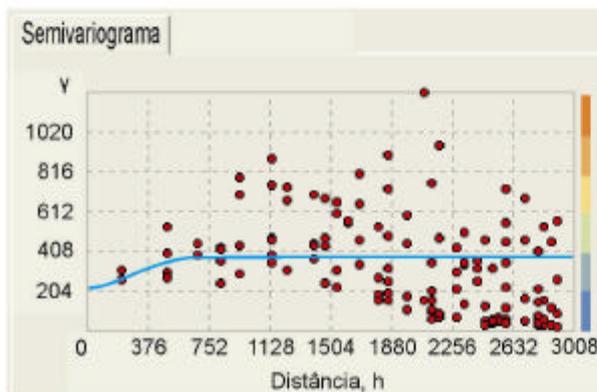
**Modelo Circular**  
 Alcance = 671,99 m  
 Contribuição = 126,05  
 Efeito pepita = 237,93  
 Tam. Intervalos = 360 m  
 Num. Intervalos = 10



**Modelo Esférico**  
 Alcance = 651,44 m  
 Contribuição = 219,21  
 Efeito pepita = 152,71  
 Tam. Intervalos = 320 m  
 Num. Intervalos = 10



**Modelo Exponencial**  
 Alcance = 677,51 m  
 Contribuição = 413,97  
 Efeito pepita = 0  
 Tam. Intervalos = 300 m  
 Num. Intervalos = 8



**Modelo Gaussiano**  
 Alcance = 646,45 m  
 Contribuição = 163,68  
 Efeito pepita = 219,94  
 Tam. Intervalos = 330 m  
 Num. Intervalos = 9

Figura 15 - Ajustes dos modelos de semivariogramas usados para gerar os mapas de krigagem

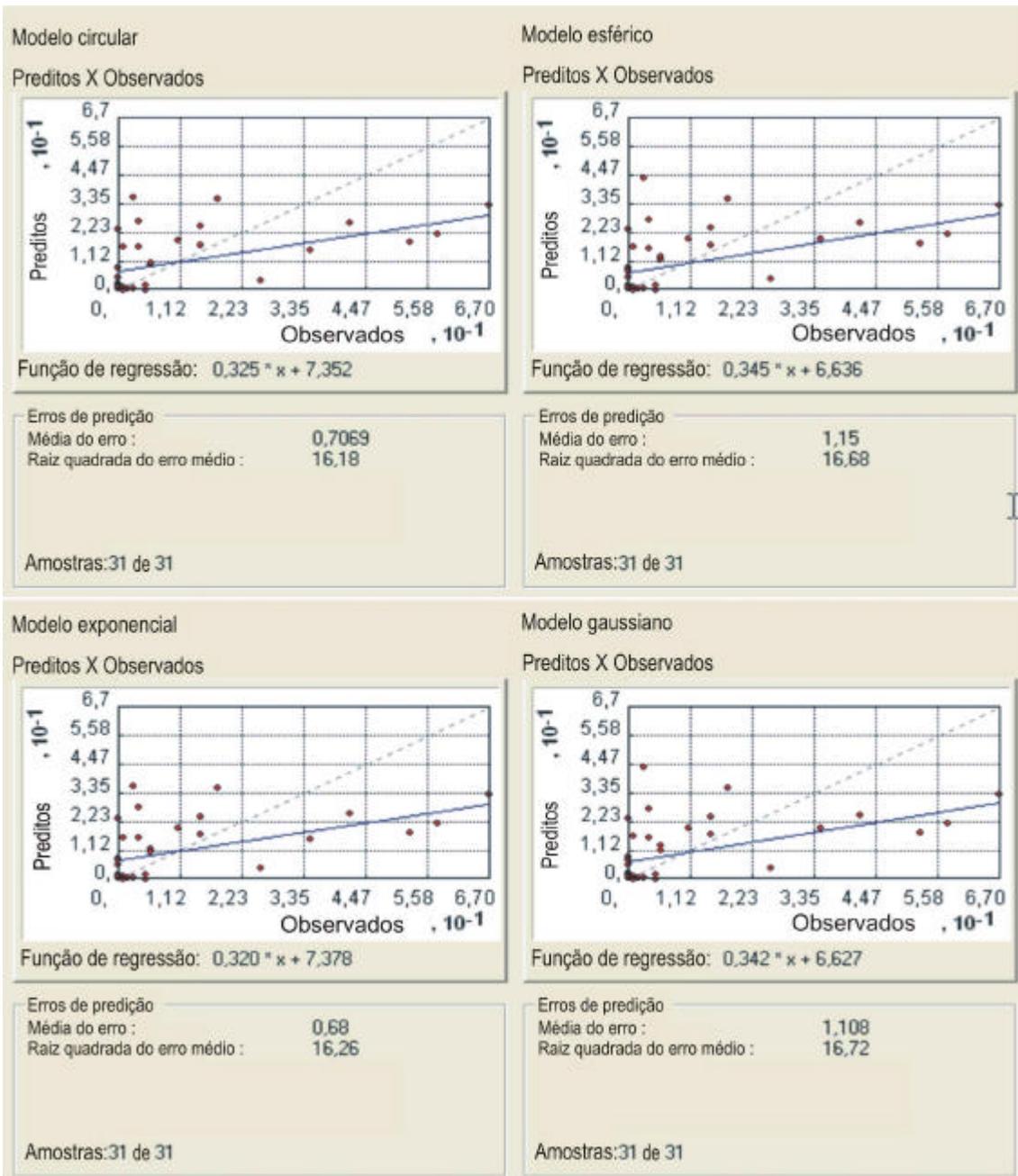


Figura 16 - Validação cruzada para os mapas de predição do número de cigarras/árvore obtidos ao ajustar quatro modelos de semivariograma

### 4.3. Inverso do quadrado da distância (IQD) aplicado à amostragem realizada em outubro de 2004

O mapa do número de cigarras/árvore, obtido ao aplicar o método do inverso do quadrado da distância (IQD) aos dados obtidos com a realização da amostragem em outubro de 2004, é apresentado na Figura 17. Pode-se constatar que este mapa é muito semelhante ao obtido quando se utilizou a krigagem ordinária, baseando-se no modelo de semivariograma exponencial (Figura 17).

A semelhança entre os resultados dos dois métodos pode ter sido ocasionada pela fraca dependência espacial detectada na amostragem realizada em outubro de 2004. Na ausência de dependência espacial as vantagens da krigagem sobre o método do IQD são também minimizadas e os métodos tendem a se equivaler.

Apesar da fraca dependência espacial encontrada, os resultados da validação cruzada revelam uma ligeira superioridade da krigagem sobre o IQD, visto que o  $b_1$  para a krigagem foi de 0,320 contra 0,127 do IQD, sendo superior em mais que o dobro, como apresentado nos respectivos gráficos da validação cruzada apresentados na Figura 17. Observa-se, também, que o  $b_0$  e a RQEM da krigagem tenderam a ser menores que os do IQD. A análise da Figura 17 mostra ainda que a média do erro (ME) foi de 0,68 no método da krigagem, enquanto que no método do IQD ela foi de 2,418, indicando que o método IQD tendeu a superestimar mais o número de cigarras/árvore que a krigagem ordinária.

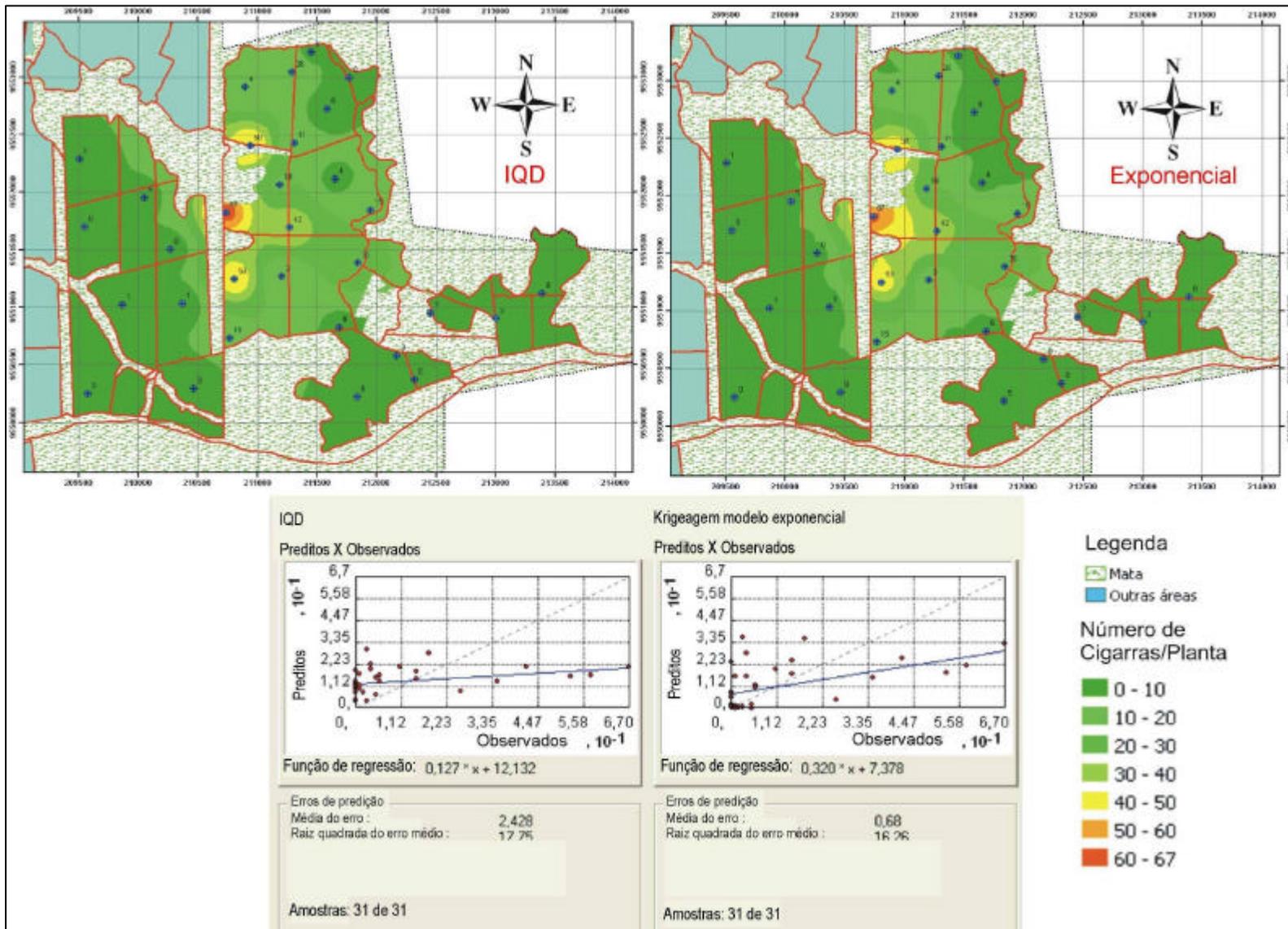


Figura 17 - Mapas de predição do número de cigarras/árvore gerados utilizando o método IQD e da krigagem ordinária (modelo exponencial), com os resultados de suas respectivas validações cruzadas

#### 4.4. Krigagem aplicada à amostragem realizada em julho de 2005

A amostragem realizada em julho de 2005 caracterizou-se por apresentar algumas particularidades que a diferenciou da amostragem convencional realizada em outubro de 2004, além do fato de terem sido realizadas em áreas diferentes dentro da propriedade. Em julho de 2005, a intensidade amostral foi maior, além de usar unidades amostrais com quatro árvores ao invés de apenas uma. Esta amostragem foi realizada desta maneira com o intuito de verificar os efeitos da intensificação e da composição das unidades amostrais, com relação à eficiência da precisão do mapeamento do número de cigarras/árvore.

Para estudar o efeito da composição das unidades amostrais, foi realizado o mapeamento usando krigagem ordinária com base nos valores médios do número de cigarras/árvores obtidos ao considerar quatro diferentes estratégias de amostragem (usando uma, duas, três e quatro árvores unidade amostral). Para cada uma destas estratégias foi escolhido o modelo de semivariograma que apresentou o melhor ajuste, e com base neste, foi gerado o mapa de predição do número de cigarras/árvore.

Os mapas de predição do número de cigarras/árvore gerados a partir do ajuste de quatro modelos de semivariograma, bem como as respectivas validações cruzadas para a estratégia de amostragem que usa o valor cigarras/planta da primeira árvore de cada unidade amostral, são apresentados, respectivamente, nas Figuras 18 e 19.

Para esta estratégia de amostragem, os mapas apresentaram uma série de descontinuidades espaciais, devido à presença de imbricações e geometrias irregulares, que julga-se não exprimir o verdadeiro comportamento da distribuição das cigarras (Figura 18).

Os resultados obtidos para a validação cruzada, para esta estratégia de amostragem, indicam baixa precisão dos mapas gerados na previsão do número de cigarras/árvore, pois o ajuste da regressão aos valores observados em função dos preditos foi muito ruim, além do valor obtido para RQEM ter sido relativamente alto para todos os modelos de semivariograma avaliados (Figura 19).

Como não foram observadas grandes diferenças entre os resultados observados para os ajustes dos quatro modelos de semivariograma, optou-se por escolher o modelo exponencial para descrever a dependência espacial para esta estratégia de amostragem.

Tal escolha baseou-se no fato de que ele é mais indicado quando o fenômeno em estudo apresenta grande variação para curtos intervalos de distância.

Os mapas de predição do número cigarras/árvore gerados a partir do ajuste de quatro modelos de semivariograma, bem como as respectivas validações cruzadas para a estratégia de amostragem que usa o valor de cigarras/árvore referente as duas primeiras árvores de cada unidade amostral, são apresentados, respectivamente, nas Figuras 20 e 21.

A aplicação da krigagem para a estratégia de amostragem que utilizou a média das duas árvores de cada unidade amostral, apresentou validação cruzada para os modelos de semivariograma avaliados, com resultados também ruins, semelhantemente aos obtidos para a estratégia que se baseou em apenas uma árvore por unidade amostral (Figura 21 ). Pelas mesmas razões o modelo exponencial também foi o escolhido para esta estratégia de amostragem.

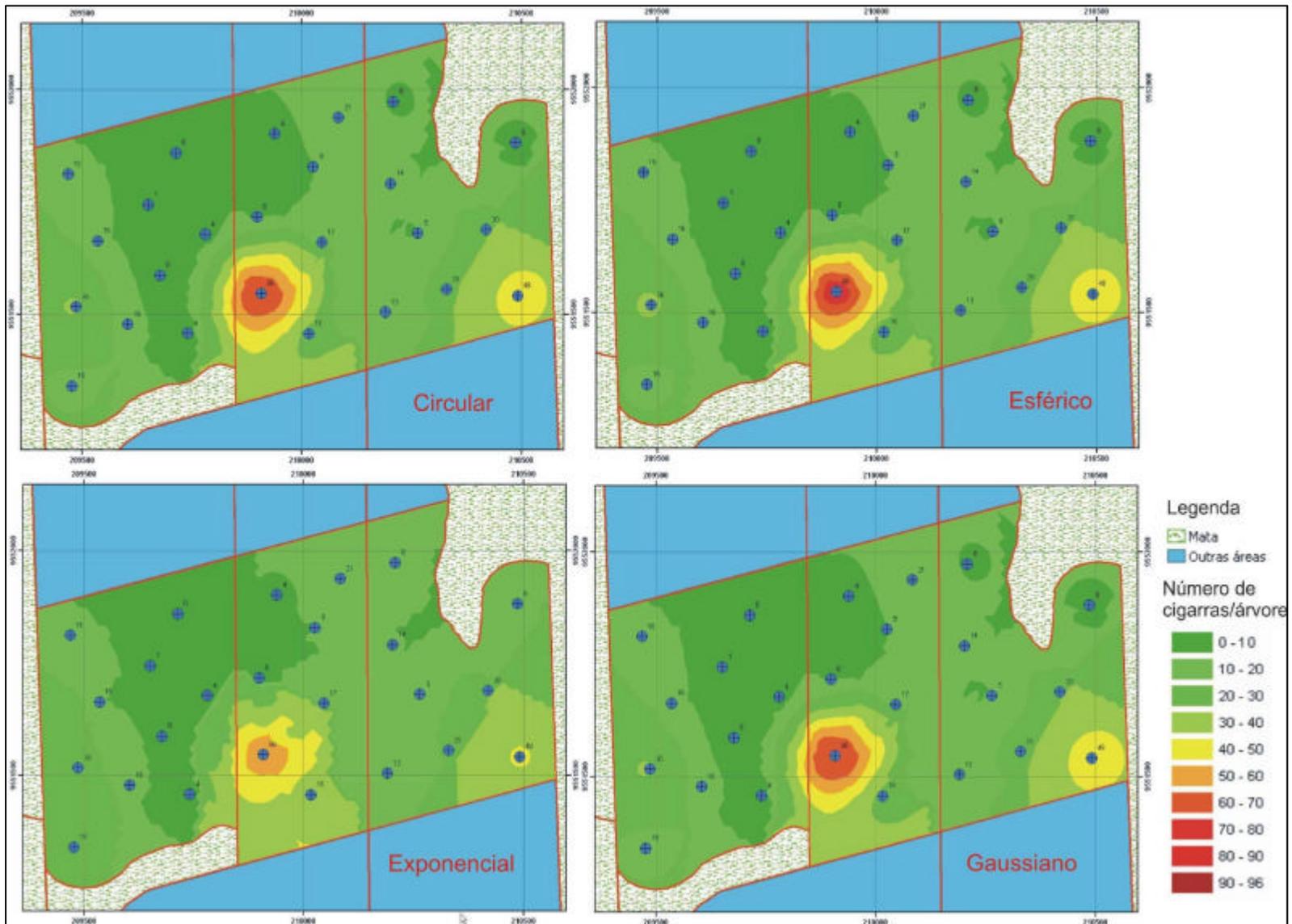


Figura 18 - Mapas do número de cigarras/árvore gerados usando a krigagem ordinária para diferentes modelos de semivariograma e utilizando os valores observados para uma árvore de cada unidade amostral

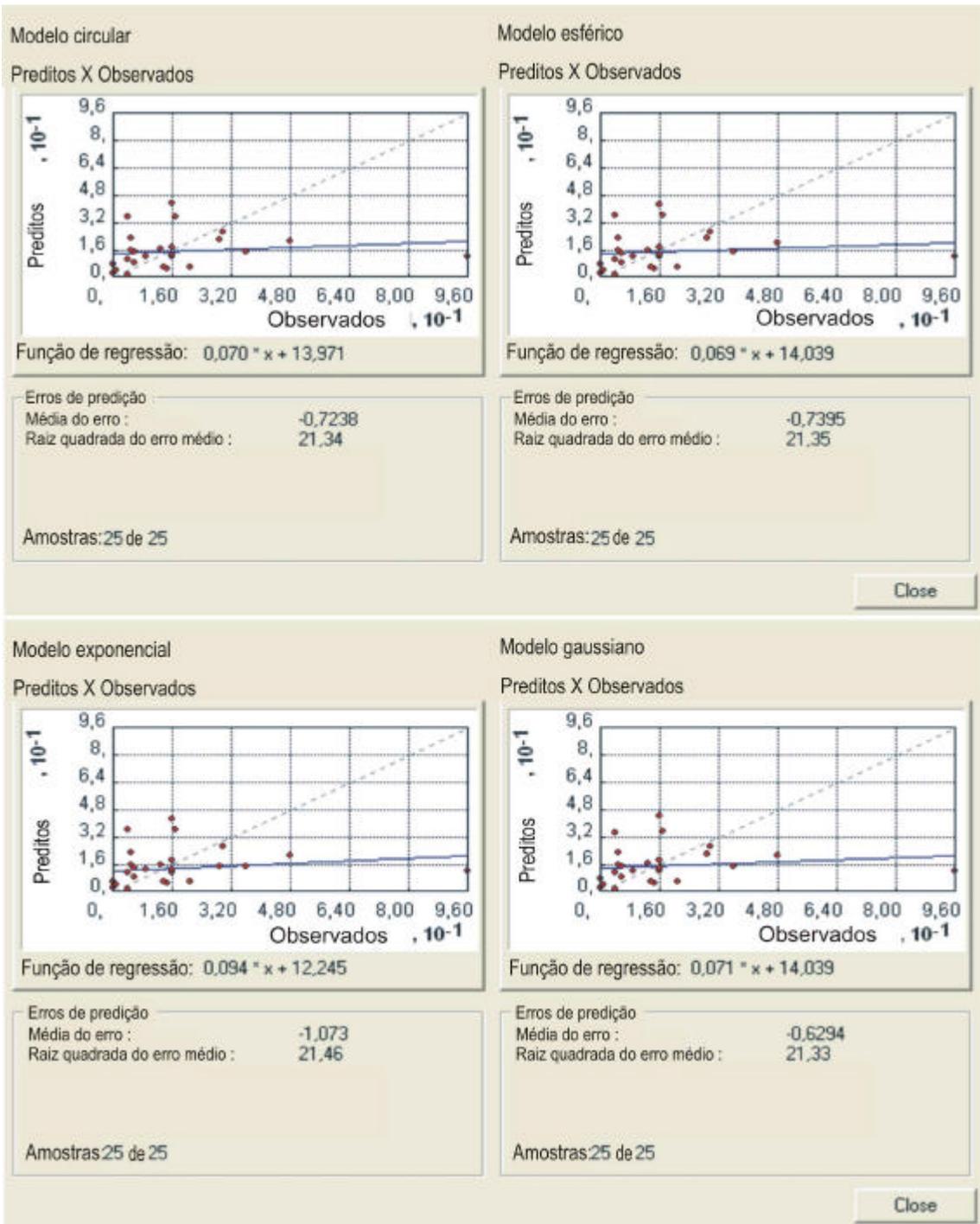


Figura 19 - Validação cruzada para os mapas do número de cigarras/árvore gerados usando a krigagem ordinária para diferentes modelos de semivariograma e utilizando os valores observados para a 1ª árvore de cada unidade amostral

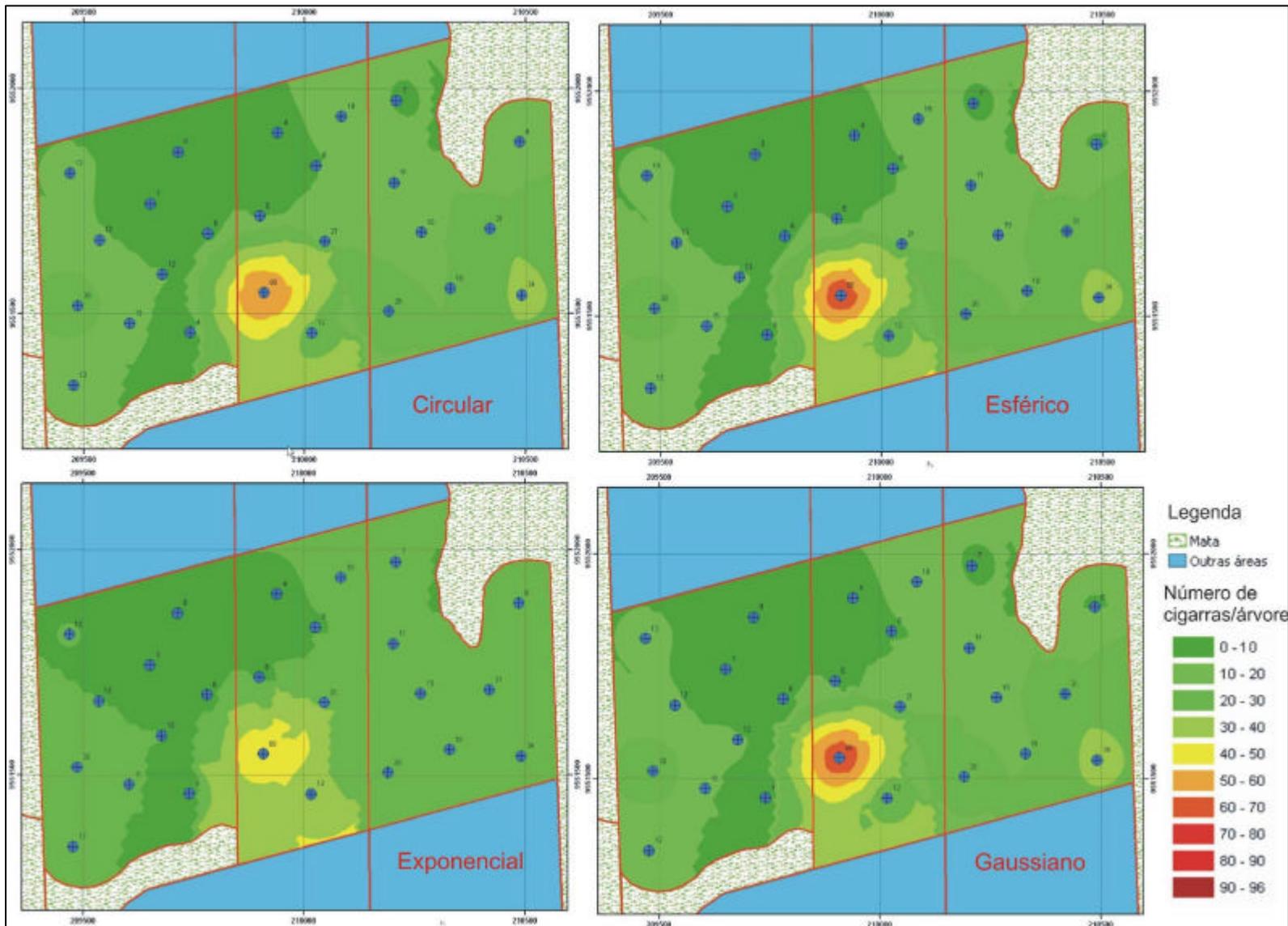


Figura 20 - Mapas do número de cigarras/árvore gerados usando a krigagem ordinária, para diferentes modelos de semivariograma e utilizando os valores observados para as duas primeiras árvores de cada unidade amostral

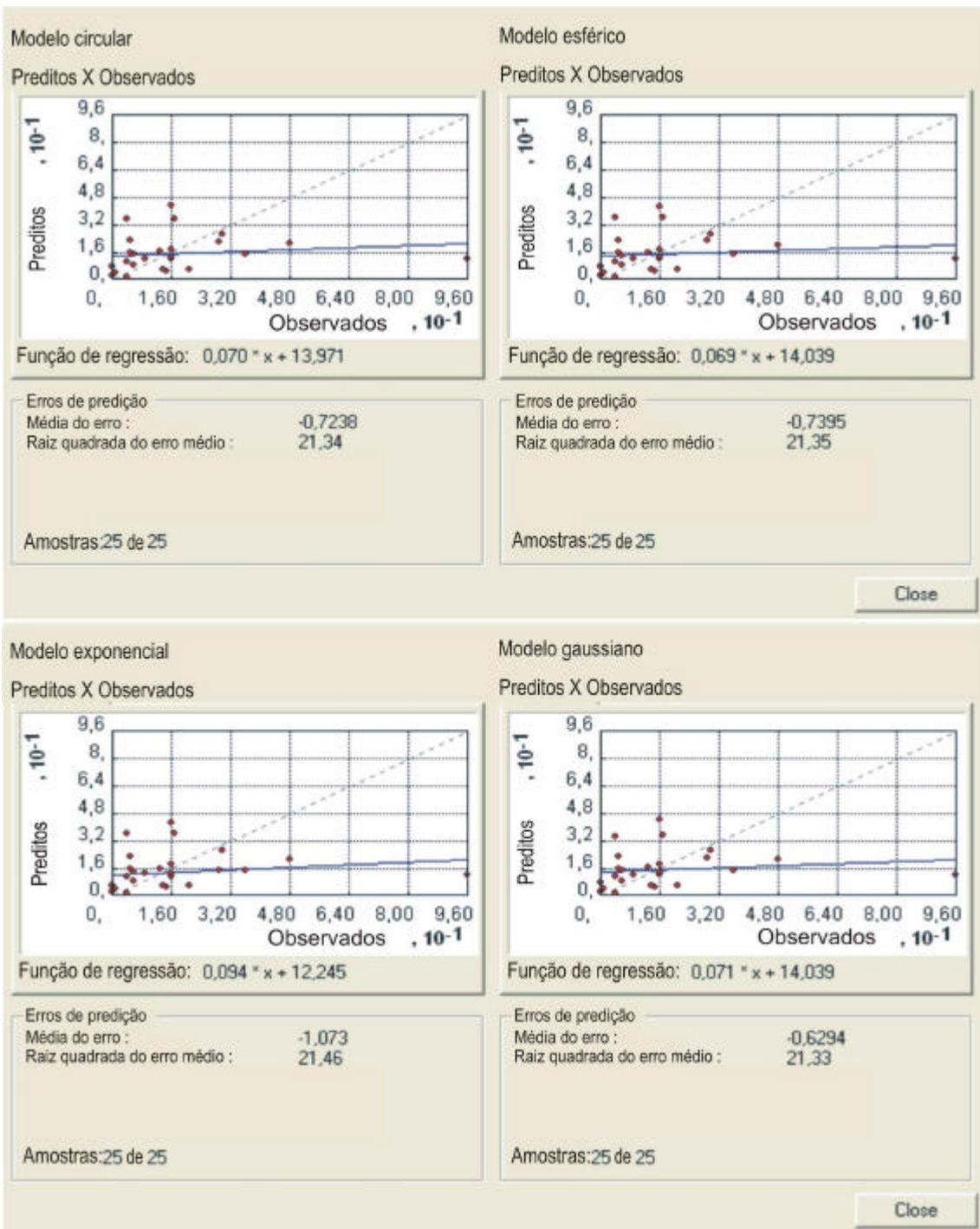


Figura 21 - Validação cruzada para os mapas do número de cigarras/árvore, gerados usando a krigagem ordinária para diferentes modelos de semivariograma e utilizando os valores observados para duas primeiras árvores de cada unidade amostral

Os mapas de predição do número de cigarras/árvore, gerados para a estratégia de amostragem que usa o valor cigarras/árvore referente às três primeiras árvores de cada

unidade amostral e os respectivos resultados de suas validações cruzadas são apresentados nas figuras 22 e 23.

Para a estratégia de amostragem que usou a média de três árvores por unidade amostral, o comportamento das feições do mapa (Figura 22) apresentou-se mais regular, com a redução quase que total das imbricações e geometrias pouco suaves como foi observado nas estratégias que se basearam em uma e duas árvores por unidade amostral. Porém, tal como o observado para as estratégias anteriores, houve considerável similaridade entre os mapas gerados ao se utilizar os quatro modelos de semivariograma, apresentados na Figura 22, e também para os resultados da validação cruzada apresentados na Figura 23.

Apesar da similaridade entre os ajustes dos modelos, houve uma leve superioridade nos parâmetros da regressão dos valores observados versus preditos para o modelo gaussiano, que levaram à sua escolha (Figura 23). Esta melhor adequação do modelo gaussiano pode estar relacionada ao aumento da similaridade dos valores médios obtidos para as unidades amostrais, já que neste caso os valores médios estão sendo calculados usando as observações de três árvores.

Os mapas de predição gerados para a estratégia de amostragem que usa o valor cigarras/árvore referente às quatro árvores de cada unidade amostral e os respectivos resultados de suas validações cruzadas são apresentados nas figuras 24 e 25.

A estratégia de amostragem que se baseou no valor médio observado em quatro árvores por unidade amostral, também apresentou grande semelhança nos ajuste dos quatro modelos de semivariograma e nos mapas de predição para o número de cigarras/árvore gerados a partir daqueles modelos de semivariograma (Figura 24). No entanto, o modelo gaussiano apresentou leve superioridade com relação aos parâmetros da regressão observados para a validação cruzada deste modelo (Figura 25) e também devido a um valor de RQEM ligeiramente inferior. Devido a esta ligeira superioridade, o modelo gaussiano foi também o escolhido para a estratégia de usar o valor médio das quatro árvores por unidade amostral.

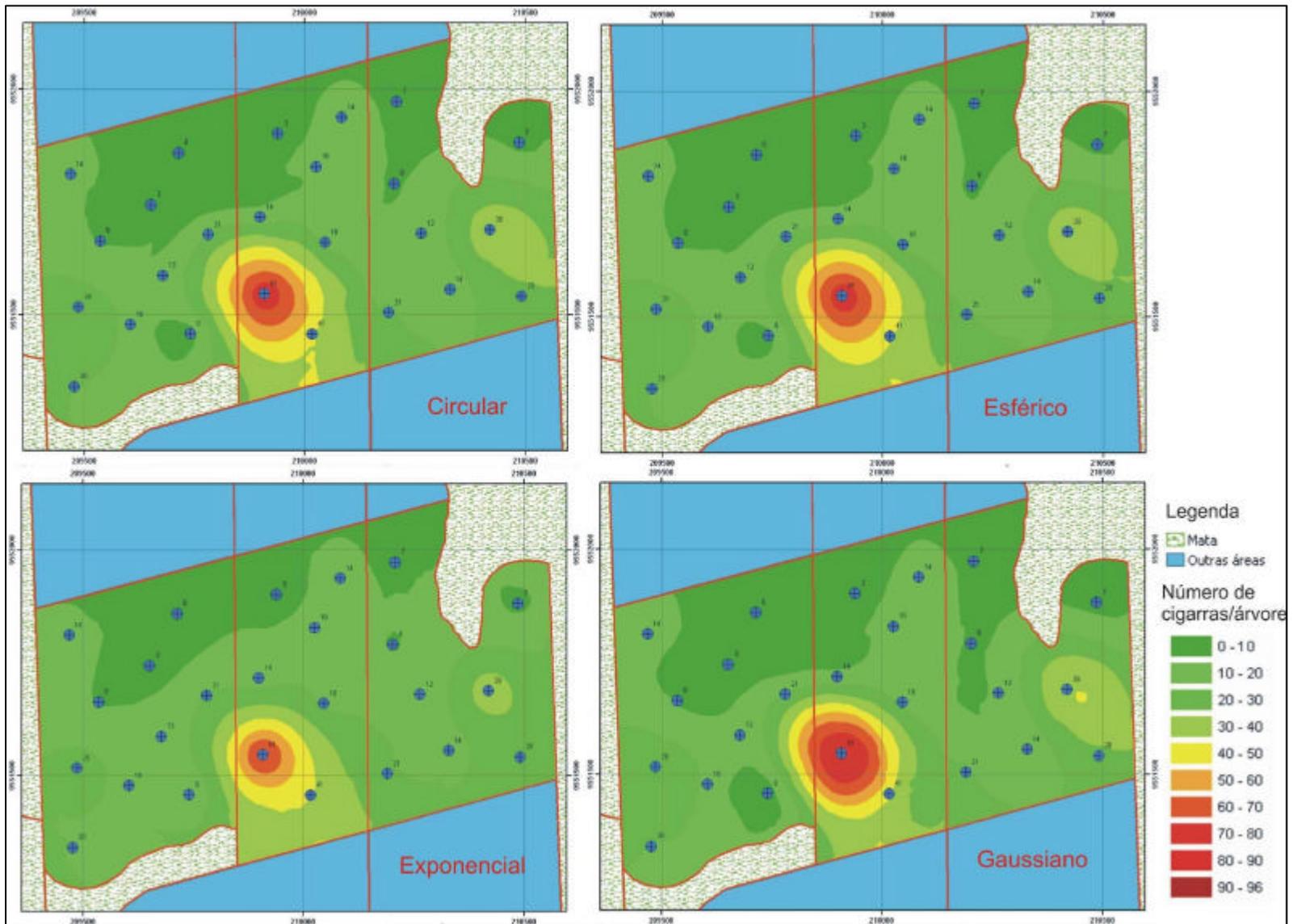


Figura 22 - Mapas do número de cigarras/árvore gerados usando a krigagem ordinária, para diferentes modelos de semivariograma e utilizando os valores observados para as três primeiras árvores de cada unidade amostral

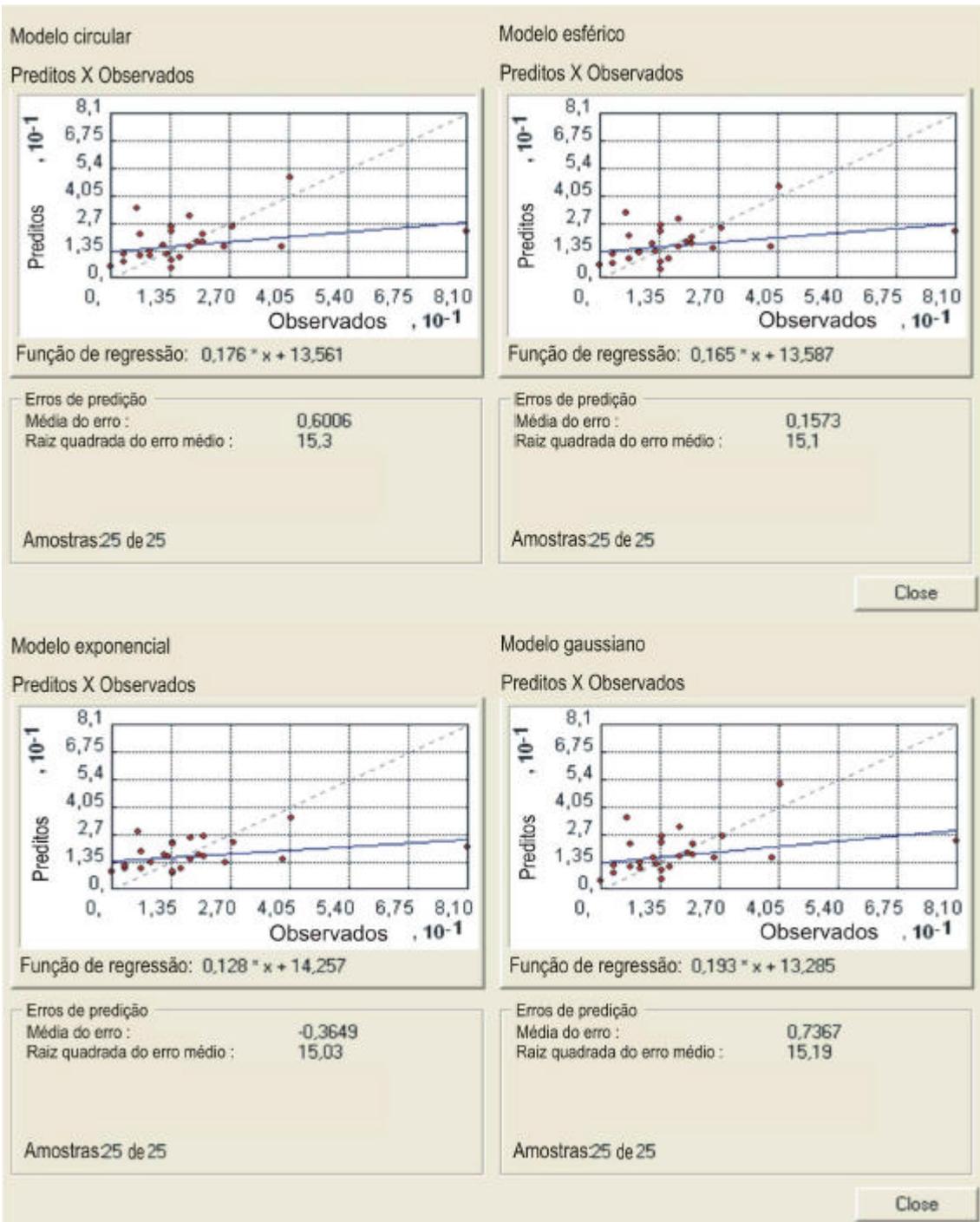


Figura 23 - Validação cruzada para os mapas do número de cigarras/árvore, gerados usando a krigagem ordinária para diferentes modelos de semivariograma e utilizando os valores observados para as três primeiras árvores de cada unidade amostral

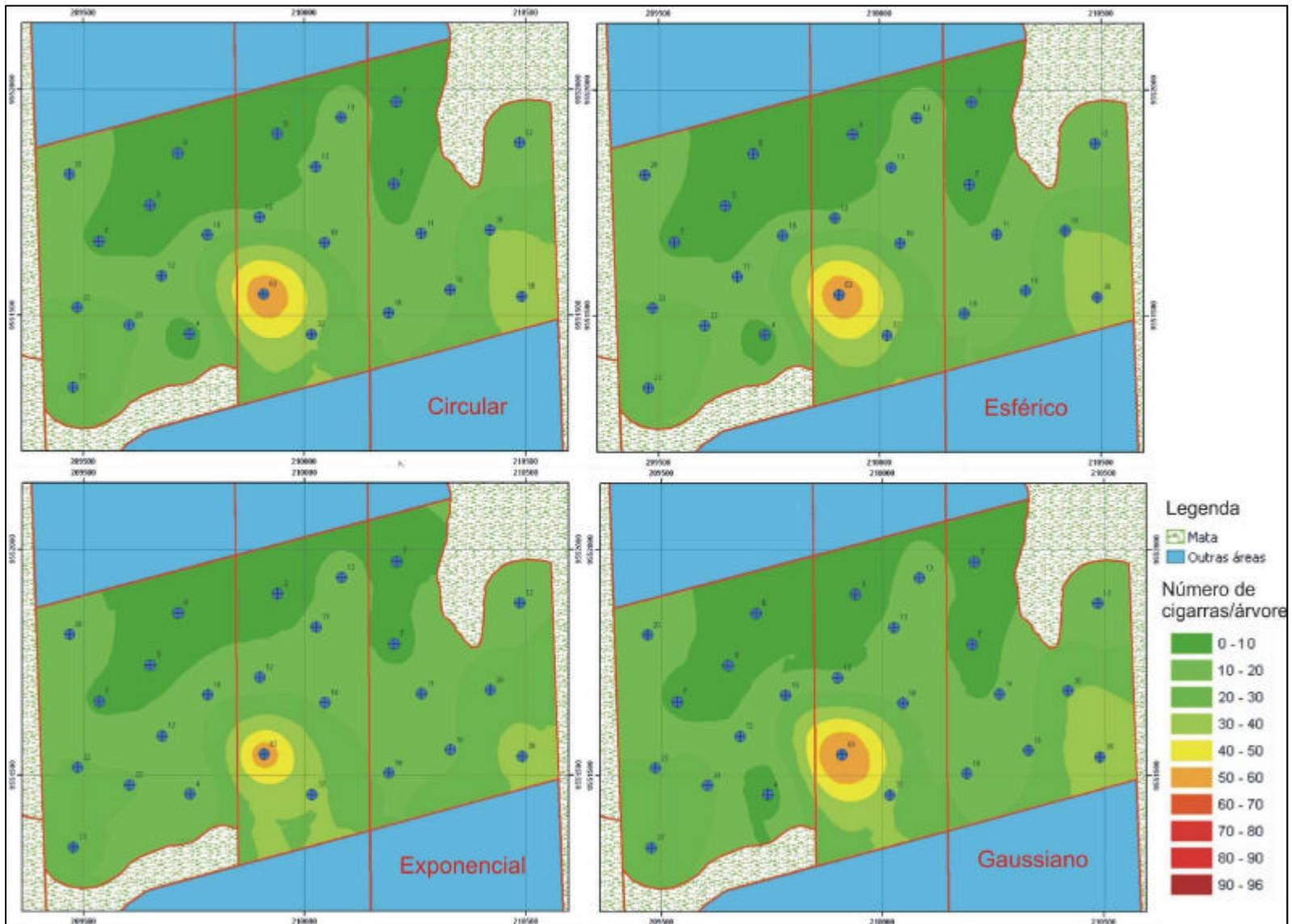


Figura 24 - Mapas do número de cigarras/árvore gerados usando a krigagem ordinária para diferentes modelos de semivariograma e utilizando os valores observados para as quatro árvores de cada unidade amostral

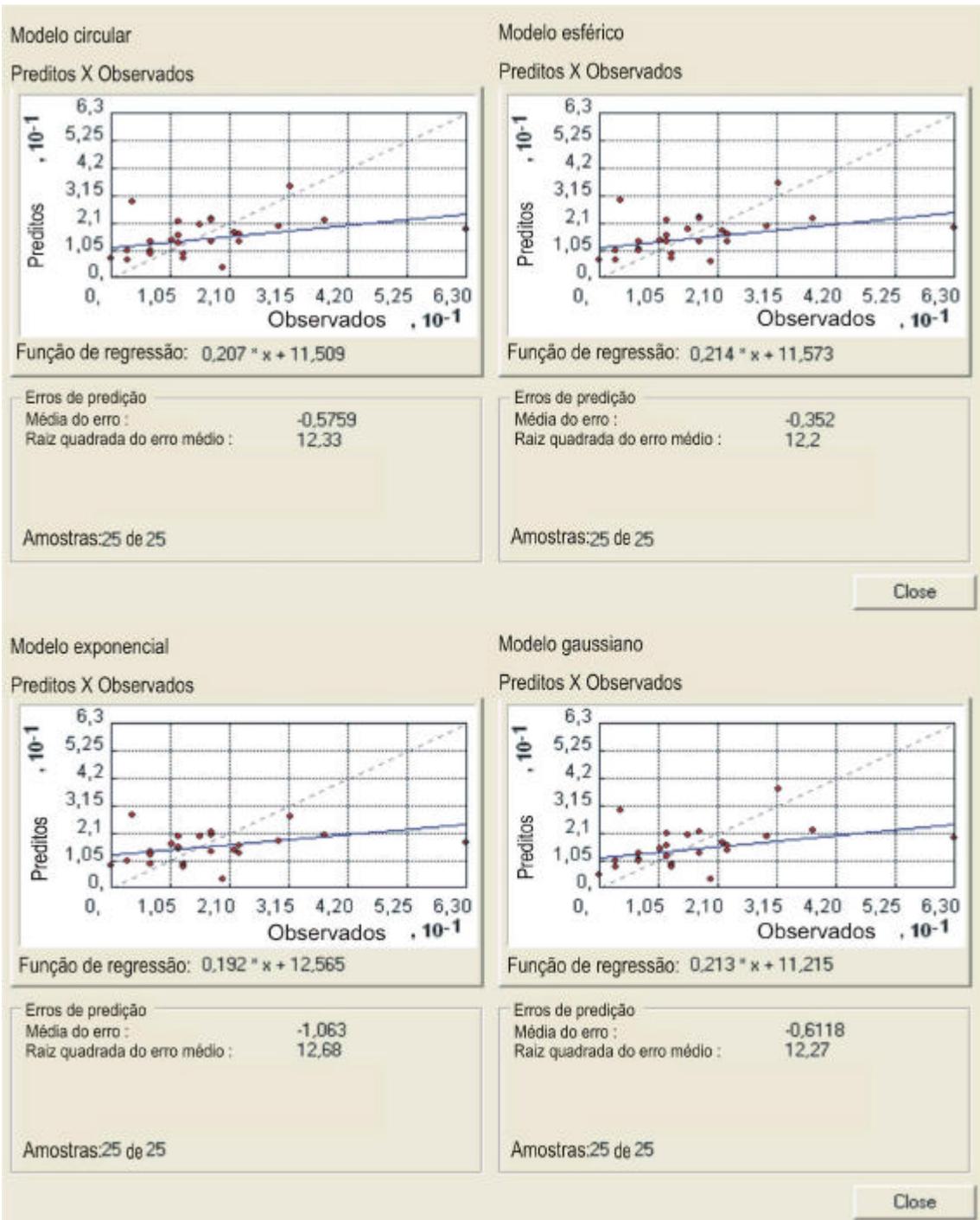


Figura 25 - Validação cruzada para os mapas do número de cigarras/árvore gerados usando a krigagem ordinária para diferentes modelos de semivariograma e utilizando os valores observados para as quatro árvores de cada unidade amostral

Uma vez escolhidos os modelos de semivariograma e gerados os mapas para cada estratégia estabelecida para a amostragem realizada em julho de 2005, os efeitos do número de árvores por unidade amostral foram avaliados através dos mapas gerados pela krigagem ordinária.

Na Figura 26 são apresentados os mapas do número de cigarras/árvore gerados usando a krigagem ordinária para os diferentes números de árvores utilizadas por unidade amostral. A krigagem tendeu a apresentar melhores resultados à medida que se aumentou o número de árvores utilizadas para calcular o valor médio do número de cigarras/árvore. Ao comparar os mapas apresentados nesta figura, nota-se que o aumento do número de árvores por ponto provocou redução da presença de comportamentos anormais na geometria das feições dos mapas.

Os resultados obtidos para o ajuste dos semivariogramas para as quatro estratégias de amostragens são apresentados na Figura 27. Ao comparar estes resultados, observa-se que o aumento do número de árvores/ponto tendeu a resultar, também num aumento do alcance e da contribuição, bem como na redução do efeito pepita. Os valores experimentais do semivariograma também se apresentaram mais ajustados à curva do modelo do semivariograma quando se usou a média de três e quatro árvores/unidade amostral; no entanto, esta melhora não foi expressivamente suficiente para caracterizar forte dependência espacial.

A validação cruzada para as quatro estratégias de amostragem é apresentada na Figura 28. Da mesma forma, as estatísticas da validação cruzada também foram melhorando com o aumento do número de árvores/ponto. O valor de  $b_1$  teve um gradativo aumento (0,094 ; 0,098 ; 0,193 ; 0,213),  $b_0$  foi decrescendo ( 12,245 ; 12,033 ; 13,285 ; 11,215 ) e o RQEM também diminuiu (21,46 ; 19,39 ; 15,19 ; 12,27).

Apesar de pouco expressiva, e mesmo não sendo suficiente para detectar forte dependência espacial, a melhora dos parâmetros das estimativas com a alteração da constituição das unidades amostrais, sugere que o uso de uma única árvore por ponto possa não ser a melhor alternativa para verificar a dispersão da praga estudada e que outros tipos de unidades amostrais podem se apresentar mais vantajosos que a estratégia convencional de uma árvore por unidade amostral.

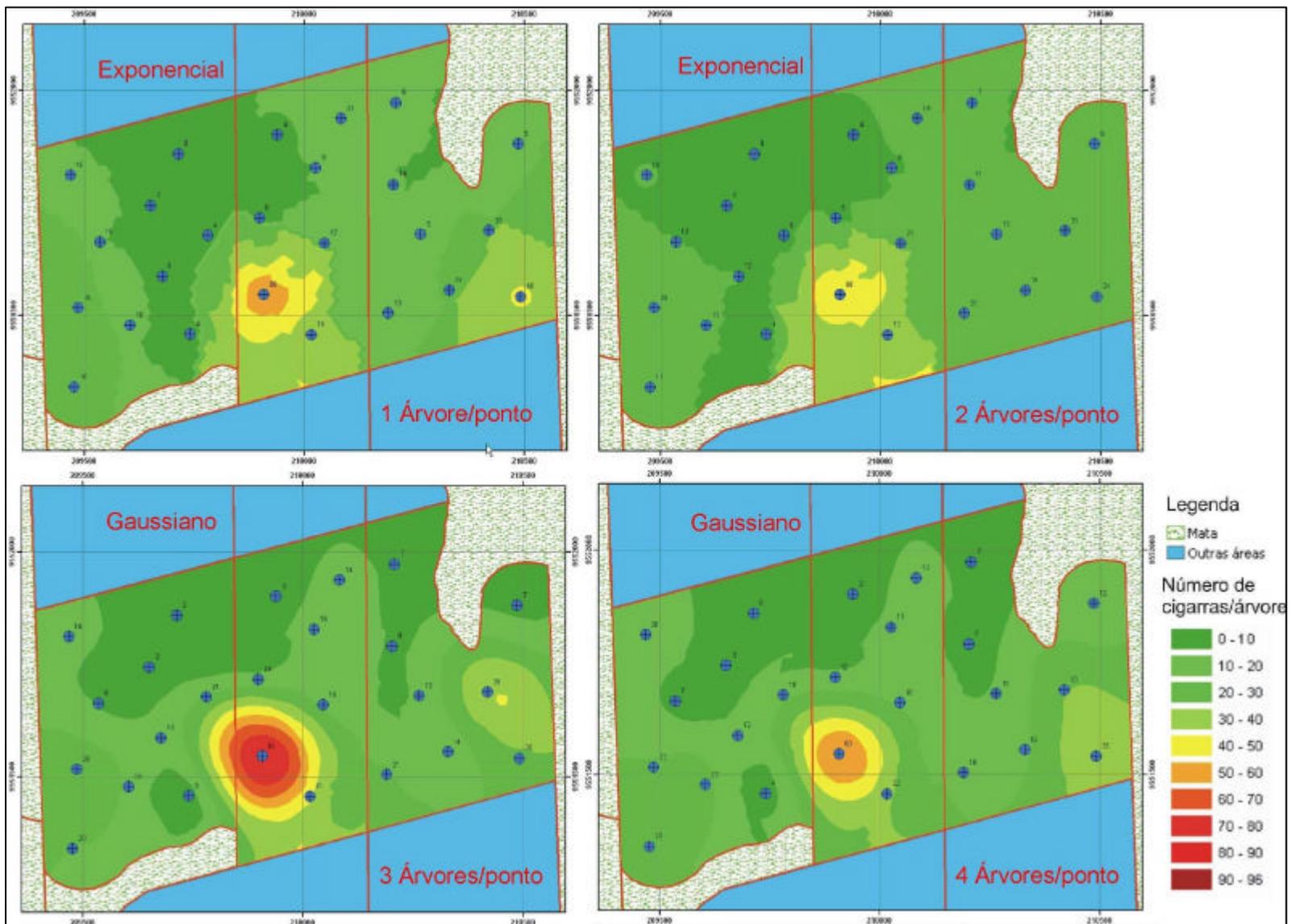
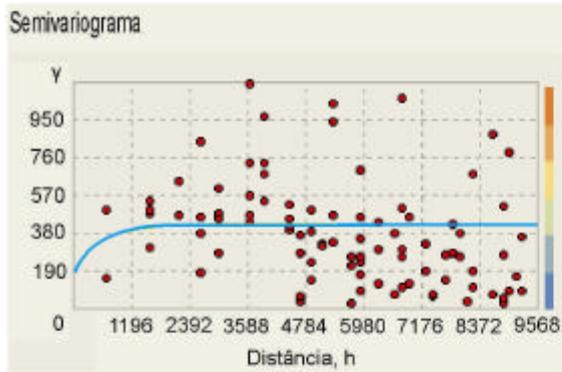
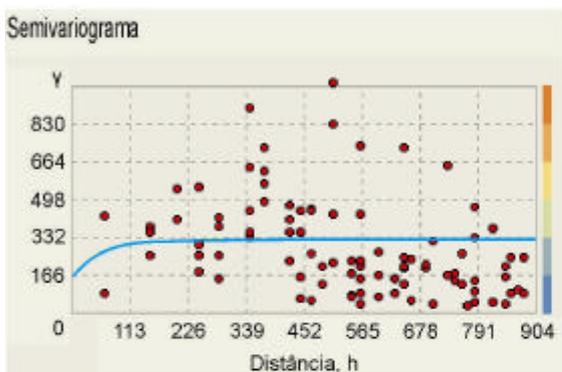


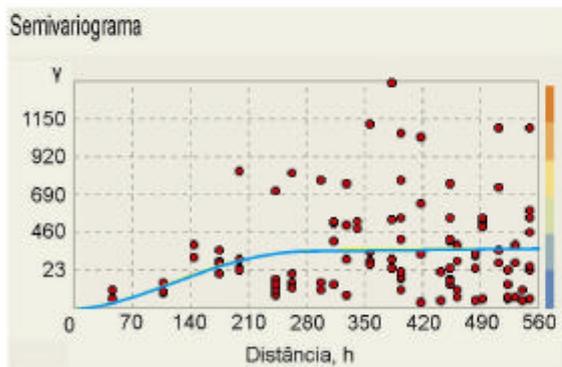
Figura 26 - Mapas do número de cigarras/árvore gerados usando a krigagem ordinária para diferentes números de árvores utilizadas por unidade amostral



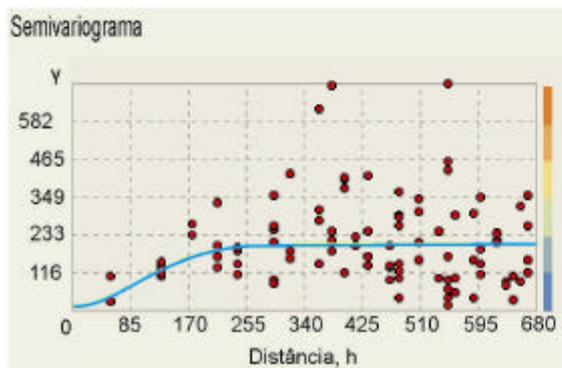
1-Árvore/ponto Exponencial  
 Alcace = 159,85 m  
 Contribuição = 240,73  
 Efeito Pepita = 181,32  
 Tamanho Lag = 105 m  
 Num. Lag = 9



2-Árvore/ponto Exponencial  
 Alcace = 152,24 m  
 Contribuição = 167,3  
 Efeito Pepita = 154,08  
 Tamanho Lag = 100 m  
 Num. Lag = 9



3-Árvore/ponto Gaussiano  
 Alcace = 272,73 m  
 Contribuição = 361,36  
 Efeito Pepita = 0,36136  
 Tamanho Lag = 70 m  
 Num. Lag = 8



4-Árvore/ponto Gaussiano  
 Alcace = 236,31 m  
 Contribuição = 187,35  
 Efeito Pepita = 15,705  
 Tamanho Lag = 85 m  
 Num. Lag = 8

Figura 27 - Modelos de semivariogramas usados para gerar os mapas de krigagem para as diferentes estratégias de amostragem

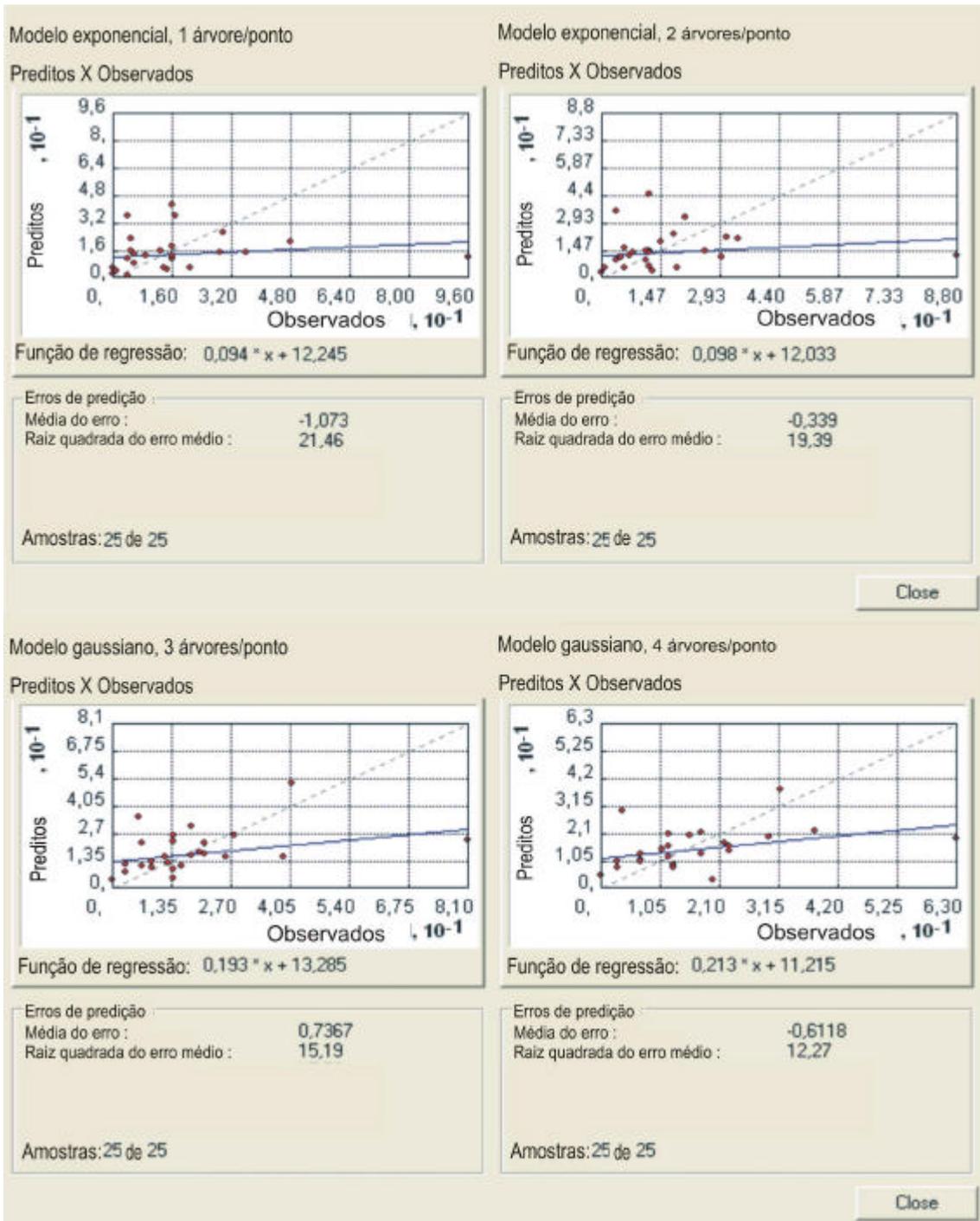


Figura 28 - Validação cruzada para mapas da distribuição de cigarras/árvore para as diferentes estratégias de amostragem, gerados a partir de krigagem com o uso de diferentes modelos de semivariograma

#### 4.5. Inverso do quadrado da distância (IQD) aplicado à amostragem realizada em julho de 2005

O método do IQD aplicado a cada uma das quatro estratégias de amostragens (1, médias de 2, 3 e 4 árvores por ponto), apresentaram certa diferenciação, tanto em nível de mapas, conforme apresentados na Figura 29, quanto nos resultados da validação cruzada, apresentados na Figura 30.

Como pode ser observado na Figura 29, as feições dos mapas foram se alterando à medida que se aumentou o número de árvores por unidade amostral. Nas estratégias de amostragens com menos árvores por ponto, houve tendência das feições apresentarem picos mais expressivos do que nas áreas onde foram usadas mais árvores por unidade amostral. Isto se deve à suavização das feições do mapa provocada pelo uso da média de mais árvores na composição das unidades amostrais. Isto torna os mapas mais constantes espacialmente, aumentando a afinidade entre os valores de pontos próximos.

O mesmo efeito positivo é notado na precisão do mapeamento e pode ser visualizado através da validação cruzada, aplicada para as quatro estratégias diferentes usando o IQD (Figura 30). Houve uma melhora gradativa na relação entre os valores preditos e os observados, à medida que se aumentou a quantidade de árvores por unidade amostral. Isto pode ser verificado pela tendência de aumento no valor de  $b_1$ , acompanhado da redução de  $b_0$ , no ajuste da regressão linear ao gráfico de valores predito versus observados.

Esta melhora também é reforçada pelo decréscimo no valor de RQEM, que obedeceu a uma tendência de queda regular com valores 21,27; 18,82; 15,00 e 12,18, indicando que o erro associado ao mapa diminuiu com o aumento na quantidade de árvores por ponto. Desta forma, a melhor estratégia de amostragem de julho de 2005 foi aquela que usou o valor médio do número de cigarras/árvore calculado usando as quatro árvores amostradas nos pontos, a exemplo do que se concluiu na análise feita através da krigagem.

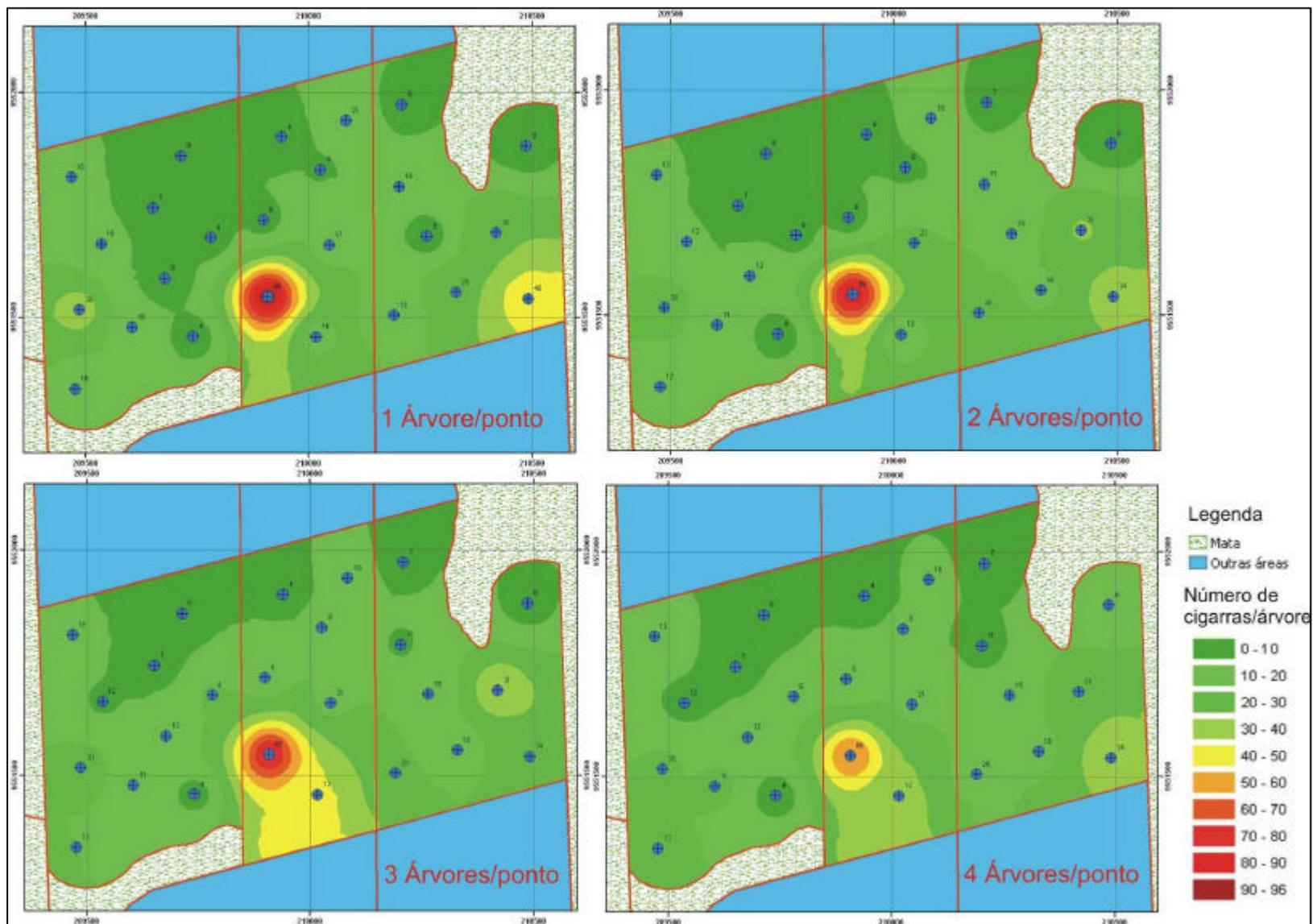


Figura 29: Mapas da distribuição de cigarras/árvore para as diferentes estratégias de amostragem gerados a partir do inverso do quadrado da distância

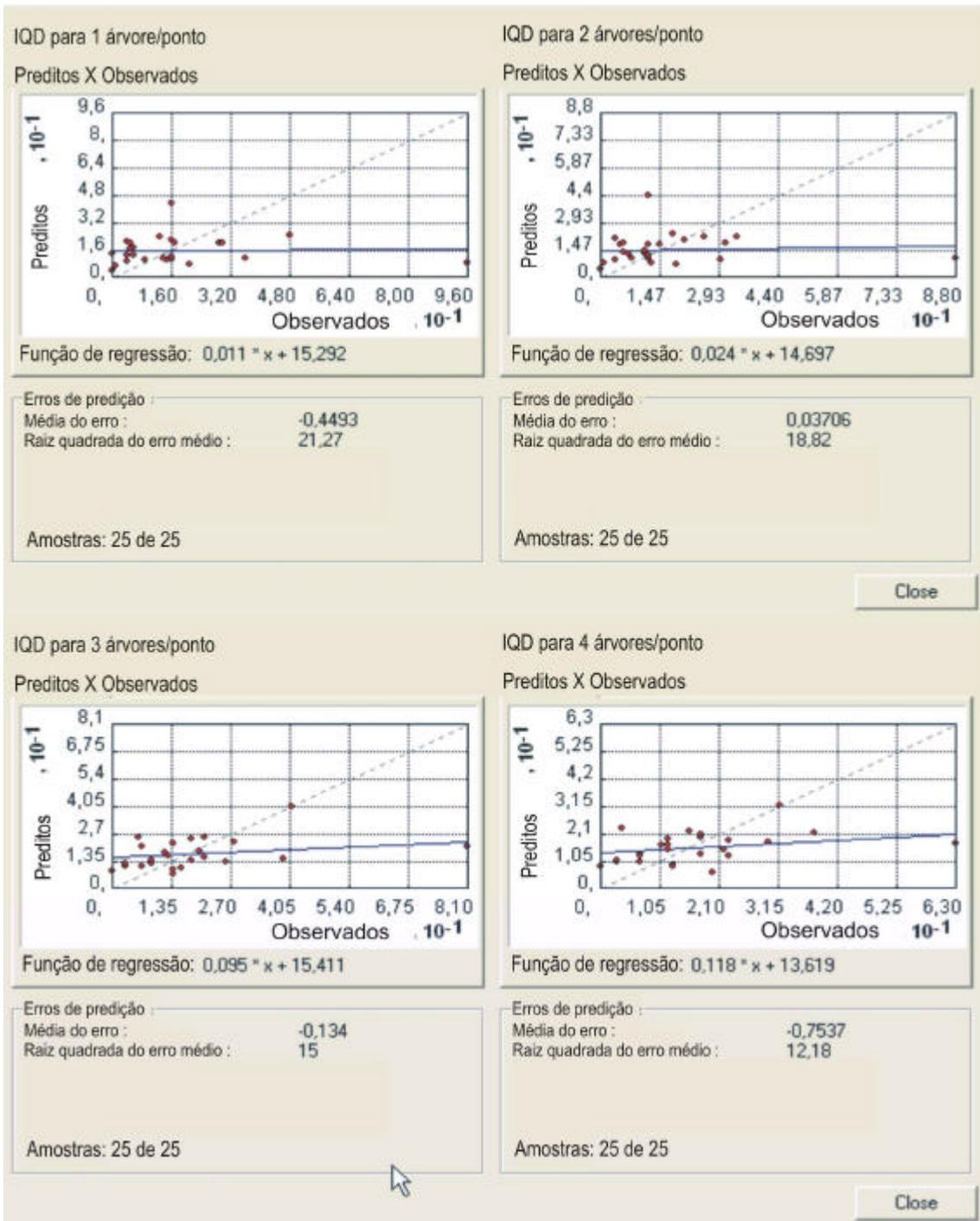


Figura 30: Validação cruzada para mapas da distribuição de cigarras/árvore para as diferentes estratégias de amostragem gerados a partir do inverso do quadrado da distância

#### **4.6. Comparação entre krigagem e inverso do quadrado da distância, aplicados à amostragem de julho de 2005.**

Uma vez avaliadas as melhores estratégias de amostragem e ajustados os melhores modelos de semivariograma para a amostragem de julho de 2005, o uso dos dois métodos de interpolação (krigagem e IQD) foram comparados através da análise de seus mapas e validações cruzadas conforme apresentado na Figura 31.

Para a amostragem realizada em julho de 2005 o melhor mapa produzido através da krigagem apresentou-se muito semelhante ao melhor mapa gerado pelo IQD. Julga-se que esta similaridade entre os resultados se deve mais uma vez à fraca dependência espacial apresentada para o número de cigarras/árvore, conforme seria esperado pelas considerações sobre o efeito pepita e alcance de Isaaks & Srivastava (1989).

A Figura 31 apresenta os mapas gerados pela krigagem e IQD. Nota-se que tanto as feições do mapa de predição quanto os resultados da validação cruzada apresentaram resultados bem similares para os dois métodos de interpolação. No entanto, o valor do **b1** da regressão, entre os valores preditos e observados, foi ligeiramente superior para krigagem, revelando uma leve tendência de superioridade que foi observada ao longo da maioria das análises feitas anteriormente.

A dependência espacial muito fraca observada para o número de cigarras/árvore, não permitiu explorar o verdadeiro potencial da krigagem em produzir mapas de qualidade superior aos produzidos pelo método do IQD. Talvez esta performance relativamente ruim, apresentada pelos produtos gerados a partir da krigagem ordinária, sugira que seja necessário utilizar métodos de krigagem que levem em consideração outros fatores relacionados à presença do inseto na área, conforme sugerido por Gilbert et al. (2001).

No entanto, o método da krigagem apresentou vantagens sob o ponto de vista da análise dos resultados e na definição do parâmetro raio de busca para vizinhos, usados na interpolação. Os ajustes dos modelos de semivariograma da krigagem disponibilizaram uma série de indicativos a respeito do comportamento espacial do fenômeno, o que enriqueceu de forma acentuada as análises, fornecendo recursos para melhor direcionar as estratégias de amostragens futuras.

Uma grande dúvida que sempre fica pendente quando se usa o método IQD é: Qual o raio de busca de vizinhos que deve ser usado na interpolação? No IQD não existem critérios para a determinação do raio de busca, pois não se sabe até onde vão os

efeitos da dependência espacial dos pontos; os raios de busca são qualificados empiricamente através de tentativa e erro. Neste trabalho foi visto que o raio de busca de 2000 metros, sugerido pelos trabalhos convencionais realizados na empresa fornecedora dos dados, não é adequado, pois os semivariogramas ajustados para as duas amostragens revelaram valores de alcance sempre menores que 700 metros, mas isto só pôde ser concluído pela avaliação geoestatística das unidades amostrais.

O semivariograma também permitiu avaliar a qualidade da amostragem, visto que os semivariogramas gerados sempre com alcances pequenos e próximos do valor da menor distância entre os pontos, com efeitos pepita elevados e pequenas contribuições, revelaram que poderá estar ocorrendo variação em pequena escala e que possa ser necessário aumentar a intensidade da amostragem, em concordância com as considerações de Câmara et al. (2002).

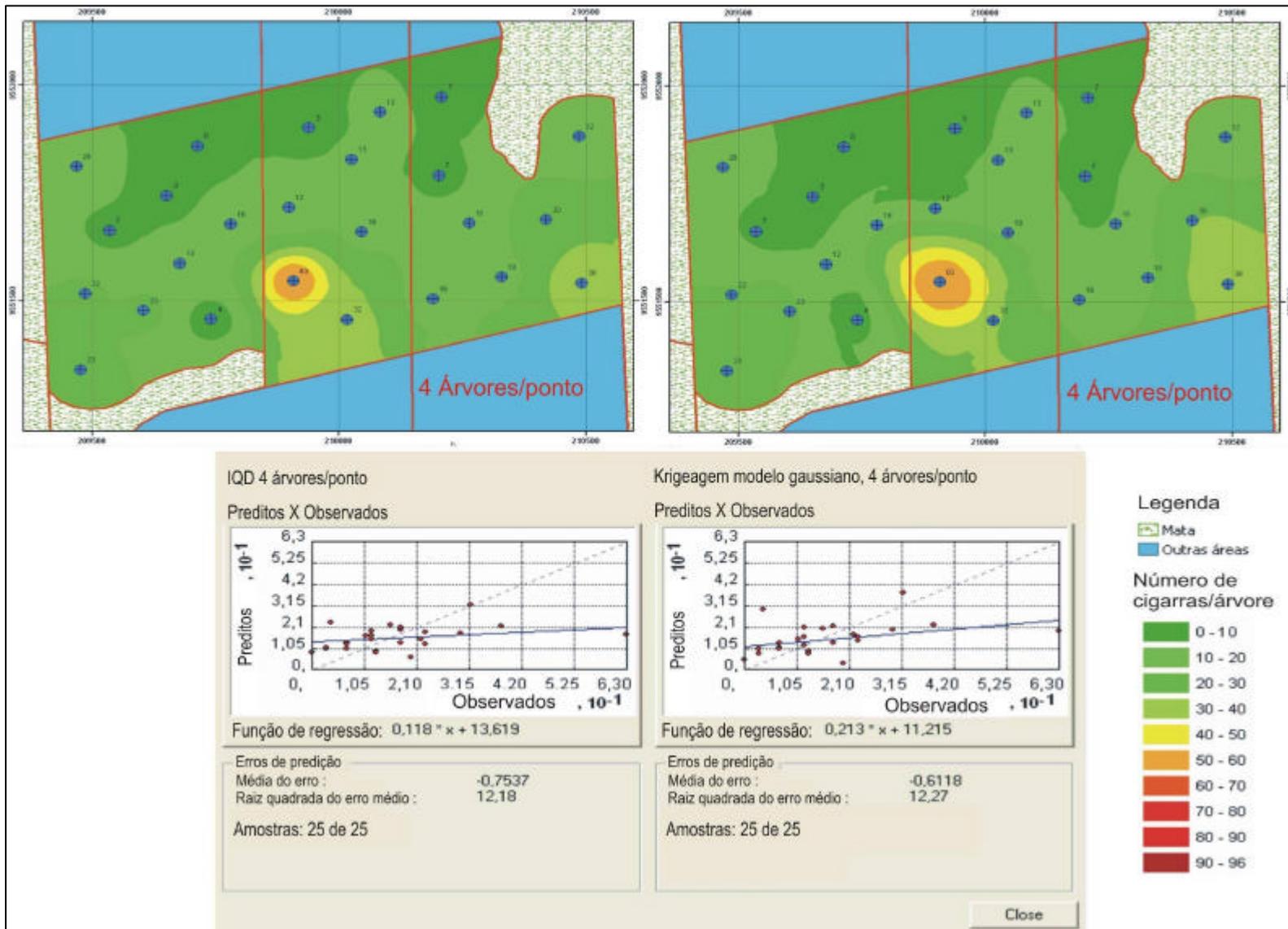


Figura 31: Mapas de predição de cigarras/árvore para as diversas estratégias de amostragem elaborados através do método IQD e da krigagem, com suas respectivas validações cruzadas.

#### 4.7. Considerações finais

Os resultados insatisfatórios quanto à precisão dos mapas de predição expressos pelas validações cruzadas nas duas amostragens (Outubro de 2004 e Julho de 2005), que foram realizadas com diferentes intensidades amostrais, sugerem que a intensificação das amostras não garantiu boa melhora na qualidade dos mapas de predição de cigarras/árvore. Considerando-se as melhores estratégias de amostragens para cada um dos métodos de interpolação usados nas duas amostragens, com a redução da intensidade amostral de 1 unidade amostral a cada 30 hectares, para 1 unidade amostral a cada 3 hectares, o valor da RQEM diminuiu de 17 para próximo de 12. Apesar da melhora deste parâmetro, a relação entre os valores preditos e observados da validação cruzada nunca apresentou  $b_1$  próximos de 1, como seria desejado, inclusive este valor nunca foi superior a 0,4, bem como o  $b_0$  nunca esteve próximo de 0 como seria ideal.

Além dos elevados erros de predição mencionados anteriormente, a fraca dependência espacial detectada para o número de cigarras/árvore foi fator determinante para a reprovação das estratégias de amostragem usadas nesta pesquisa. Diversos indicativos permitiram verificar esta fraca dependência espacial, entre eles:

- Pequena variação entre os resultados da krigagem ordinária e do inverso do quadrado da distância, conforme sugerido por Isaaks & Srivastava (1989).
- Valores do alcance sempre muito próximos do valor da distância mínima entre os pontos, bem como pequenos valores de contribuição e altos valores para o efeito pepita, que exprimem uma rápida perda de continuidade do semivariograma, o que indica fraca dependência espacial, conforme as mesmas considerações de Isaaks & Srivastava (1989).
- Gráficos de semivariogramas sempre com poucos pontos localizados dentro da faixa do alcance, resultando em poucos pontos bem aderidos à curva do modelo que expressa o comportamento da dependência espacial.

Fatores que podem ter ocasionado esta baixa relação:

- Poucas unidades amostrais – têm relação direta com o sistema de amostragem tradicional, visto que o número de pontos influencia diretamente o custo da amostragem, que é bastante elevado. O sistema de amostragem convencional de cigarras em plantios de paricá impõe sérias restrições quanto ao número de pontos, devido à dificuldade em se operacionalizar o procedimento. O uso de poucas unidades amostrais pode ter dificultado a detecção de forte dependência espacial e a presença de observações discrepantes pode ter influenciado consideravelmente a descontinuidade do semivariograma, efeitos estes previstos por Isaaks & Srivastava (1989).
- Amostragem inadequada – pode ter gerado excessivos erros na captação das quantidades do fenômeno o que segundo Isaaks & Srivastava (1989), evita a expressão da dependência espacial, contribuindo para o aumento da aleatoriedade dos dados, mascarando as possíveis tendências que poderiam ser mais bem modeladas pelos semivariogramas.
- Variação em pequena escala – pode ser que a dependência espacial para este fenômeno esteja ocorrendo em distâncias menores que a distância mínima entre os pontos usados nestas amostragens, impedindo que as amostragens sejam capazes de captar os efeitos desta dependência, segundo as considerações de Câmara et al. (2002), isto justificaria a intensificação da amostragem.
- Em oposição à consideração anterior, pode ser que a dependência esteja ocorrendo em distâncias mais amplas, devido à capacidade de vôo do inseto em sua fase reprodutiva ser alta, tornando a incidência do inseto aleatória dentro da área estudada.

Estes indicativos revelam que talvez seja necessário pensar em procedimentos alternativos de amostragens para as cigarras no paricá, que permitam a seleção de uma maior quantidade de unidades amostrais e que tenham informações mais precisas a respeito da quantidade de insetos localizados em uma determinada área, evitando o que foi alertado por Isaaks & Srivastava (1989), onde os efeitos de unidades amostrais insuficientes, erros de amostragem, observações discrepantes e “outliers”, possam impedir a detecção da dependência espacial.

## 5. CONCLUSÕES

Como principais conclusões podem ser citadas as que seguem:

- O número de cigarras/árvore apresentou fraca dependência espacial, o que ocasionou grande semelhança nos resultados observados para os diversos métodos de interpolação e estratégias de amostragens usadas.
- Houve tendência de aumento da dependência espacial, bem como de redução no erro de estimativa dos mapas, à medida que se aumentou a quantidade árvores por unidade amostral.
- A intensidade amostral de 1 ponto a cada 30 hectares demonstrou-se insuficiente para detectar dependência espacial do número de cigarras/árvore, o que tende a invalidar procedimentos de amostragem pouco intensos.
- O número reduzido de unidades amostrais pode ter influenciado na detecção da dependência espacial, aumentando o poder de influencia de observações discrepantes, e levando a rápida perda de continuidade do semivariograma.
- Dadas as circunstancias da dependência entre os dados, a krigagem ordinária apresentou mínimas vantagens sobre o método do IQD na geração dos mapas de dispersão de cigarras nos povoamentos de paricá.

## 6. BIBLIOGRAFIA

BEAMER, R. H. **Biology of Kansas Cicadidae**. Kansas: Kansas University Science, 1928, p. 155-263, bulletin 18.

BOULARD, M. **Notes sur la biologie larvare de lãs cigales (Hom. Cicadidae)**. *Annles de la Société Entomologique de France*. V-1. n-3. Paris, 1965, p. 503-521.

BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. Oxford, Clarendon Press, 1987. 193p.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V.; CARVALHO, S. D. M. S. **Análise Espacial e Geoprocessamento**. São José dos Campos, INPE, 2002. 106p.

DELFINER, P.; DELHOMME, J. P. Optimum interpolation by Kriging. In: Davis, J. C.; McCullagh, M. J. ed. **Display and analysis of spatial data**. New York, John Wiley, 1975. p. 96-114.

DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. **Análise espacial de dados geográficos**. Distrito Federal: Planaltina, 2004, 209 p.

FONSECA, J. P. **As cigarras do cafeeiro e o seu combate**. *Boletim Agrícola*. v-8. 1945, p. 297-304.

GILBERT, M.; GRÉGOIRE, J. C. **Site condition and predation influence a bark beetle's success: a spatially realistic approach**. *Agricultural and Forest Entomology* Vol. 5, ed. 2, p. 87, May 2003.

GILBERT, M.; VOULAND, G.; GRÉGOIRE, J. C. **Past attacks influence host selection by the solitary bark beetle *Dendroctonus micans***. *Ecological Entomology* Vol. 26, ed. 2, p. 133, April 2001.

ISAAKS, E. H. & SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford Universit, 1989, 561p.

KISHITA, M.; ARAKAKI, N.; KAWAMURA, F.; SADOYAMA Y.; YAMAMURA, K. **Estimation of population density and dispersal parameters of the adult sugarcane wireworm, *Melanotus okinawensis* Ohira (Coleoptera: Elateridae), on Ikei Island, Okinawa, by mark-recapture experiments.** Appl. Entomol. Zool. 38 (2): 233–240 (2003).

KRIGE, D.G. **A statistical approach to some basic mine evaluation problems on the Witwatersrand Johannesburg Chemistry Metallurgy Mining Society South African,** 52 (6): 119-139, 1951.

LE COINT, P. **Árvores e plantas úteis (indígenas e aclimadas).** 2. ed. São Paulo: Nacional, 1947. 496 p. (Brasiliana, 251).

LIMA, S. F. ; CUNHA, R. L.; et al.. **Comportamento do paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke herb.) submetido à aplicação de doses de boro.** Revista Cerne, V-9. n-2 Lavras: UFLA, jul./dez. 2003, p. 192-204.

MACCAGNAN, D. H. B. **Descrição e caracterização de ninfas de algumas espécies de cigarras (hemíptera: cicadidae; tibicinidae) associadas ao cafeeiro.** Dissertação de mestrado. Jaboticabal: UNESP, 2003, 68p.

MAIER, C. T. **A mole's-eye view of seventeen-year periodical cicada nymphs, Magicicada septendecim (Hemiptera: Homoptera: Cicadidae).** *Annals of the Entomological Society of America.* V-73, n-2, 1980.

MARTINELLI, N.M.; ZUCCHI, R.A. **Primeiros registros de plantas hospedeiras de *Fidicina mannifera*, *Quesada gigas* (Oliver) e *Dorisiana drewseni* (Hemiptera: Cicadidae).** *Revista de Agricultura*, v.72, p.271-281, 1997.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. *Economic Geology*, 58 (8): 1246-1266, Dec. 1963.

MATHERON, G. **The theory of regionalized variables and its applications.** Paris, Lês Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique de Fontainebleu, 1971. 211p.

MURPHY, P.A. & STERNITZKE, H.S. **Growth and yield for loblolly pine in West Gulf.** U.S. Dep. Agric. For. Serv. Res. Pap. SO-154, 8 p. 1979.

TOBLER, W. R **A computer model simulating urban growth in Detroit region.** Economic Geography, 46: 234-240, 1970.

ZAMBOLIM, L. **Manejo integrado: Fruteiras tropicais - doenças e pragas.** Viçosa: UFV, 2002, 672p.

ZANUNCIO, J.C.; et. Al. **Occurrence of *Quesada gigas* (Oliver) on *Schizolobium amazonicum* (Huber ex Ducke) trees in Maranhão and Pará States, Brazil.** Pesquisa agropecuária brasileira. Vol. 39, número9, Brasília: Embrapa, Sept. 2004.