

# Uso da Geoestatística no Estudo da Relação entre Variáveis Dendrométricas de Povoamentos de *Eucalyptus sp.* e Atributos do Solo

## Geostatistics Applied to the Study of the Relationship Between Dendrometric Variables of *Eucalyptus sp.* Populations and Soil Attributes

Tais Moreli Cambahuva Rufino<sup>1</sup>

Claudio Roberto Thiersch<sup>1</sup>

Sebastiao Oswaldo Ferreira<sup>1</sup>

Honório Kanegae Junior<sup>1</sup>

Daniel Fais<sup>1</sup>

### Resumo

A presente pesquisa tem o objetivo de avaliar a aplicação de uma metodologia empregando técnicas de geoestatística e geoprocessamento para o mapeamento da variabilidade espacial do potencial produtivo e atributos do solo em dois projetos com clones de *Eucalyptus sp.* oriundos de plantações comerciais pertencentes à VCP. A partir de dados dendrométricos e de análise química e física do solo, foram gerados mapas de krigagem. Foi utilizada a Krigagem Ordinária exponencial, adotando a interferência entre os pontos como sendo a metade da maior distância entre seus pontos extremos. Com os mapas de Krigagem foi possível observar nos dois projetos uma relação entre as variáveis dendrométricas. De maneira geral não foi observada uma boa correlação entre os mapas de krigagem das variáveis de solo e das variáveis dendrométricas. O emprego da análise geoestatística combinada a técnicas de geoprocessamento, mostrou-se eficaz para mapear a variabilidade espacial da produtividade da população e os atributos do solo. Portanto, recomenda-se o emprego desta ferramenta nos procedimentos de Inventário Florestal.

**Palavras-chave:** silvicultura de precisão; krigagem; geoprocessamento; inventário florestal; fertilidade do solo.

---

<sup>1</sup>Votorantim Celulose e Papel – VCP, Time de Planejamento Florestal, Rodovia SP 255 km 41,240, CEP 14210-000 - Luiz Antônio, São Paulo, Brasil. E-mail: tais.rufino@vcp.com.br; claudio.thiersch@vcp.com.br; ext.sebastiao.ferreira@vcp.com.br; honorio.kanegae@vcp.com.br; daniel.fais@vcp.com.br.

## **Abstract**

The present research has the goal to evaluate the application of a methodology employing geostatistic and geoprocessing techniques for the mapping of the spacial variability of the productive potential and soil attributes in two stands with clones of *Eucalyptus sp.* originated from commercial plantation belonging to VCP. From dendometric data as well as chemical and physical analysis, krigage maps were made. The exponential Ordinary Krigage was used, adopting the interference between the stands as half of the major distance between their extreme points. With the krigage maps it was possible to observe the relationship among the dendometric variables in the stands. Generalizing, it was not observed a good correlation among the krigage maps of the soil variables and dendometric variables. The employment of the geostatistic analysis combined with geoprocessing techniques was considered efficient to map spatial variability of the productivity of the population and the soil attributes. Therefore, the use of this tool is recommended for Forestry Inventory procedure.

**Key words:** precision silviculture; krigage; geoprocessing; forest inventory; soil fertility.

## **Introdução**

Uma característica marcante em áreas reflorestadas é a sua aparente homogeneidade, contudo, é freqüente a observação de variações significativas ao longo do plantio. Estas variações podem ser devido a vários fatores, dentre eles: solo, topografia, variações na prática silvicultural de plantio e outros. O conhecimento dessas variações é importante para o inventário e o manejo florestal. Assim, um detalhado estudo da relação entre capacidade produtiva de povoamento de eucalipto, atributos do solo e do relevo, isto é, do potencial produtivo e das principais limitações à produção de uma determinada área ou região, torna-se essencial quando se tem como objetivo o manejo racional da floresta e do solo, evitando a exaustão química e a degradação de seus atributos físicos, visando à máxima produtividade sustentável, assim como sua produção.

Os benefícios proporcionados pela Agricultura de Precisão são diversos; (BATCHELOR et. al., 1997) e (CAMPO, 2000) citaram como benefícios: redução do risco da atividade agropecuária; redução dos custos de produção; rápidas tomadas de decisão; maior produtividade das lavouras e melhoria das condições do meio ambiente pelo emprego, o mais próximo possível de suas reais necessidades, de insumos, com apreciável redução de poluição e menor esgotamento do solo, com maior vida útil do mesmo.

Pode-se definir a Silvicultura de Precisão como um conjunto de técnicas de sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica aplicáveis ao Manejo Florestal com o objetivo de prever o comportamento espacial da produtividade das florestas. Além destas técnicas, emerge a aplicação de técnicas baseadas na estatística espacial, notadamente geoestatística, com o objetivo de, a partir da coleta de informações no campo, desenvolver mapas de produtividade na área plantada.

Mediante o exposto, o objetivo geral desta pesquisa foi definir os padrões de variação de diferentes variáveis dendrométricas e do solo. Como objetivo específico, buscou-se verificar a existência de correlações entre as variáveis analisadas visando definir a posição ideal de locação das parcelas contínuas de monitoramento do crescimento e da produção realizado pelo inventário florestal.

## **Materiais e Métodos**

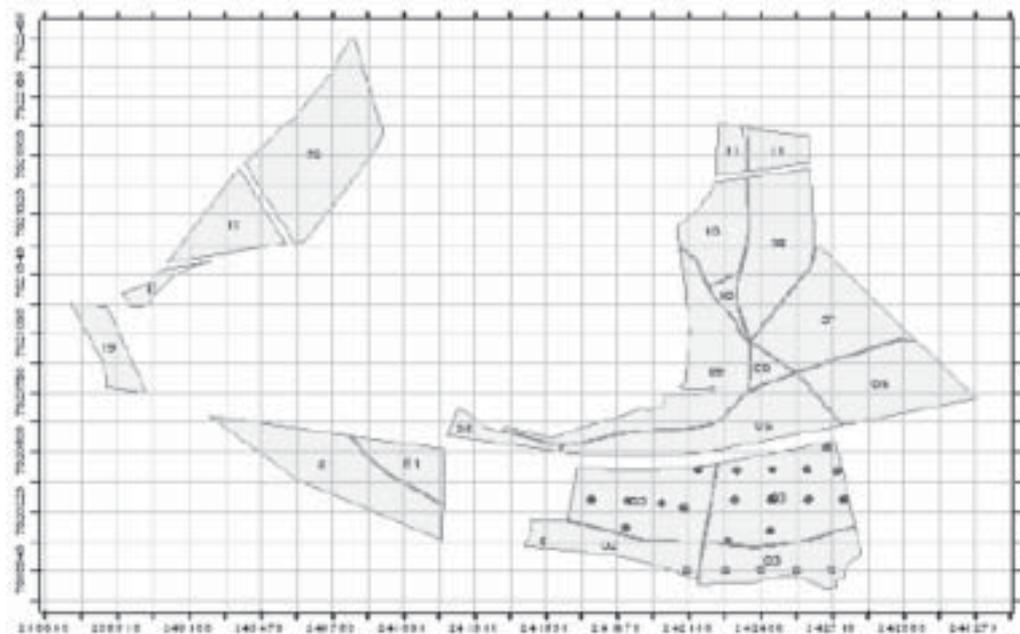
Os dados do presente estudo foram oriundos de florestas plantadas de *Eucalyptus sp* da Votorantim Celulose e Papel - VCP, na região de Luiz Antônio em dois projetos com características diferentes. Foram analisados 2 projetos florestais de 0,8 e 1,5 anos de idade, plantados em 2004, totalizando 110 hectares. Cada projeto teve dois talhões amostrados, que foram escolhidos visualmente, pois apresentavam diferença no crescimento dentro do talhão. Para intensificar a amostragem, as parcelas, circulares de 500m<sup>2</sup> (com o raio de 12,6m aproximadamente) foram fixadas em uma grade de 1 parcela a cada 2 hectares. Para mensurar o crescimento das árvores dentro do talhão, adotou-se o procedimento padrão do inventário florestal, levantando à circunferência a altura do peito e altura das árvores. Para a confecção dos mapas de krigagem, foram utilizadas 06 variáveis dendrométricas: Altura total média, Altura dominante, Área basal, Diâmetro médio quadrático, número de covas (levantamento de falha no plantio) e número de fustes (levando em consideração as árvores bifurcadas abaixo de 1,30m). Para o levantamento nutricional do solo, foram coletadas amostras dentro de cada parcela, para análise química e física padrão.

A localização das parcelas e suas coordenadas geográficas podem ser visualizadas nas figuras 1 e 2.

**Figura 1.** Mapa do projeto Limoeiro mostrando todos os talhões e as parcelas demarcadas



**Figura 2.** Mapa do Projeto Maristela mostrando todos os talhões e as parcelas demarcadas



### Mapas de Krigagem

Foi utilizada a Krigagem Ordinária exponencial, adotando a interferência entre os pontos como sendo a metade da maior distância entre os pontos extremos. Todos os dados estatísticos foram calculados utilizando a ferramenta Geostatistical Wizard do ArcMap.

Para a geração dos mapas de krigagem, inicialmente todas as parcelas que serviram de base para o estudo foram georeferenciadas. Localizadas todas as parcelas em

mapa digital, efetuou-se uma união entre a tabela de dados geográficos, a tabela de variáveis de inventário e a tabela de fertilidade do solo para cada projeto e medição, criando-se *layers*. Utilizou-se para tal o módulo *Geoestatistical Analyst* do software *ArcGis 8.3* da ESRI, do qual se obtiveram as interpolações por krigagem, para cada variável.

Com as interpolações pela krigagem, para cada variável foram definidos os *layers* de mapas vetoriais. É importante ressaltar que nenhum *outlier* foi retirado da base, visto que estes não são erros e, sim, características intrínsecas locais da variável analisada. Cada projeto teve 29 itens avaliados sendo 06 variáveis dendrométricas.

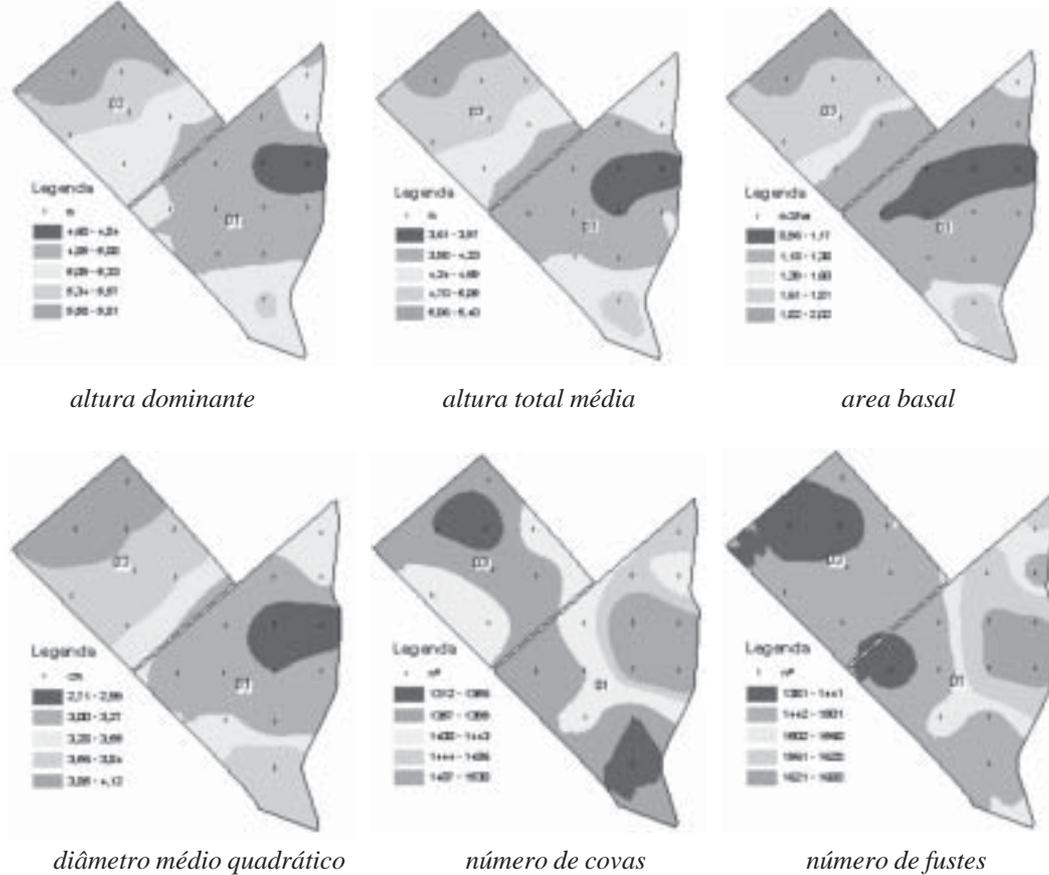
## Resultados e Discussão

Como ocorreu semelhança nos resultados e mapas dos dois projetos, aqui são expostos apenas os resultados obtidos no projeto Limoeir, conforme tabela 1 e figura 3.

**Tabela 1.** Dados Dendrométricos do Projeto Limoeiro

Telhão	parcela	H	G	DAPMAX	DAPMEDIO	DAPMIN	DG	HDOM	NCOVAS	NFUSTES
01	01	4,2	1,1	4,5	3,1	1,6	3,2	5,1	1360	1380
01	02	4,0	1,1	4,4	3,0	1,2	3,1	5,0	1440	1480
01	03	4,0	1,1	4,8	3,0	1,2	3,1	4,9	1400	1440
01	04	4,4	1,4	4,5	3,3	1,4	3,4	5,0	1420	1560
01	05	5,0	1,7	5,0	3,9	2,5	3,9	5,5	1300	1440
01	06	4,1	1,1	4,9	3,0	1,0	3,1	5,0	1340	1460
01	07	3,9	1,2	4,4	2,9	0,8	3,0	4,9	1520	1680
01	08	3,8	1,0	4,2	2,7	1,3	2,8	4,7	1540	1680
01	09	4,3	1,3	4,5	3,2	1,2	3,2	4,9	1460	1600
01	10	4,6	1,5	4,5	3,4	2,2	3,5	5,1	1480	1560
01	11	4,6	1,3	4,7	3,4	2,2	3,5	5,4	1420	1420
01	12	3,5	0,9	3,8	2,5	0,5	2,6	4,4	1500	1660
01	13	4,4	1,5	4,3	3,3	2,1	3,3	5,0	1540	1700
03	02	4,8	1,6	5,0	3,7	1,9	3,7	5,4	1460	1480
03	04	5,3	1,9	5,2	4,1	0,5	4,2	5,8	1340	1400
03	05	5,5	2,1	5,2	4,2	0,5	4,2	5,9	1360	1480
03	06	4,8	1,5	4,9	3,8	2,6	3,9	5,4	1300	1320
03	07	5,0	1,7	4,9	3,8	2,4	3,8	5,5	1380	1500
03	08	4,4	1,4	4,7	3,5	1,5	3,5	5,1	1420	1440
03	09	4,4	1,3	4,6	3,4	2,1	3,5	5,1	1360	1420
03	10	4,9	1,8	4,9	3,8	2,6	3,8	5,6	1460	1540

**Figura 3.** Mapas dendrométricos do Projeto Limoeiro



Todos os mapas de krigagem do Projeto Limoeiro apresentaram dependência espacial entre os pontos. Nota-se uma relação entre os mapas de krigagem das variáveis: Diâmetro médio quadrático, área basal, altura dominante e altura total, onde ficaram bem definidas as áreas de maior e menor crescimento, que condiz com as informações observadas em campo.

A mesma correlação pode ser observada nos mapas de krigagem do projeto Maristela, porém, os mapas de Número de covas e Número de fustes não apresentaram correlação espacial, o que é mais esperado para estas variáveis.

### **Dados Nutricionais**

Levando em consideração os níveis limites para cada nutriente, nota-se que a fertilidade do solo nos dois projetos é muito baixa, mesmo seguindo a recomendação de adubação recomendada pela pesquisa florestal. Nas figuras 4 (a,b e c), 5 e 6, são apresentadas as configurações que expressam os dados nutricionais e propriedades físicas do solo.

Figura 4 a- Mapas das configurações nutricionais e propriedades físicas do solo

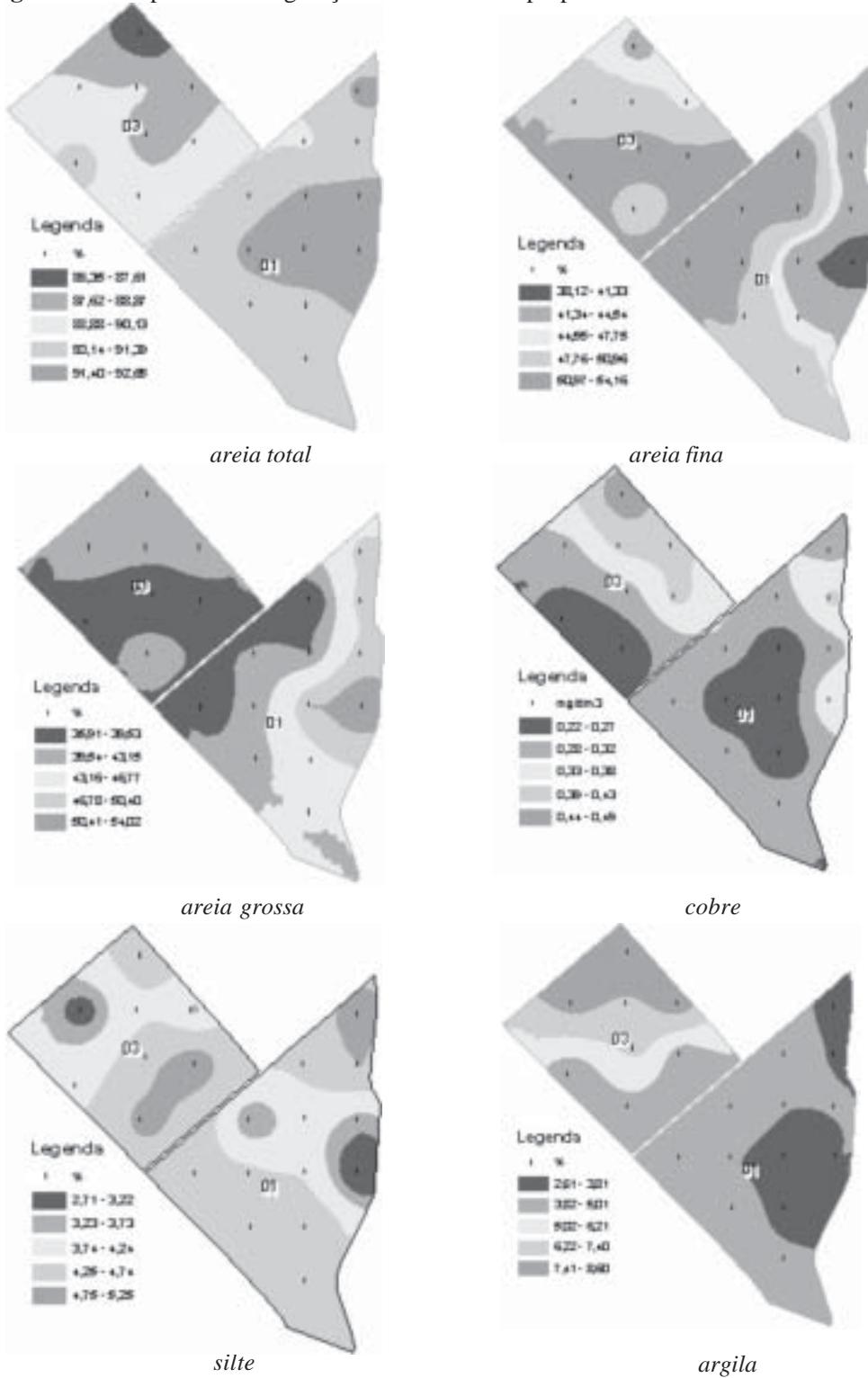
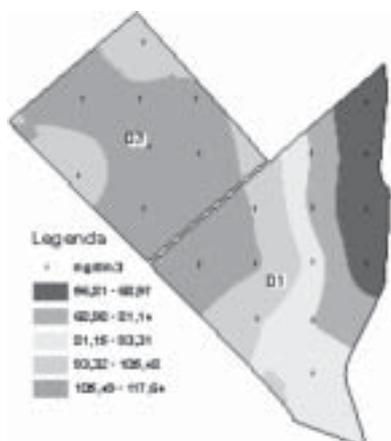
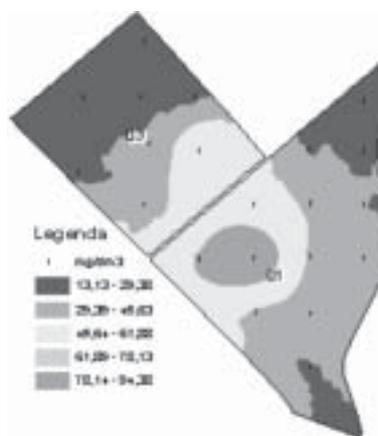


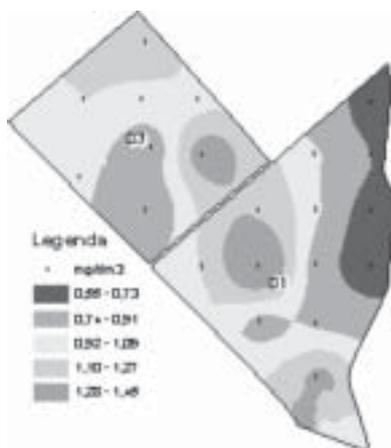
Figura 4 b- Mapas das configurações nutricionais e propriedades físicas do solo



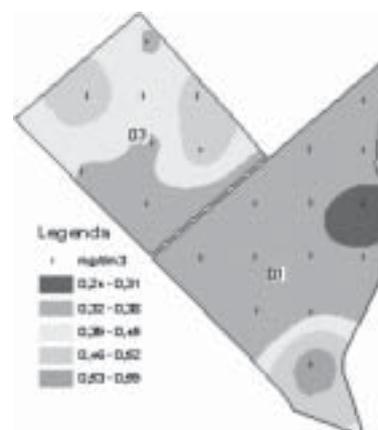
*ferro*



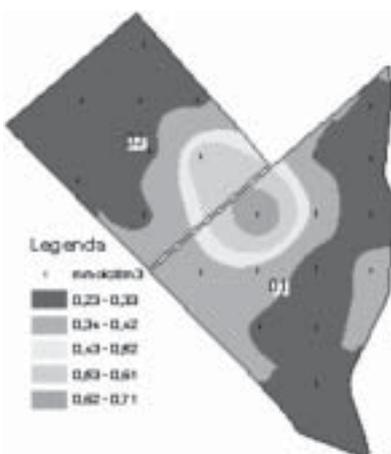
*fósforo disponível*



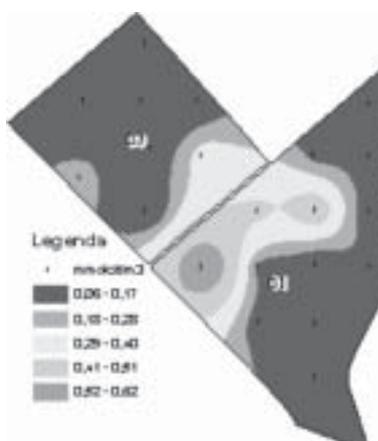
*manganês*



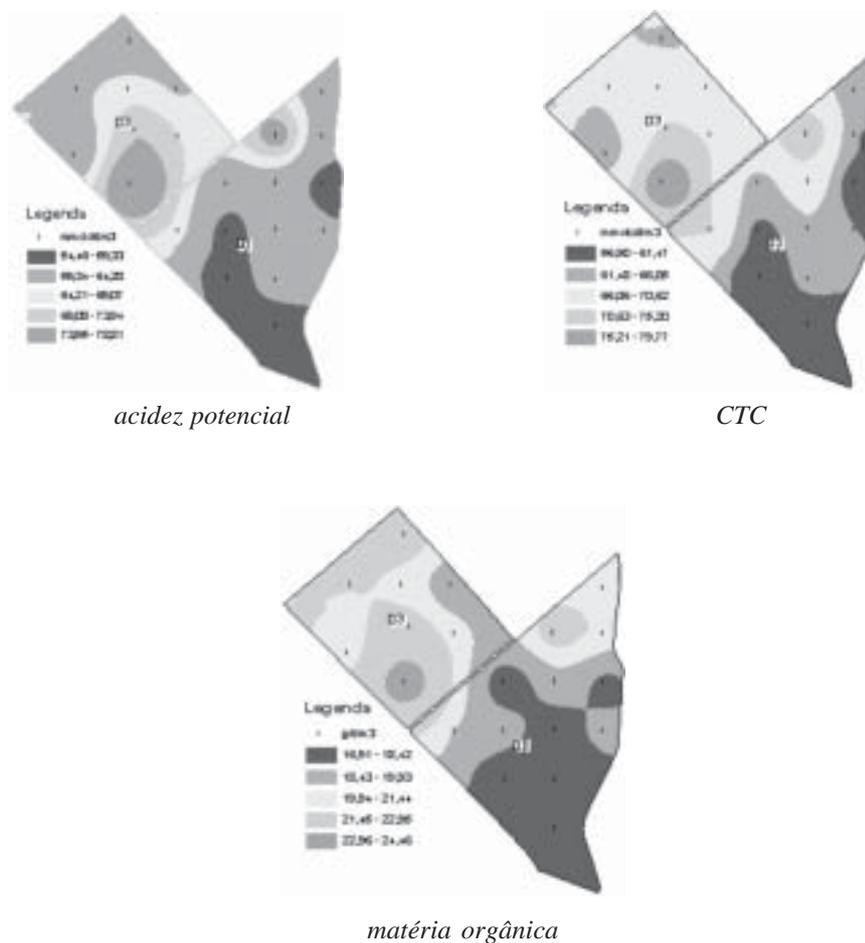
*zinco*



*potássio disponível*



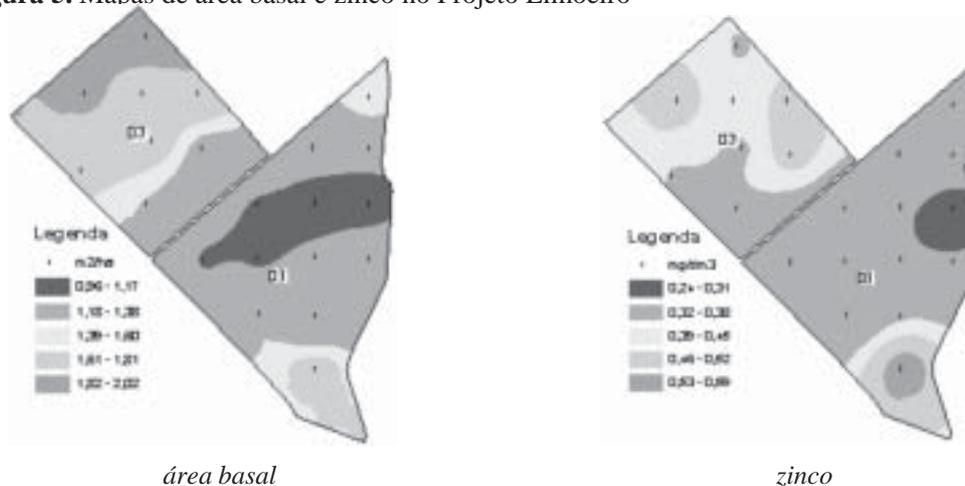
*sódio*

**Figura 4 c-** Mapas das configurações nutricionais e propriedades físicas do solo

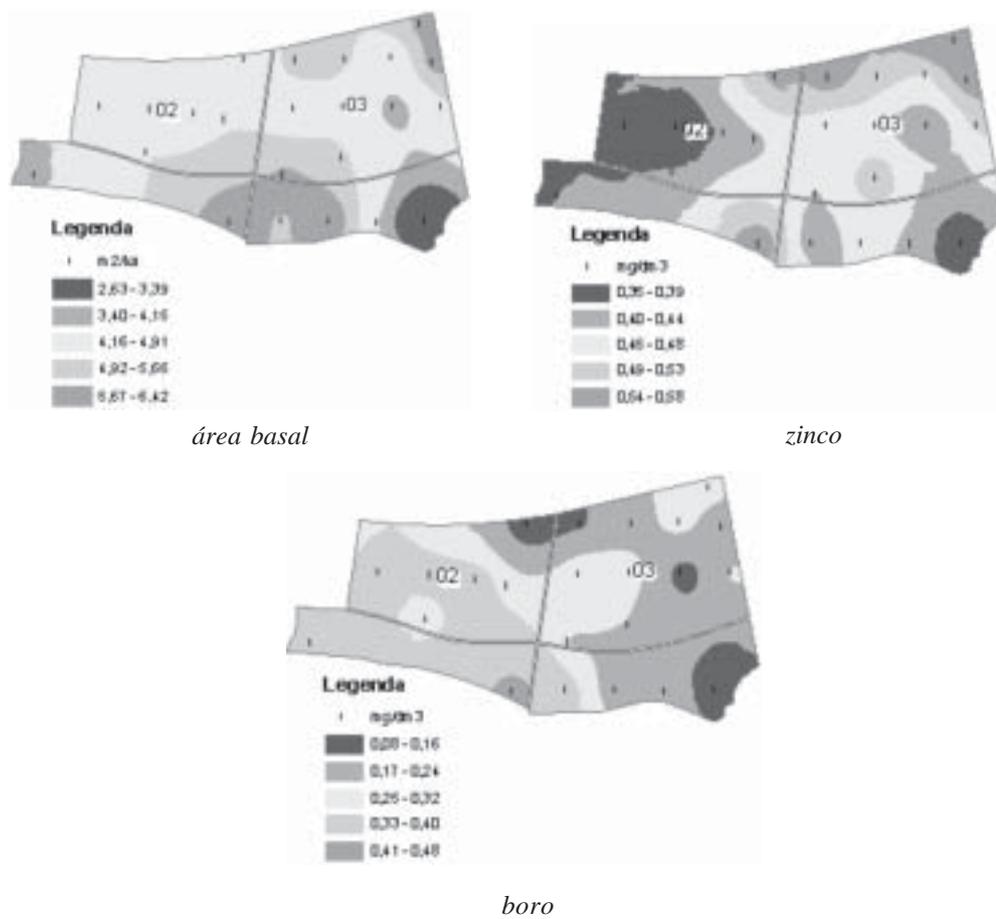
Os mapas de Alumínio Trocável, Boro, Cálcio, Enxofre, Magnésio Trocável, pH, Soma de Bases, V%, não apresentaram continuidade espacial, assim estas variáveis não apresentam mapas de krigagem.

De maneira geral, não foi observada uma boa correlação entre os mapas de krigagem das variáveis de solo e das variáveis dendrométricas. Os teores de zimo no projeto Limoeiro e os teores de zimo e boro no projeto Maristela entre as variáveis do solo foram os que apresentaram as melhores correlações pois apresentaram menores valores nas áreas de menor crescimento.

**Figura 5.** Mapas de área basal e zinco no Projeto Limoeiro



**Figura 6.** Mapas de área basal, zinco e boro no Projeto Maristela



A baixa correlação encontrada pode ser devida à baixa qualidade do solo, o qual é limitante em quase todos os nutrientes, fato que não permite evidenciar a correlação da produtividade com algumas variáveis do solo isoladamente.

## Conclusões

A abordagem via silvicultura de precisão será de fundamental importância para a otimização da produtividade da floresta e a conservação dos recursos naturais, inclusive concernente à preservação do solo.

O uso da krigagem é uma importante ferramenta na geração de estratos de processamento no inventário florestal, evidenciando o nível de correlação entre variáveis dendrométricas obtidas da mensuração.

Pressupõe-se que em solos menos restritivos do ponto de vista químico e físico, existam correlações mais fortes entre os estratos gerados por variáveis do solo e dendrométricas.

## Referências

- BATCHELOR, B.; WHIGHAM, K.; DEWITT, J. *Precision agriculture: introduction to precision agriculture*. Iowa Cooperative Extension, 1997. 4p.
- CAMPO, P. do. *Agricultura de precisão: Inovações do campo*. Piracicaba. 2000a. ([www1.portaldocampo.com.br/inovacoes/agric\\_precisao.htm](http://www1.portaldocampo.com.br/inovacoes/agric_precisao.htm)).
- KANEGAE JR, H. *Avaliação de sistemas de inventários sucessivos e dos interpoladores espaciais como instrumento de estratificação de povoamentos clonais de Eucalyptus sp.*, Lavras- UFLA, 2004
- MELLO, J. M. DE. *Geoestatística Aplicada ao Inventário Florestal*, Piracicaba - Esalq, 2004.
- ORTIZ, J.L. *Emprego do geoprocessamento no estudo da relação entre potencial produtivo de um povoamento de eucalipto e atributos do solo e do relevo*, Piracicaba - Esalq, 2003.