

# Ejemplos de aplicación de la Geoestadística en estudios ambientales y agronómicos

Ricardo Alves de Olinda

Universidade Estadual da Paraíba - UEPB  
Centro de Ciências e Tecnologia - CCT  
Departamento de Estatística  
ricardo.estat@yahoo.com.br

Centro de Telemática (CETE)

23 de julho de 2023

# Resumen

## 1 Representación computacional de datos georreferenciados

# Resumen

- 1 Representación computacional de datos georreferenciados
- 2 Qué es la estadística espacial?

# Resumen

- 1 Representación computacional de datos georreferenciados
- 2 Qué es la estadística espacial?
- 3 Compactación del suelo

# Resumen

- 1 Representación computacional de datos georreferenciados
- 2 Qué es la estadística espacial?
- 3 Compactación del suelo
- 4 Sistemas Agrosilvopastoriles

# Resumen

- 1 Representación computacional de datos georreferenciados
- 2 Qué es la estadística espacial?
- 3 Compactación del suelo
- 4 Sistemas Agrosilvopastoriles
- 5 Precipitaciones en el estado de Paraíba

# Resumen

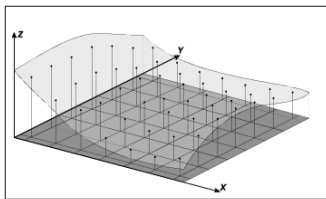
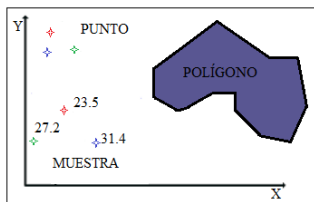
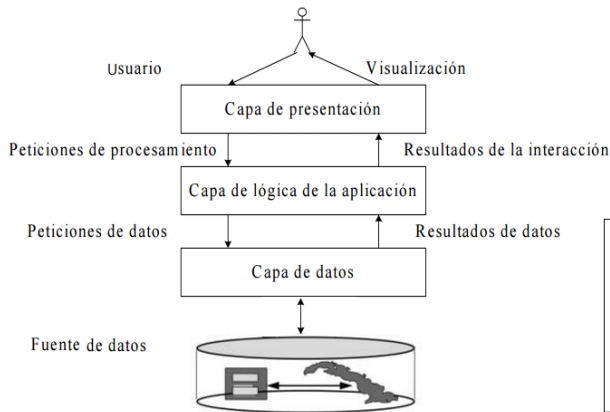
- 1 Representación computacional de datos georreferenciados
- 2 Qué es la estadística espacial?
- 3 Compactación del suelo
- 4 Sistemas Agrosilvopastoriles
- 5 Precipitaciones en el estado de Paraíba
- 6 Atributos Físico-Químicos

# Resumen

- 1 Representación computacional de datos georreferenciados
- 2 Qué es la estadística espacial?
- 3 Compactación del suelo
- 4 Sistemas Agrosilvopastoriles
- 5 Precipitaciones en el estado de Paraíba
- 6 Atributos Físico-Químicos
- 7 Metales pesados



# Representación computacional de datos georreferenciados



**Figura 1:** La arquitectura y los Sistemas de Información Geográfica; Geometría: Punto2D, Muestra, Polígono y Representación Geométrica de Rejilla Regular

# Qué es la estadística espacial?

## Qué es la estadística espacial?

Estadística espacial es la reunión de un conjunto de metodologías apropiadas para el análisis de datos que corresponden a la medición de variables aleatorias en diversos sitios (puntos del espacio o agregaciones espaciales) de una región.

- Datos obtenidos por entrevista sobre individuos que viven en Zacapa;
- Niveles de un contaminante en diferentes sitios de una parcela, contenidos auríferos de una mina;
- Valores de precipitación en Guatemala medida en las diferentes estaciones meteorológicas en un determinado mes;
- Tasa de accidentes de tránsito en la ciudad de Guatemala.

El problema en el análisis espacial considera tres tipos de datos:

- **Análisis de patrones de puntos.** Este tipo de análisis permite caracterizar la estructura espacial de un conjunto de puntos en función de parámetros como la densidad o las distancias entre puntos y su configuración en el espacio.

El problema en el análisis espacial considera tres tipos de datos:

- **Análisis de patrones de puntos.** Este tipo de análisis permite caracterizar la estructura espacial de un conjunto de puntos en función de parámetros como la densidad o las distancias entre puntos y su configuración en el espacio.
- **Autocorrelación espacial.** La autocorrelación espacial es un procedimiento intrínsecamente geográfico que nos puede decir mucho acerca del comportamiento de la información georreferenciada a diferentes escalas, en particular el tipo de asociación existente entre unidades espaciales vecinas.

El problema en el análisis espacial considera tres tipos de datos:

- **Análisis de patrones de puntos.** Este tipo de análisis permite caracterizar la estructura espacial de un conjunto de puntos en función de parámetros como la densidad o las distancias entre puntos y su configuración en el espacio.
- **Autocorrelación espacial.** La autocorrelación espacial es un procedimiento intrínsecamente geográfico que nos puede decir mucho acerca del comportamiento de la información georreferenciada a diferentes escalas, en particular el tipo de asociación existente entre unidades espaciales vecinas.
- **Datos de Superficies Continuas.** Son fenómenos que se distribuyen continuamente en una región. Por ejemplo: medidas de concentración de un elemento químico en el suelo.

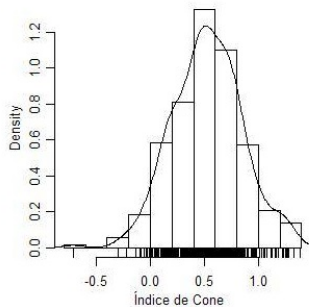
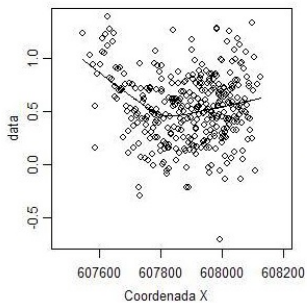
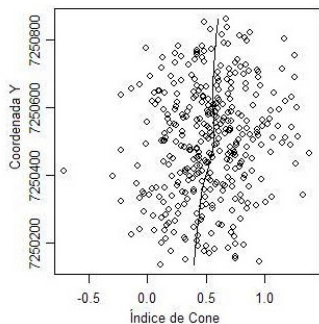
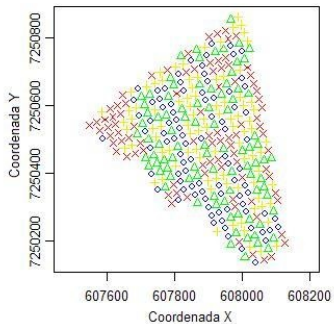
# USO DE TÉCNICAS GEOESTATÍSTICAS PARA DETERMINAR A DEPENDÊNCIA ESPACIAL DO ÍNDICE DE CONE NA ADEQUAÇÃO DE MALHAS AMOSTRAIS.

Ricardo Alves de Olinda - LCE, ESALQ/USP<sup>1</sup>

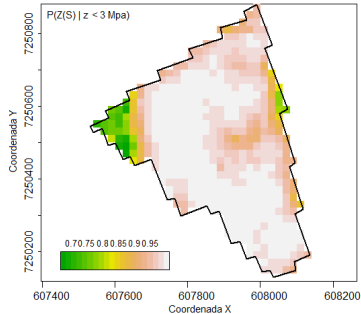
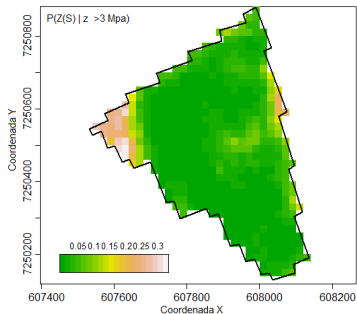
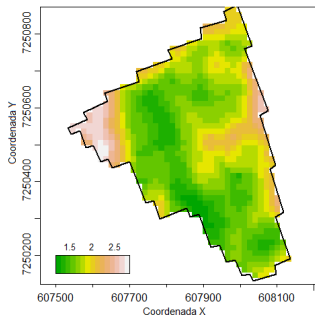
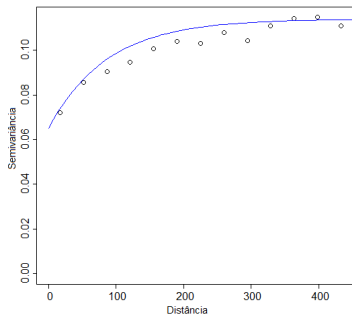
Paulo Justiniano Ribeiro Junior - LEG, UFPR/PR<sup>2</sup>

José Paulo Molin - LER, ESALQ/USP<sup>3</sup>









# MODELAGEM GEOESTATÍSTICA DA DISTRIBUIÇÃO DE CARBONO DO SOLO E BIOMASSA DE HERBÁCEAS EM SISTEMA SILVOPASTORIL NA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL

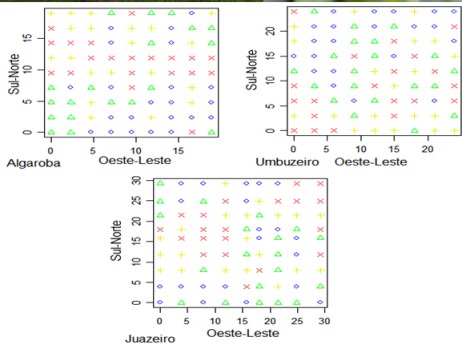


Marystella Duarte CORREIA<sup>1</sup>  
Rômulo Simões Cezar MENEZES<sup>2</sup>  
Ricardo Alves de OLINDA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Programa de Pós-Graduação em Biometria e Estatística Aplicada; CEP 52.171-900, Dois Irmãos, Recife, PE, Brasil. E-mail: [marystella.duarte@yahoo.com.br](mailto:marystella.duarte@yahoo.com.br).

<sup>2</sup> Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, Departamento de Energia Nuclear, CEP: 50.740-540, Recife, PE, Brasil. E-mail: [rmenezes@ufpe.br](mailto:rmenezes@ufpe.br)

<sup>3</sup> Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, Departamento de Estatística, CEP: 58.429-500, Campina Grande, PB, Brasil, E-mail: [prof\\_ricardo@cct.uepb.edu.br](mailto:prof_ricardo@cct.uepb.edu.br).



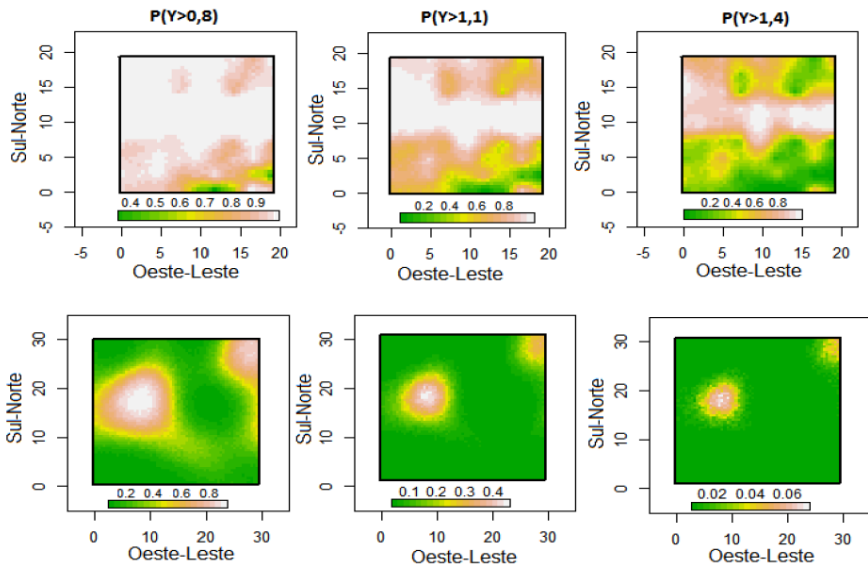


Figura 6 - Gráfico de predição de probabilidades condicionais. Probabilidade maior que os valores de referência para a variável carbono, junto à algaroba e juazeiro.

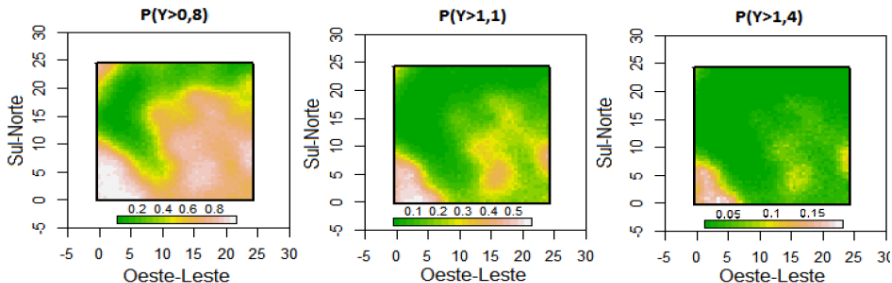


Figura 6 - Gráfico de previsão de probabilidades condicionais. Probabilidade maior que os valores de referência para a variável carbono, junto ao umbuzeiro.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOMETRIA E ESTATÍSTICA APLICADA**

## **Modelagem estocástica da variação espacial sob a precipitação pluvial do estado da Paraíba**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biometria e Estatística Aplicada como exigência parcial à obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. GUILHERME ROCHA MOREIRA  
Co-orientador: Prof. Dr. RICARDO ALVES DE OLINDA

RECIFE-PE - JUNHO/2014.

Os dados foram coletados em estações meteorológicas e postos pluviométricos localizados em 69 municípios no período de 1962 a 2010, cedidos pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA) e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

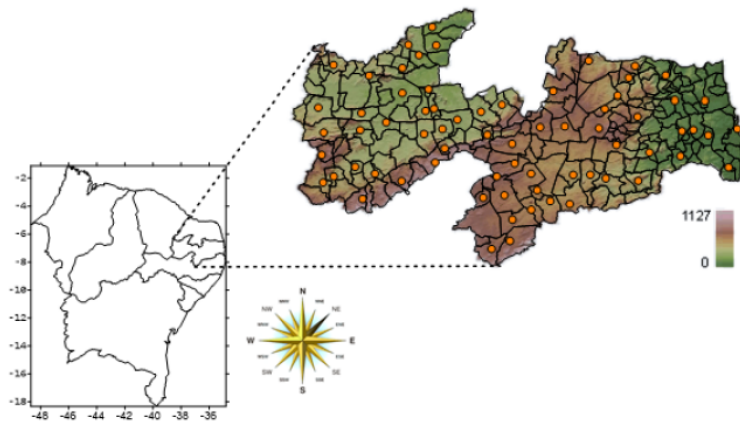
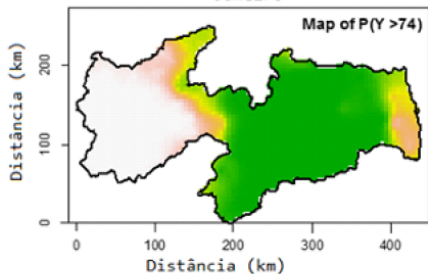
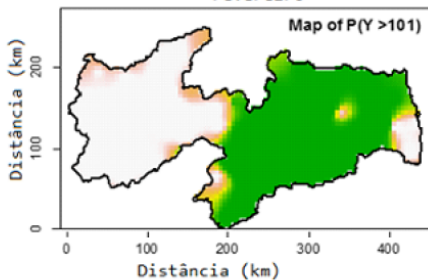


Figura 3.1: Representação gráfica da localização do Estado da Paraíba, distribuição das estações e postos pluviométricos e mapa do relevo em metros (adaptado de (EMATER, 2014))

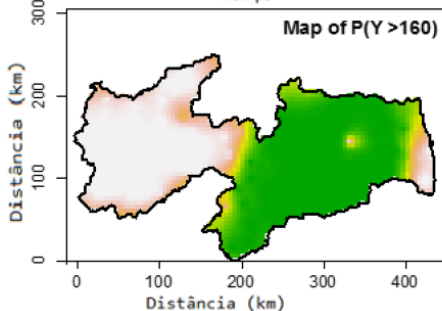
Janeiro



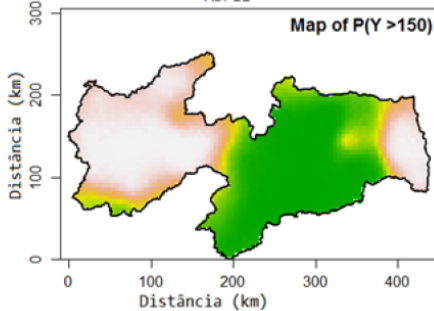
Fevereiro



Março

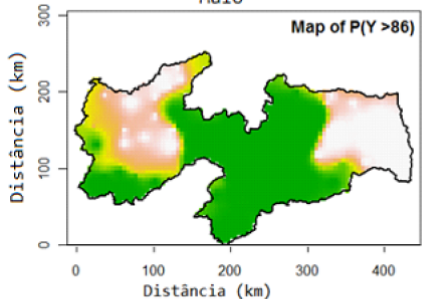


Abril

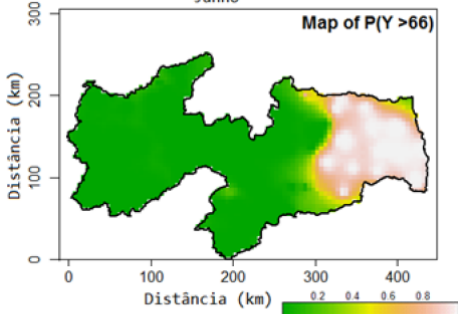




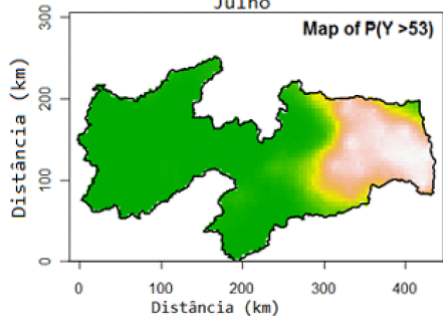
Maio



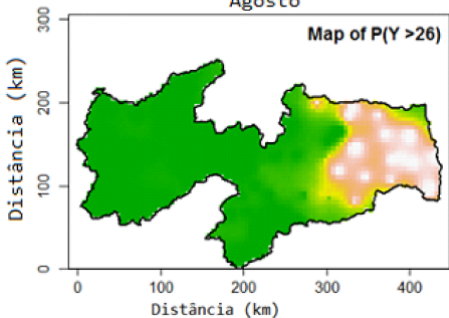
Junho



Julho

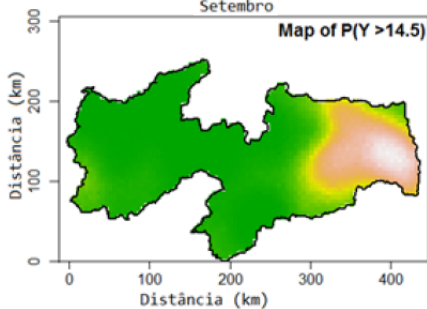


Agosto



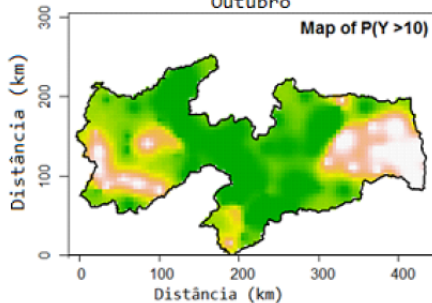
Setembro

Map of  $P(Y > 14.5)$



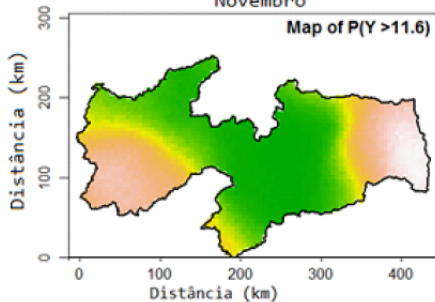
Outubro

Map of  $P(Y > 10)$



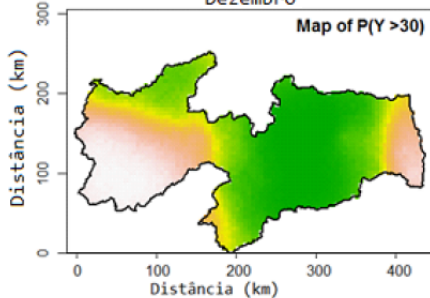
Novembro

Map of  $P(Y > 11.6)$



Dezembro

Map of  $P(Y > 30)$



# ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DE UMA ESTAÇÃO EXPERIMENTAL POR MEIO DE MÉTODOS MULTIVARIADOS E ESPACIAIS

Djair Durand Ramalho FRADE<sup>1</sup>

Luiz Ricardo NAKAMURA<sup>1</sup>

Ana Julia RIGHETTO<sup>1</sup>

Ezequiel Abraham López BAUTISTA<sup>2</sup>

Ricardo Alves de OLINDA<sup>3</sup>

---

<sup>1</sup>Universidade de São Paulo – USP, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - ESALQ, Programa de Pós-Graduação em Estatística e Experimentação Agronômica, CEP: 13418-900, Piracicaba, SP, Brasil. E-mail: [djairdurand@gmail.com](mailto:djairdurand@gmail.com); [lrnakamura@usp.br](mailto:lrnakamura@usp.br); [ajrighetto@gmail.com](mailto:ajrighetto@gmail.com)

<sup>2</sup>Universidad de San Carlos de Guatemala - USAC, Facultad de Agronomía, Código Postal: 01012, Guatemala, Guatemala, Guatemala. [ealbautis@gmail.com](mailto:ealbautis@gmail.com)

<sup>3</sup>Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, Departamento de Estatística, CEP: 58429-500, Campina Grande, Paraíba, Brasil. E-mail: [prof-ricardo@cct.uepb.edu.br](mailto:prof-ricardo@cct.uepb.edu.br)

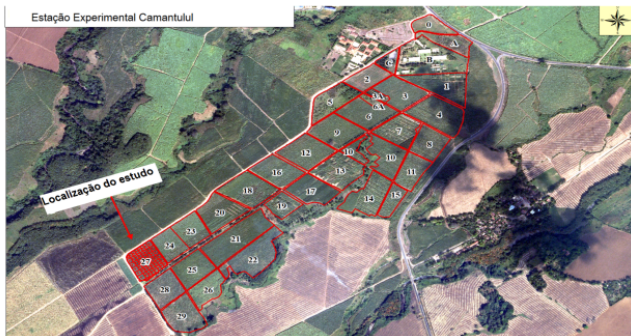


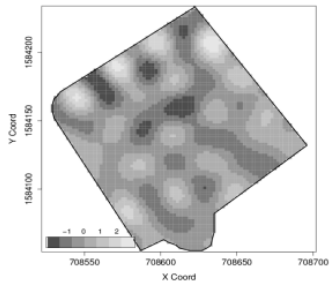
Tabela 1 - Estatística descritiva e distribuição de frequência de propriedades do solo

Propriedade	Estatísticas								
	Média	Mediana	Máximo	Mínimo	s	C.V.(%)	C <sub>c</sub>	C <sub>a</sub>	w
CE (dS/m)	0,09	0,08	0,19	0,04	0,03	38,58	4,13	1,14	
pH (em H <sub>2</sub> O)	6,66	6,60	7,15	6,17	0,24	3,59	2,18	0,32	*
MO (%)	3,80	3,82	5,88	1,44	0,83	21,77	3,36	-0,10	*
Ca (meq/100g)	11,15	11,34	16,84	6,93	2,07	18,58	3,18	0,27	*
Mg (meq/100g)	1,65	1,54	3,23	0,95	0,45	27,38	4,82	1,16	
K (meq/100g)	0,66	0,68	1,27	0,24	0,21	31,95	3,12	0,07	*
Na (meq/100g)	0,06	0,06	0,17	0,01	0,03	52,72	4,70	1,22	
CTC(meq/100g)	13,52	13,45	20,45	8,20	2,37	17,49	3,42	0,29	*
P (ppm)	13,64	8,51	90,40	0,48	16,43	120,40	12,23	2,80	
Cu (ppm)	0,52	0,50	1,60	0,25	0,20	38,93	16,76	2,99	
Zn (ppm)	3,28	3,20	5,50	1,40	0,98	30,01	2,03	0,17	*
Fe (ppm)	2,58	2,40	7,35	0,05	1,33	51,53	5,22	0,95	
Mn (ppm)	13,65	10,65	51,05	3,36	9,75	71,39	5,89	1,56	
CC (% umidade)	37,25	36,83	44,48	33,30	2,66	7,15	3,85	1,03	
PMP (% umidade)	18,08	17,80	24,45	15,88	1,66	9,18	6,35	1,63	
dApa (gr/cm <sup>3</sup> )	0,90	0,90	1,02	0,79	0,05	5,87	2,62	0,19	*

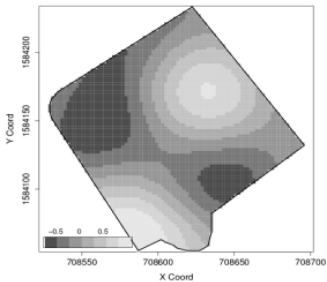
CE: condutividade elétrica; pH: potencial hidrogeniônico; MO: matéria orgânica; Ca: cálcio; Mg: magnésio; K: potássio; Na: sódio; CTC: capacidade de troca catiônica; Cu: cobre; Zn: zinco; Fe: ferro; Mn: manganês; CC: capacidade de campo; PMP: ponto de murcha permanente; dApa: densidade do solo; s: desvio padrão; C.V.(%): coeficiente de variação; C<sub>c</sub>: coeficiente de curtose; C<sub>a</sub>: coeficiente de assimetria; \*:distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk's (p-valor<0,05)

Tabela 2 - Matriz fatorial rotacionada pelo critério Varimax. Em negrito, os valores com cargas mais significativas

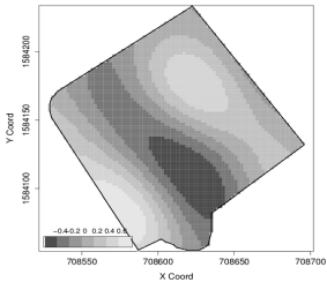
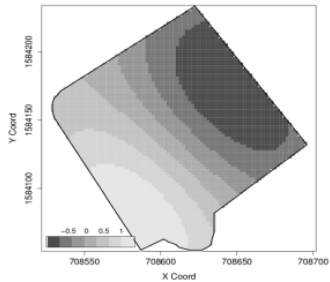
Atributo	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 5
CE	<b>0,76390</b>	-0,05207	-0,11371	0,12343	0,00599
pH	-0,04878	-0,18336	0,41036	-0,59905	0,13567
MO	0,21414	0,20659	0,08888	0,14819	<b>-0,76090</b>
Ca	<b>0,67691</b>	0,10201	-0,04875	0,53780	0,27248
Mg	<b>0,73969</b>	0,08841	0,07096	-0,05318	-0,09162
K	0,26418	0,10918	-0,00787	0,17042	<b>0,71605</b>
Na	0,11642	0,04832	0,22153	<b>0,86143</b>	0,07085
CTC	<b>0,76736</b>	0,10496	-0,01328	0,47453	0,28331
P	<b>0,68613</b>	0,01786	0,10788	-0,10342	-0,18915
Cu	-0,15782	0,21277	0,21331	0,03746	0,47483
Zn	<b>0,68252</b>	0,07999	0,42880	0,32879	-0,05607
Fe	0,04324	-0,22914	<b>0,74808</b>	0,14173	-0,19984
Mn	0,09398	0,10716	<b>0,82479</b>	-0,07343	0,21772
CC	-0,00435	<b>0,88963</b>	0,14035	-0,05315	0,10234
PMP	0,21889	<b>0,88955</b>	-0,10908	0,18391	0,05951
dApa	0,04069	<b>-0,71631</b>	0,47687	-0,19617	0,11561

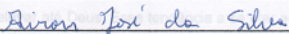


(a)



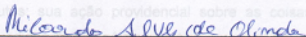
(b)





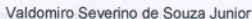
Airon José Silva

Examiner

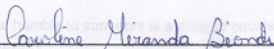


Ricardo Alves de Olinda

Examiner



Examiner



Caroline Miranda Biondi

Examiner



Adviser

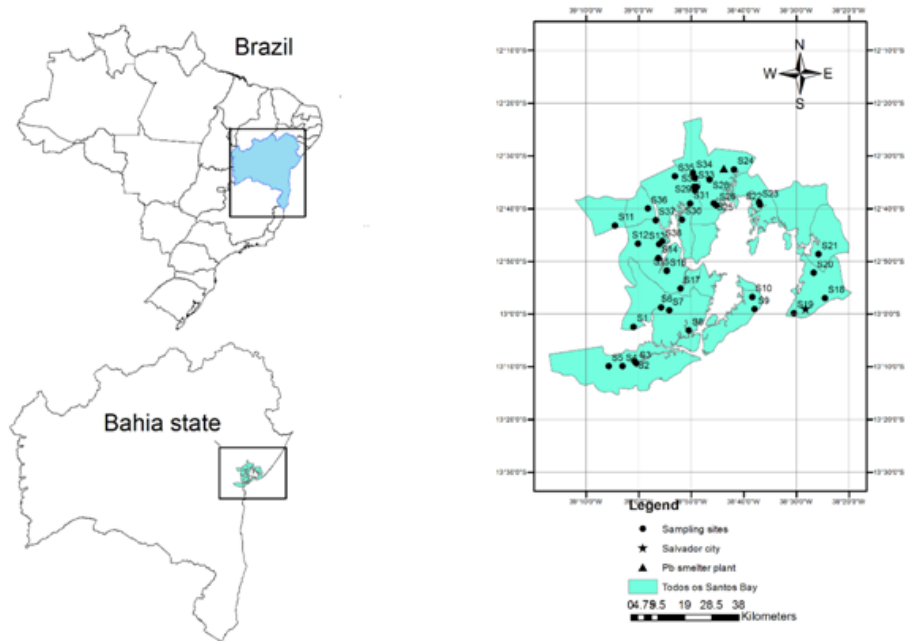
NIELSON MACHADO DOS SANTOS

REFERENCE VALUES, ISOTOPIC SIGNATURE OF Pb AND HEAVY METAL ENRICHMENT FACTORS IN SOILS SURROUNDING AN ENVIRONMENTALLY IMPACTED BAY IN BRAZIL

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy (Soil Science) at the Federal Rural University of Pernambuco.

RECIFE-PE  
JULY - 2015





**Figure 1.** Map of the study area showing the sampling sites.

**Table 1.** Average natural concentrations of heavy metals in Todos os Santos Bay soils (TSB) compared with data compiled from the international literature

Heavy metals (mg kg <sup>-1</sup> )	Brazilian soils						International soils				World average soil <sup>j</sup>
	TSB	MG <sup>a</sup>	ES <sup>b</sup>	PE <sup>c</sup>	RN <sup>d</sup>	RO and MT <sup>e</sup>	China <sup>f</sup>	Cuba <sup>g</sup>	Finland <sup>h</sup>	USA <sup>i</sup>	
Cd	0.22	0.5	<LD	0.62	0.07	<LD	0.07	1.2	0.2	1.6	1.1
Co	0.36	16.5	8.64	3.54	11.28	20.3	11	31.4	8.4	6.7	6.9
Cr	27.16	100.1	41	27.14	26.55	39.4	54	463.2	37	37	42
Cu	5.29	30.9	5.5	7.15	10.63	16.5	20	83.7	19.15	17	14
Ni	3.22	30.1	6.6	6.0	14.78	1.3	23	294.2	12.45	13	18
Pb	37.47	3.9	8.8	11.18	11.5	8.1	24	34.6	20	16	25
Zn	7.48	13.1	22.6	22.52	21.67	6.8	67	90.7	72.5	48	62

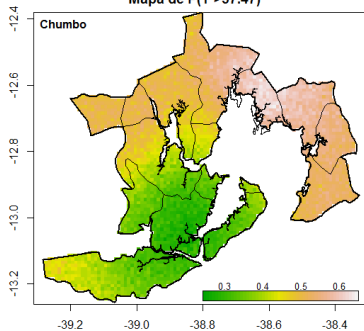
<LD below the detection limit; <sup>a</sup> Caires (2009); <sup>b</sup> Paye et al. (2010); <sup>c</sup> Biondi (2011); <sup>d</sup> Costa et al. (2014); <sup>e</sup> Santos and Alleoni (2013); <sup>f</sup> Su and Yang (2008); <sup>g</sup> Alfaro et al. (2015); <sup>h</sup> Salonen and Korkka-Niemi (2007); <sup>i</sup> Chen et al. (1991); <sup>j</sup> Alloway (2013)

**Table 2.** Quality reference values (QRV), average, minimum, and maximum values, and standard deviation for heavy metals in soils Todos os Santos bay

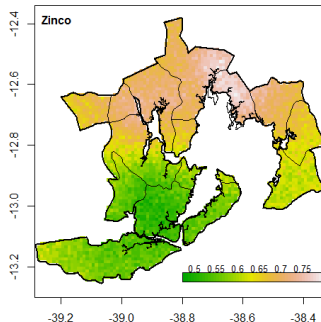
Heavy metals (mg Kg <sup>-1</sup> )	Valid N	N <sup>a</sup>	QRV	Average	Minimum	Maximum	Standard deviation
Cd	113	1	0.30	0.22	0.00	2.50	0.25
Co	96	18	0.38	0.36	0.00	2.45	0.67
Cr	111	3	36.55	27.16	0.75	81.35	21.85
Cu	102	12	7.10	5.29	0.30	18.70	4.57
Ni	102	12	4.05	3.22	0.40	9.80	2.24
Pb	111	3	54.37	37.47	8.95	78.30	18.85
Zn	96	18	10.40	7.48	0.00	28.30	6.25

<sup>a</sup> Samples total excluded like anomalies to from the boxplot

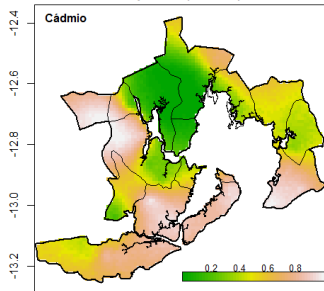
Mapa de  $P(Y > 37.47)$



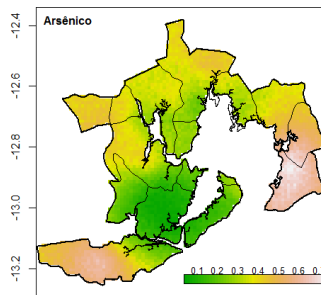
Mapa de  $P(Y > 7.48)$

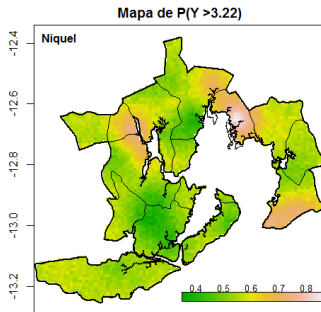
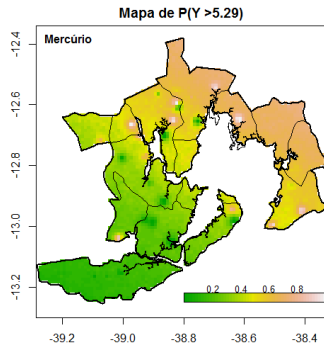
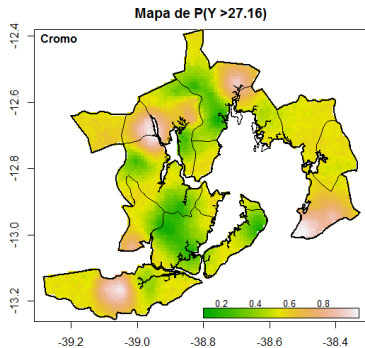


Mapa de  $P(Y > 0.22)$



Mapa de  $P(Y > 1.85)$





# Gracias!



*“el pensamiento estadístico algún día será tan necesario para la ciudadanía eficiente como la capacidad de leer y escribir”...  
Herbert George Wells (1866 - 1946)*