

# Aplicação de Krigeagem bi e unidimensional para a modelagem do avanço da pluma de rejeitos da barragem de Fundão no rio Doce

Disciplina: Introdução ao Geoprocessamento  
SER300

Alunos:  
Daniel Andrade Maciel  
Rogério Flores Jr.

Professores Responsáveis:  
Dr. Antônio Miguel Vieira Monteiro;  
Dr. Cláudio Barbosa



Fonte: Google Imagens

## Divisão do trabalho

- Introdução
- Metodologia
- Resultados / Discussões
- Conclusões

## Introdução

- A importância da água;
- Acidente de Mariana;
- Monitoramento ANA



Fonte: Google Imagens

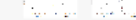


## Metodologia



## Resultados e discussão

### Semivariogramas



Apresentamos, melhor ajuste para os dados univariados:  
Melhor ajuste que Chen, Yeh e Wei (2012).

Todos ajustados pelo método à serra e modelo Gaussiano.

## Resultados e discussão

### Validação Cruzada

	Modelo	MAE	RMSE
1	Modelo	0.000	0.000
2	Modelo	0.000	0.000
3	Modelo	0.000	0.000
4	Modelo	0.000	0.000

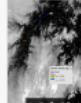
Contribuição com os resultados de Vahid et al. (2012)

### Interpolação

10/10/2014

## Resultados e discussão

### Pluma de lama



## Conclusões

- Foi possível aplicar e avaliar a correlação dos dados de índice de turbidez no Rio Doce de longo prazo.
- A Krigeagem anisotrópica se mostrou, com melhores resultados que a isotrópica, para trechos de variação sazonal.
- Os resultados mostram um volume de sedimentos a ser depositado nos locais de deposição.
- Foi possível observar o avanço da pluma de sedimentos no Doce.

## Referências

- CHEN, Y. C.; WEI, C. C.; YEH, K. C. (2012). A study on the sediment transport in the lower reaches of the Rio Doce, Brazil. *Journal of Hydrology*, 441, 1-12.
- CHEN, Y. C.; WEI, C. C.; YEH, K. C. (2013). A study on the sediment transport in the lower reaches of the Rio Doce, Brazil. *Journal of Hydrology*, 441, 1-12.
- CHEN, Y. C.; WEI, C. C.; YEH, K. C. (2014). A study on the sediment transport in the lower reaches of the Rio Doce, Brazil. *Journal of Hydrology*, 441, 1-12.

## OBIGADO !

Os autores agradam a todos os envolvidos no projeto de pesquisa, em especial aos professores responsáveis, aos colegas de turma e aos familiares.

# Aplicação de Krigeagem bi e unidimensional para a modelagem do avanço da pluma de rejeitos da barragem de Fundão no rio Doce

Disciplina: Introdução ao Geoprocessamento  
SER300

Alunos:

Daniel Andrade Maciel  
Rogério Flores Jr.

Professores Responsáveis:

Dr. Antônio Miguel Vieira Monteiro;  
Dr. Cláudio Barbosa



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS



Fonte: Google Imagens

# Divisão do trabalho

- Introdução
- Metodologia
- Resultados / Discussões
- Conclusões

# Introdução

- A importância da água;
- 
- Acidente de Mariana;
- 
- Monitoramento ANA

## Geoestatística

-> Estimar os valores de sólidos em locais não amostrados;

Hipótese:

Dados de qualidade d'água possuem alta dependência espacial



Fonte: Google Imagens

# Geoestatística

-> Estimar os valores de sólidos em locais não amostrados;

Hipótese:

Dados de qualidade d'água possuem alta dependência espacial

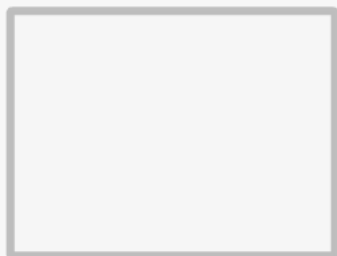
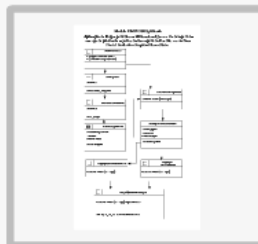
#### Objetivo

- Analisar a técnica de krigagem que melhor se adequa para o rio Doce na época do acidente.
- Espacializar os dados de concentração de sólidos totais.
- Analisar o avanço da pluma de contaminação.

## Objetivo

- Avaliar a técnica de krigagem que melhor se adequa para o rio Doce na época do acidente;
- Espacializar os dados de concentração de sólidos totais;
- Avaliar o avanço da pluma de contaminação

# Metodologia



## Informações

Bacia do rio Doce - possui área de drenagem de 86.715 km<sup>2</sup>.

- 86% no estado de Minas Gerais.

- 14% no território do Espírito Santo.

Rio Doce - Serra da Mantiqueira e na Serra do Espinhaço.

- 879 km de extensão.

- 1ª maior bacia hidrográfica do Brasil.

- 11 mil pescadores vivem da pesca.

- Essencial para a o setor produtivo local.



Fonte: Google Images

## Histórico

Sec. XIX - Exploração dos recursos madeireiros  
- Principalmente Exportação.

Sec XX - Criação da estrada de ferro Vitória a Minas:

- escoamento da produção

- Incentivo a urbanização na calha do rio Doce

- Início das Indústrias mineiro-siderúrgica

1960 - Declínio madeireiro - "Vale do Aço".

- Companhia Vale do Rio Doce

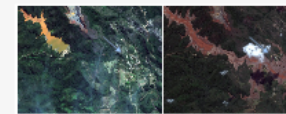


Fonte: Google Images

## Após o acidente

60 bilhões de litros de rejeitos.

- Desestabilização da dinâmica fluvial.
- Distúrbios ecológicos.
- Assoreamento.
- Descaracterização da calha do rio.



Fonte: Google Images

## Dados

Monitoramento Especial rio Doce

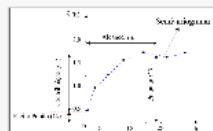
- ANA, CPRM e IGAM
- Sólidos Totais (mg / L)

Classificação do rio Doce

- Imagens Landsat 8 OLI
- Res. Espacial 30m;
- 2015

## Análises

- Análise exploratória -> R (R CORE TEAM, 2017).
- Semivariogramas -> geoR (Ribeiro e Digle, 2016)
- Gaussiano, à semelhança.



Modelos estatísticos -> geoR;  
Validação Cruzada -> geoR;  
Krigagem -> ArcGis 10.2

## Krigagem Bidimensional

- Coordenadas UTM, SIRGAS 2000 23 Sul;
- Não é bem representativo do curso d'água.

Porque?

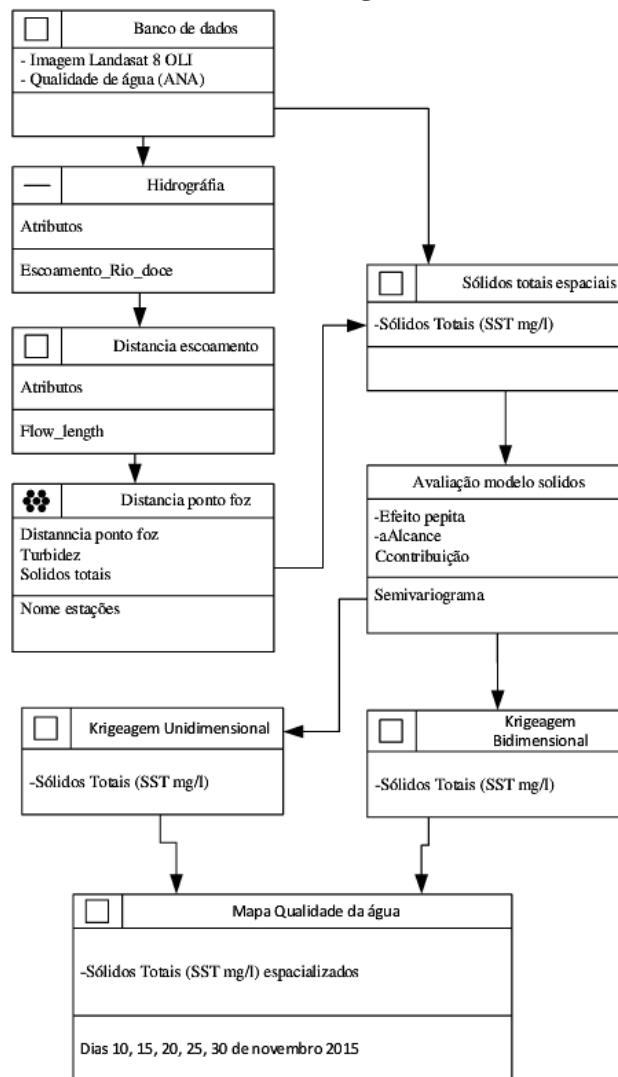


## Krigagem Unidimensional

- Leva em consideração a distância dentro do curso d'água;
- Distância do ponto inicial em relação aos outros pontos (No segmento do rio)



**Modelo OMT-G Simplificado**  
**Aplicação de Krigeagem bi e unidimensional para a modelagem do**  
**avanço da pluma de rejeitos da barragem de Fundão no rio Doce**  
 Daniel Andrade e Rogério Flores Júnior

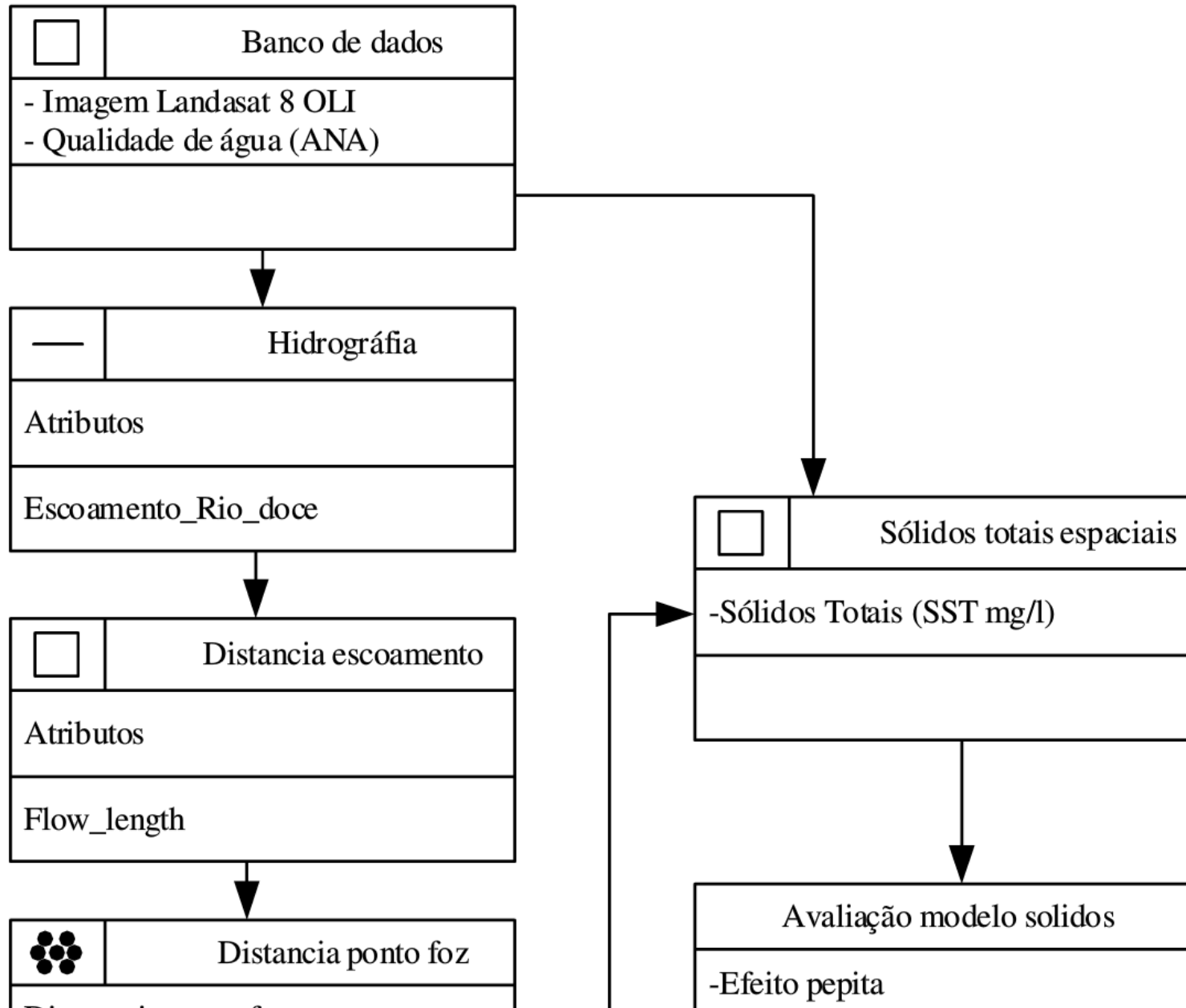


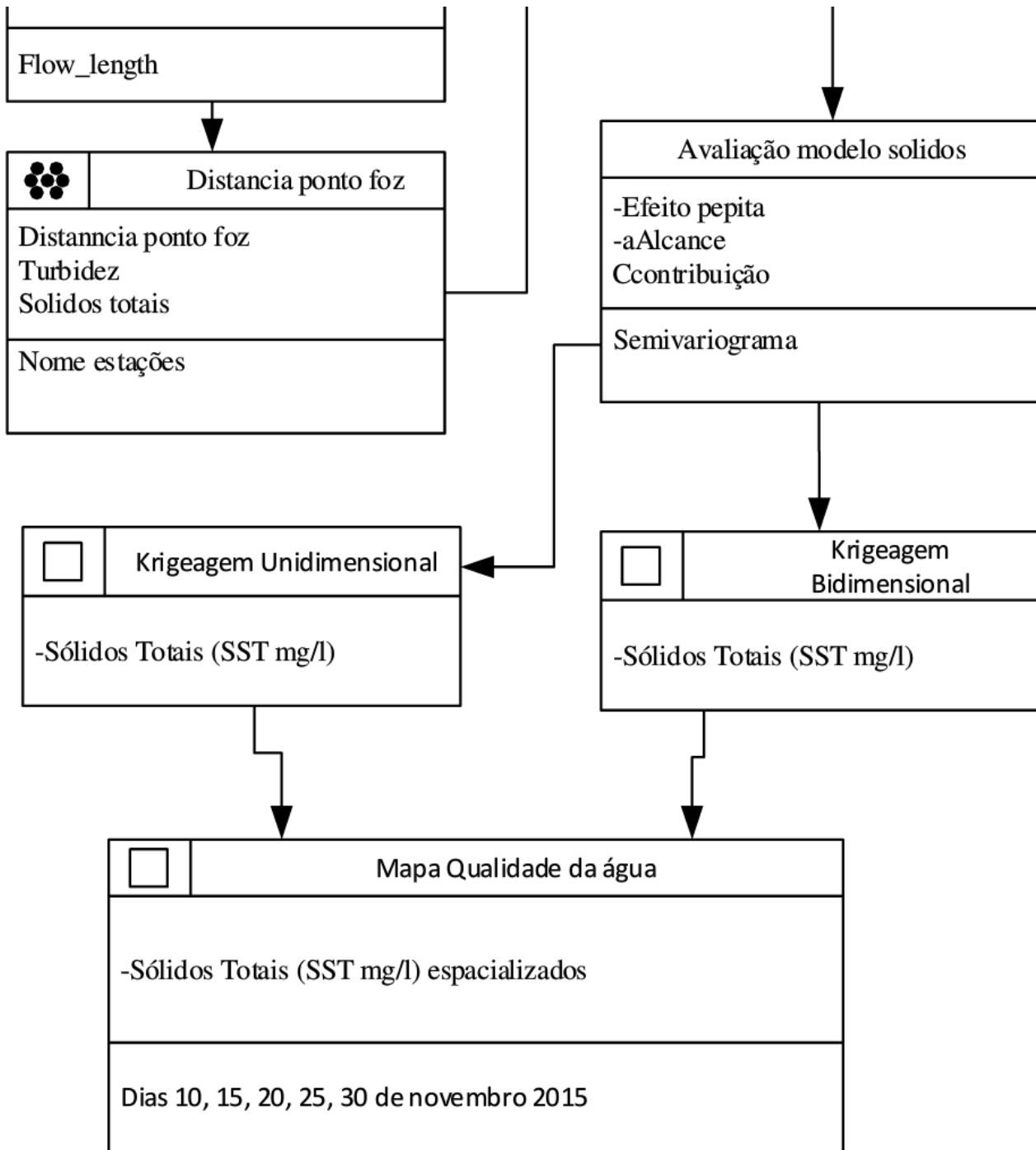


# Modelo OMT-G Simplificado

## Aplicação de Krigeagem bi e unidimensional para a modelagem do avanço da pluma de rejeitos da barragem de Fundão no rio Doce

Daniel Andrade e Rogério Flores Júnior







# Informações

Bacia do rio Doce - possui área de drenagem de 86.715 km<sup>2</sup>.

- 86%no estado de Minas Gerais.

- 14% no território do Espírito Santo.

Rio Doce - Serra da Mantiqueira e na Serra do Espinhaço .

- 879 km de extensão.

- 5<sup>a</sup> maior bacia hidrográfica do Brasil.

- 11 mil pescadores viviam da pesca.

- Essencial para a o setor produtivo local.



Fonte: Google Imagens

# Histórico

Sec. XIX - Exploração dos recursos madeireiros  
-Principalmente Exportação.

Sec XX - Criação da estrada de ferro Vitória a Minas:

- escoamento da produção
- Incentivo a urbanização na calha do rio Doce
- Início das Indústrias mineiro-siderúrgica

1960 - Declínio madeireiro - "Vale do Aço".

- Companhia Vale do Rio Doce

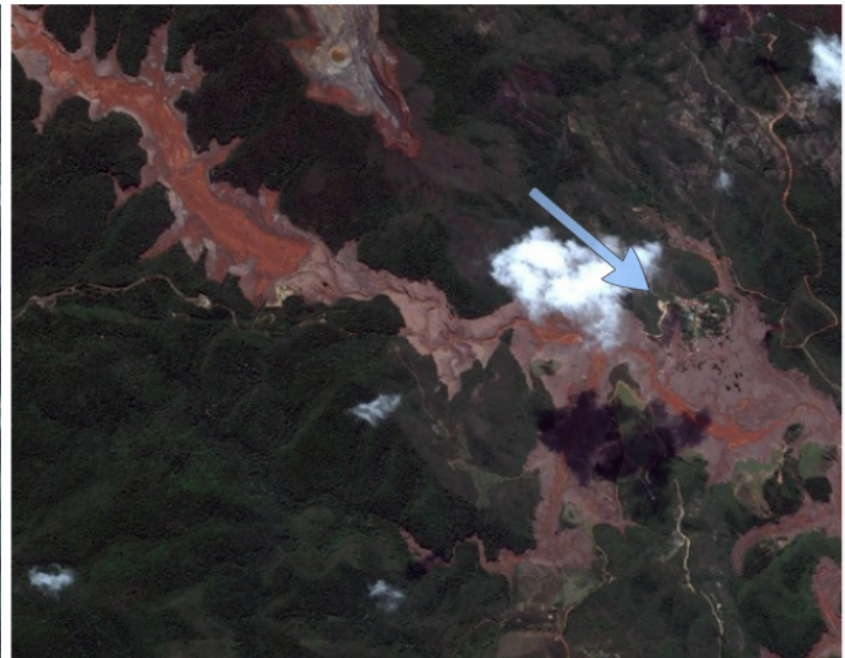
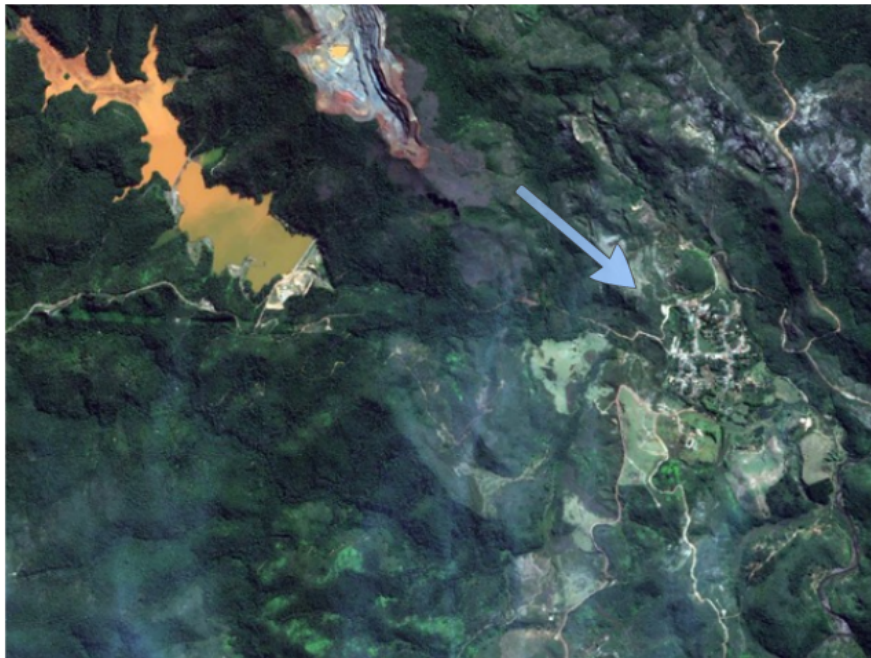


Fonte: Google Imagens

# Após o acidente

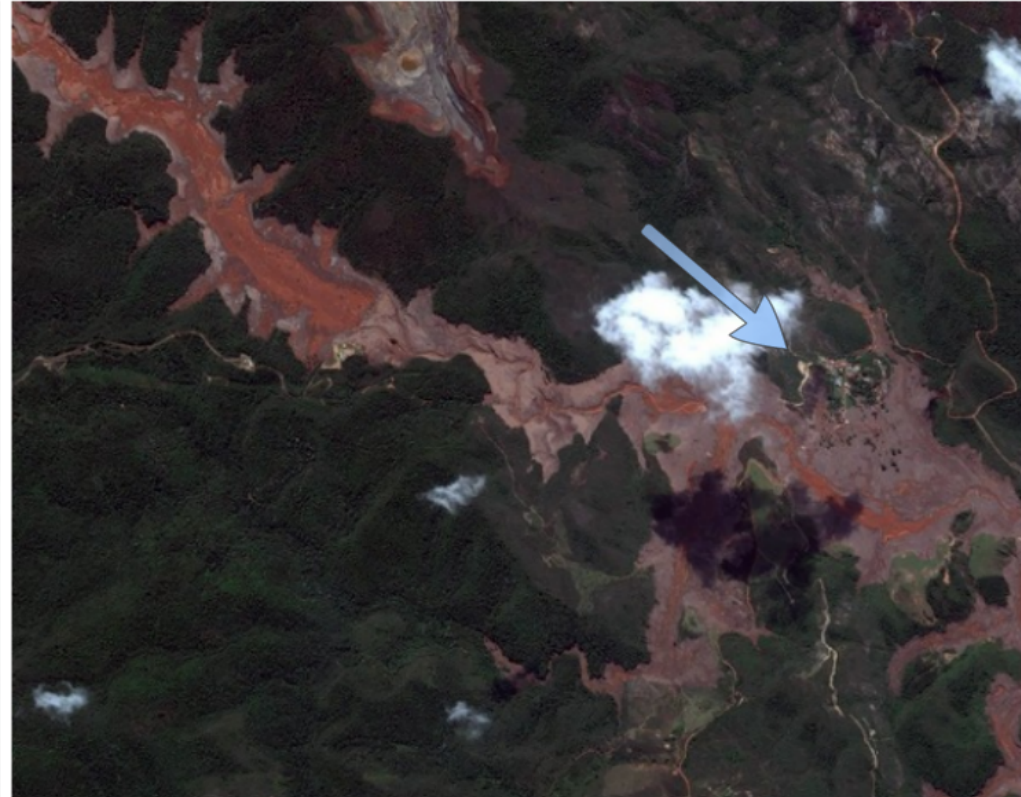
60 bilhões de litros de rejeitos.

- Desestabilização da dinâmica fluvial.
- Distúrbios ecológicos.
- Assoreamento.
- Descaracterização da calha do rio.



Fonte: Google Imagens

- Distúrbios ecológicos.
- Assoreamento.
- Descaracterização da calha do rio.



Fonte: Google Imagens

# Dados

## Monitoramento Especial rio Doce

- ANA, CPRM e IGAM
- Sólidos Totais (mg / L)

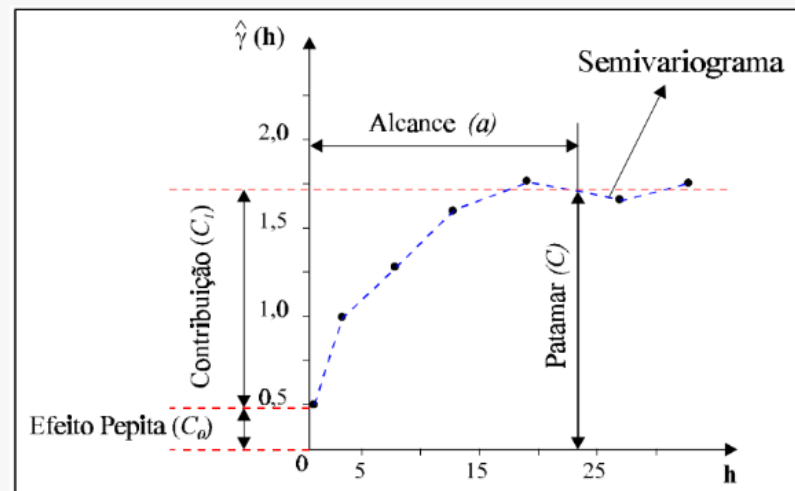
## Classificação do rio Doce

- Imagens Landsat 8 OLI
- Res. Espacial 30m;
- 2015



# Análises

- Análise exploratória -> R (R CORE TEAM, 2017).
- Semivariogramas -> geoR (Ribeiro e Diggle, 2016)
- Gaussiano, à sentimento.



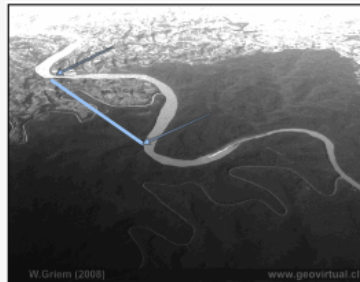
Fonte: Camargo (1998).

Modelos estatísticos -> geoR;  
Validação Cruzada -> geoR;  
Krigagem -> ArcGis 10.2

# Krigagem Bidimensional

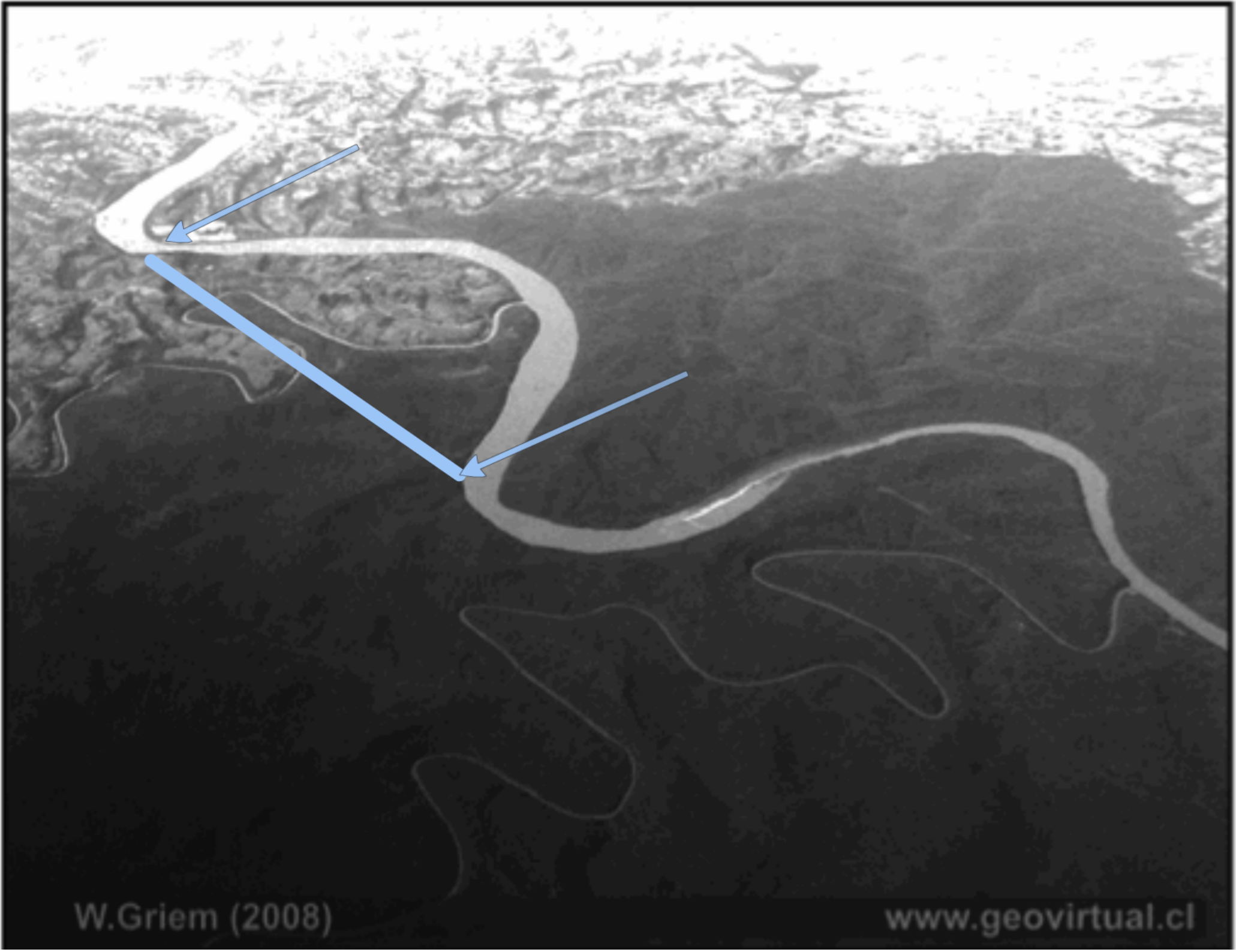
- Coordenadas UTM, SIRGAS 2000 23 Sul;
- Não é bem representativo do curso d'água.

Porque?



W. Gibson (2008)  
Fonte: Google Images

www.geovirtual.cl



# Krigagem Unidimensional

- Leva em consideração a distância dentro do curso d'água;
- Distância do ponto inicial em relação aos outros pontos (No segmento do rio)

Estação	Distância (km)
Rio Doce - IGAM	0
Rio Casca - IGAM	54
Miraflores - IGAM	100
Córrego São - CPDM	146
Castro - IGAM	148
Belo Oriente - IGAM	170
Belo Oriente - CPDM	180
Gov. Valdeires Monteiro - IGAM	250
Gov. Valdeires Monteiro - CPDM	258
Gov. Valdeires Monteiro - IGAM	272
Tupiratinga - IGAM	306,3
Conceição Para - IGAM	335,4
Rampador - IGAM	364,4
Alameda - IGAM	365,4

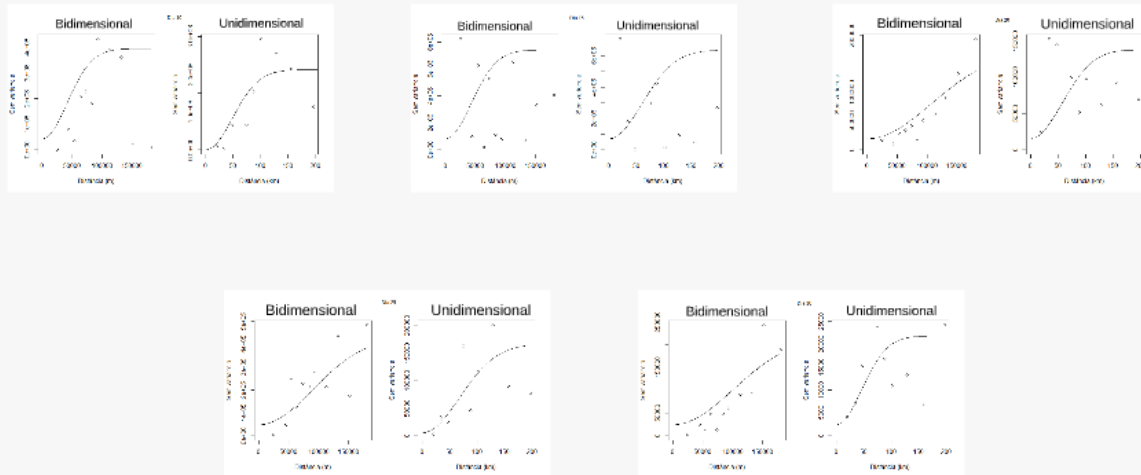


<b>Estação</b>	<b>Distância (km)</b>
<b>Rio Doce - IGAM</b>	0
<b>Rio Casca - IGAM</b>	54
<b>Mariléia - IGAM</b>	102
<b>Córrego Novo - CPRM</b>	106
<b>Ipatinga - IGAM</b>	148
<b>Belo Oriente - IGAM</b>	176
<b>Belo Oriente - CPRM</b>	180
<b>Gov. Valadares Montante - IGAM</b>	256
<b>Gov. Valadares - CPRM</b>	258
<b>Gov. Valadares Jusante - IGAM</b>	272
<b>Tumiritinga - IGAM</b>	298,8
<b>Conselheiro Pena - IGAM</b>	333,4
<b>Resplendor - IGAM</b>	366,4
<b>Aimorés - IGAM</b>	390,4

Fonte: Google Imagens

# Resultados e discussão

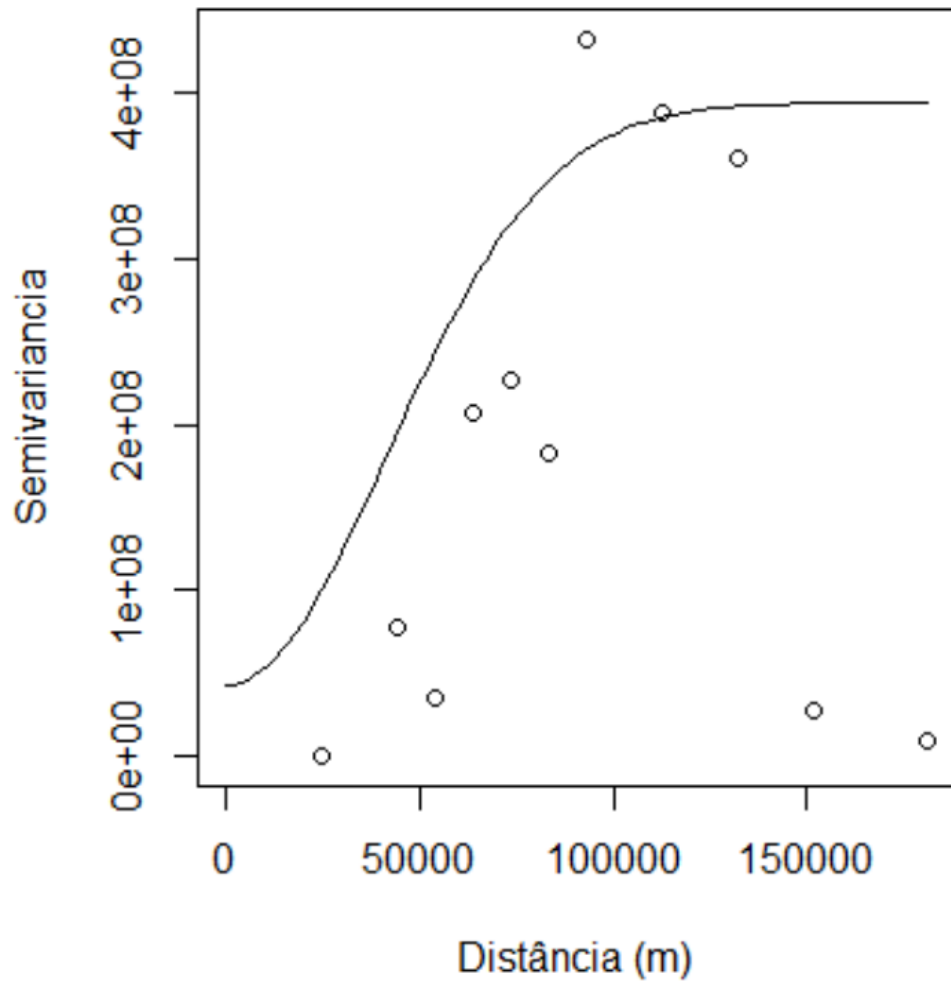
## Semivariogramas



Aparentemente, melhor ajuste para os dados univariados;  
Melhor ajuste que Chen, Yeh e Wei (2012).

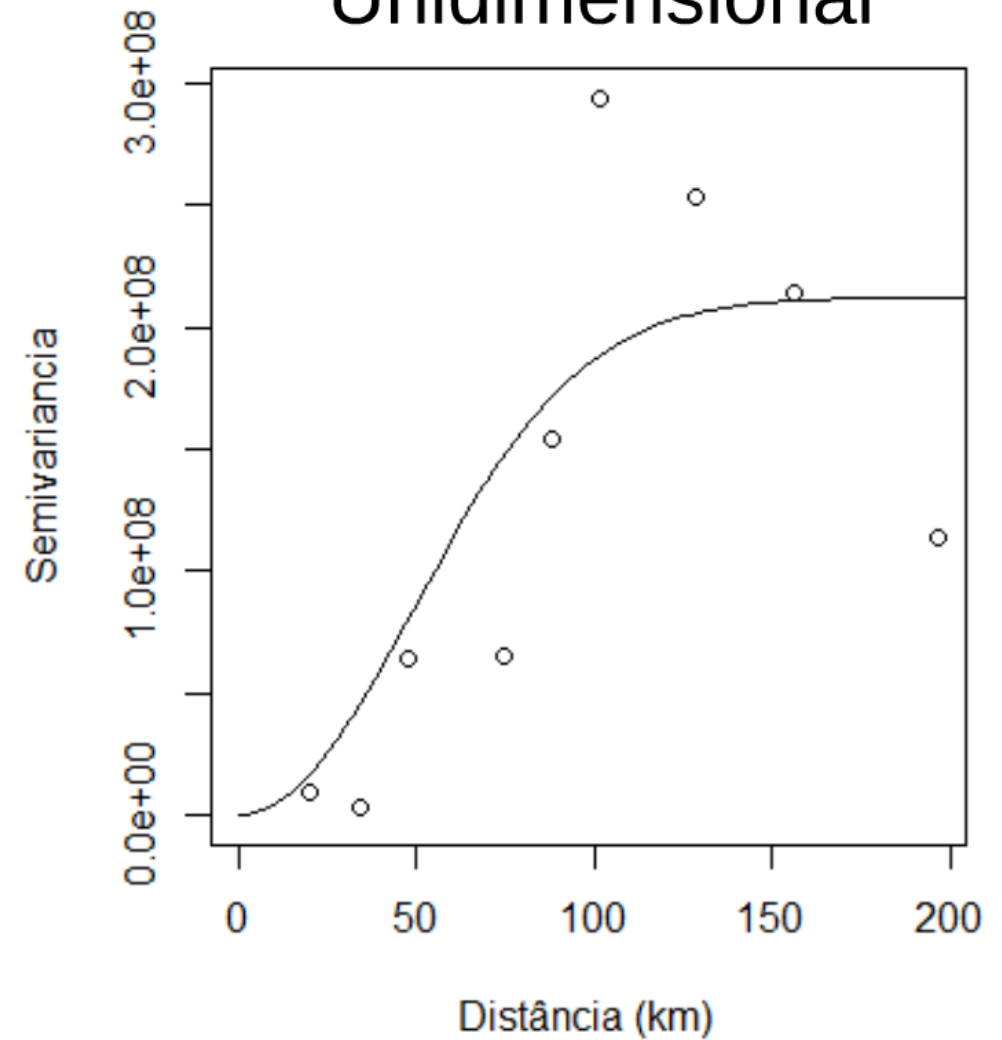
Todos ajustados pelo método à sentimento e modelo Gaussiano.

## Bidimensional



Dia 10

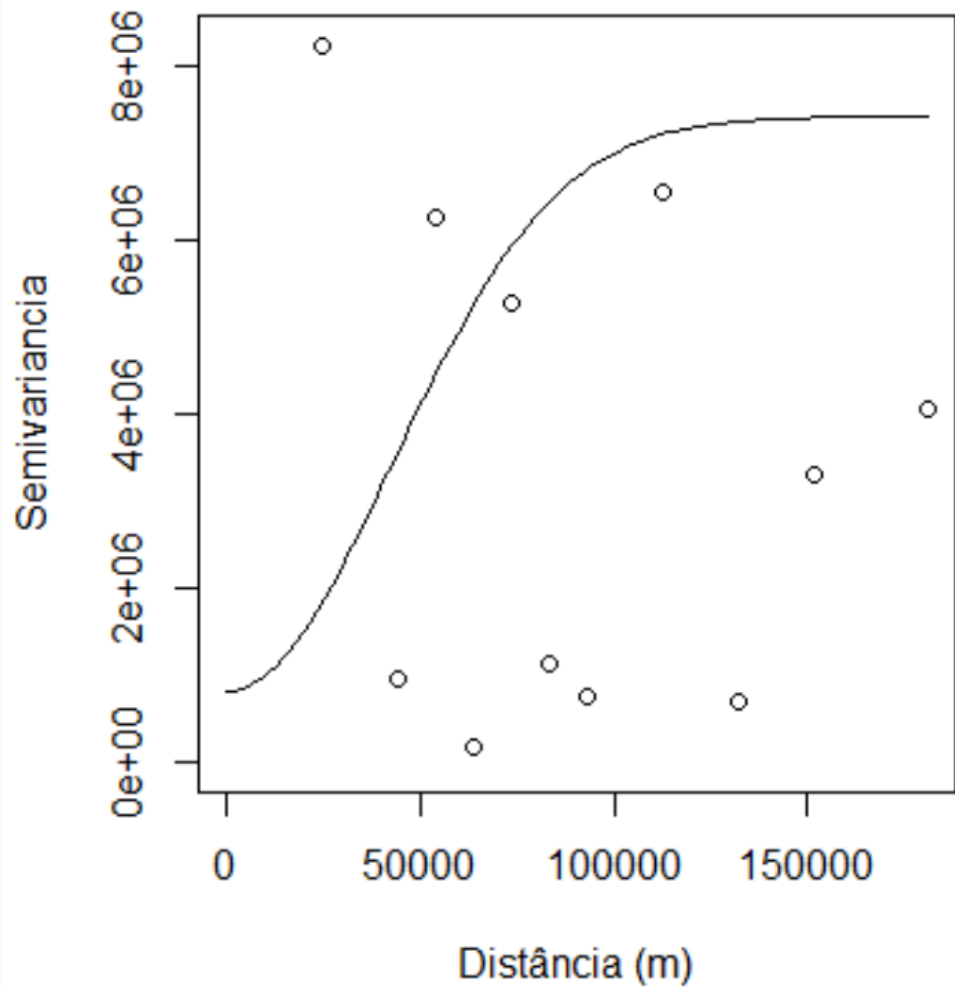
## Unidimensional



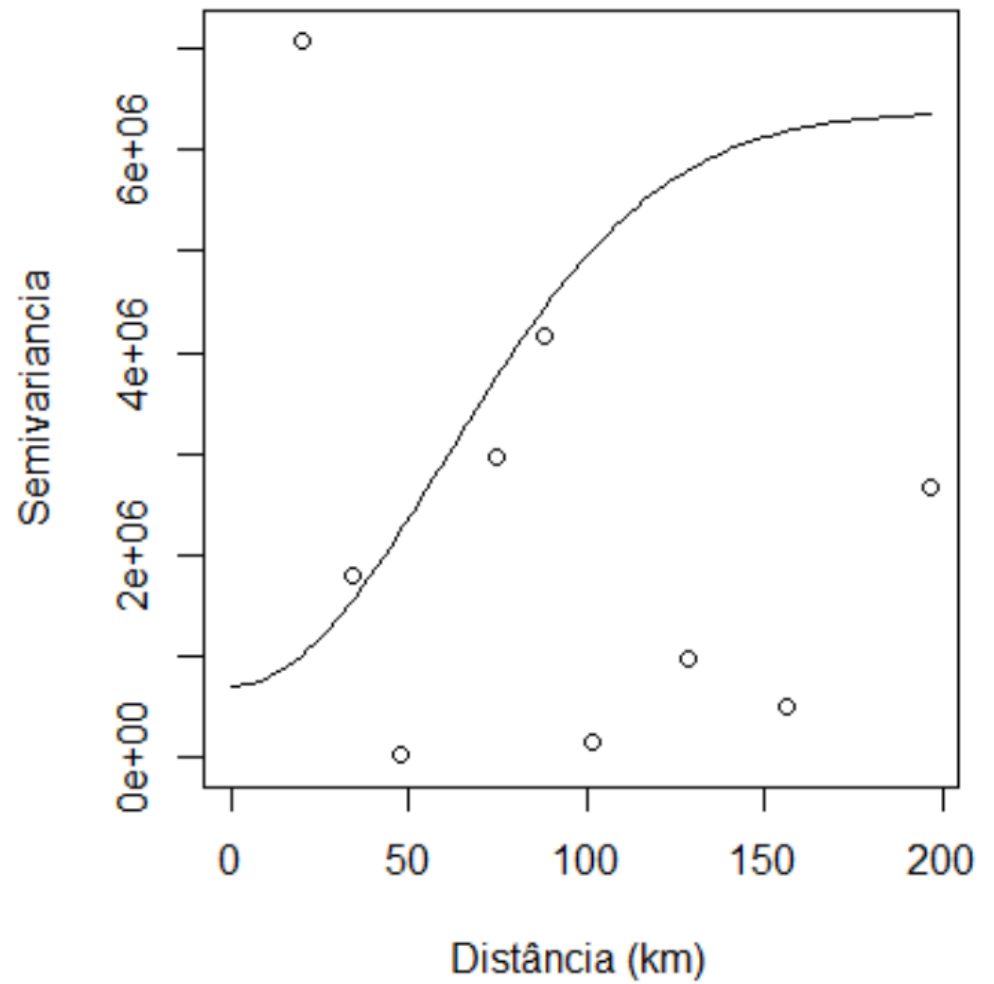


Dia 15

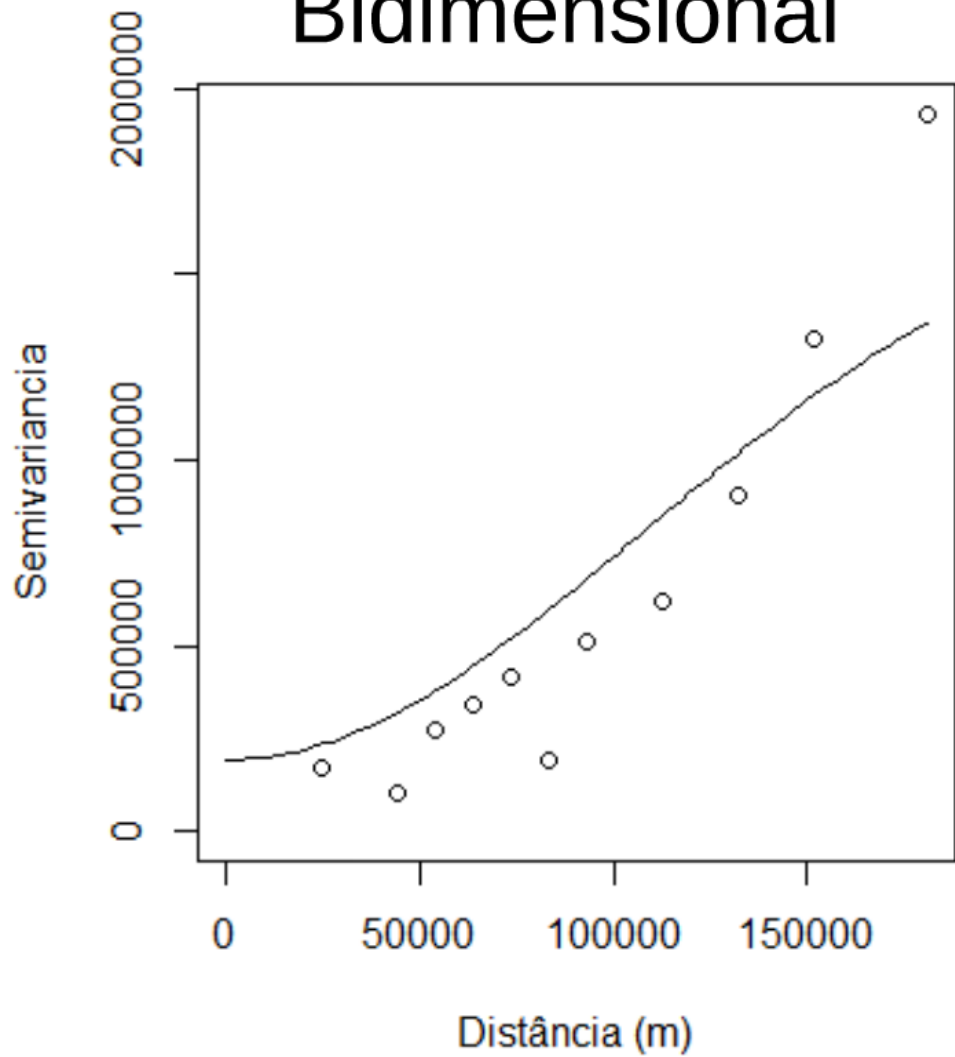
## Bidimensional



## Unidimensional

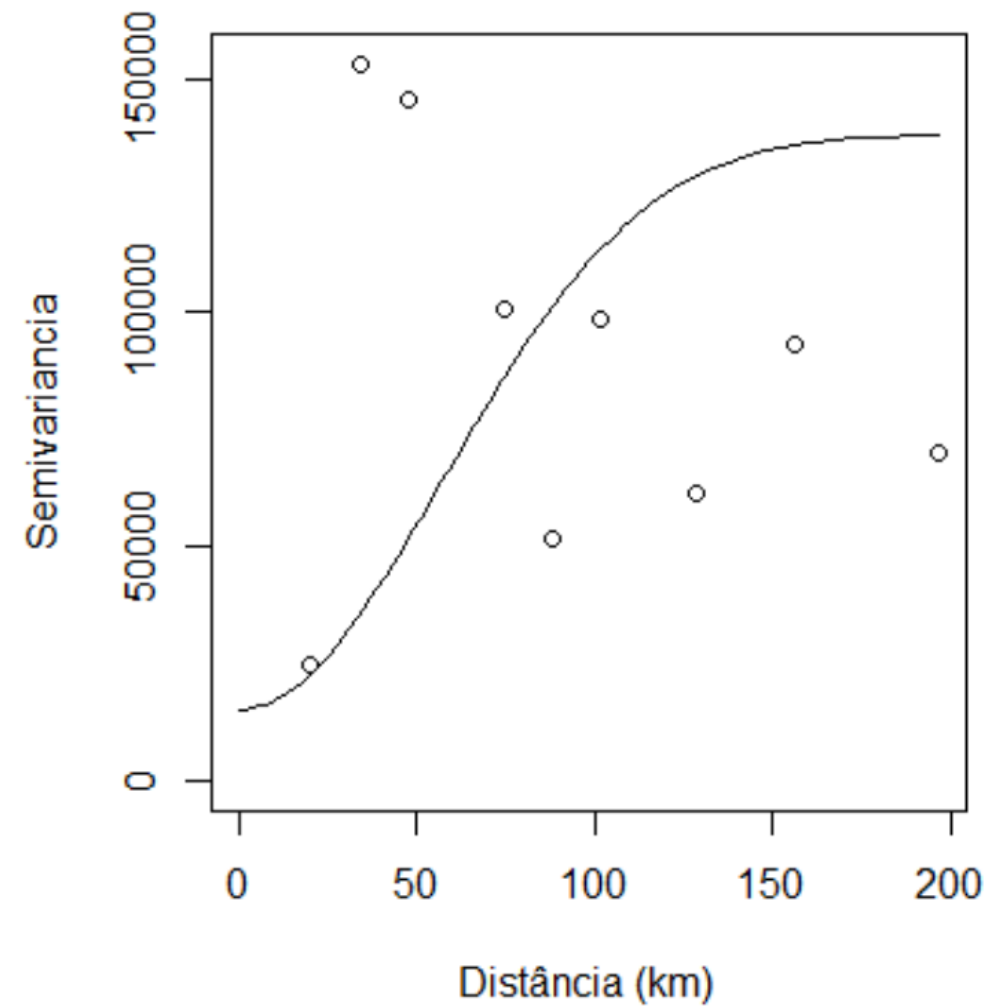


## Bidimensional



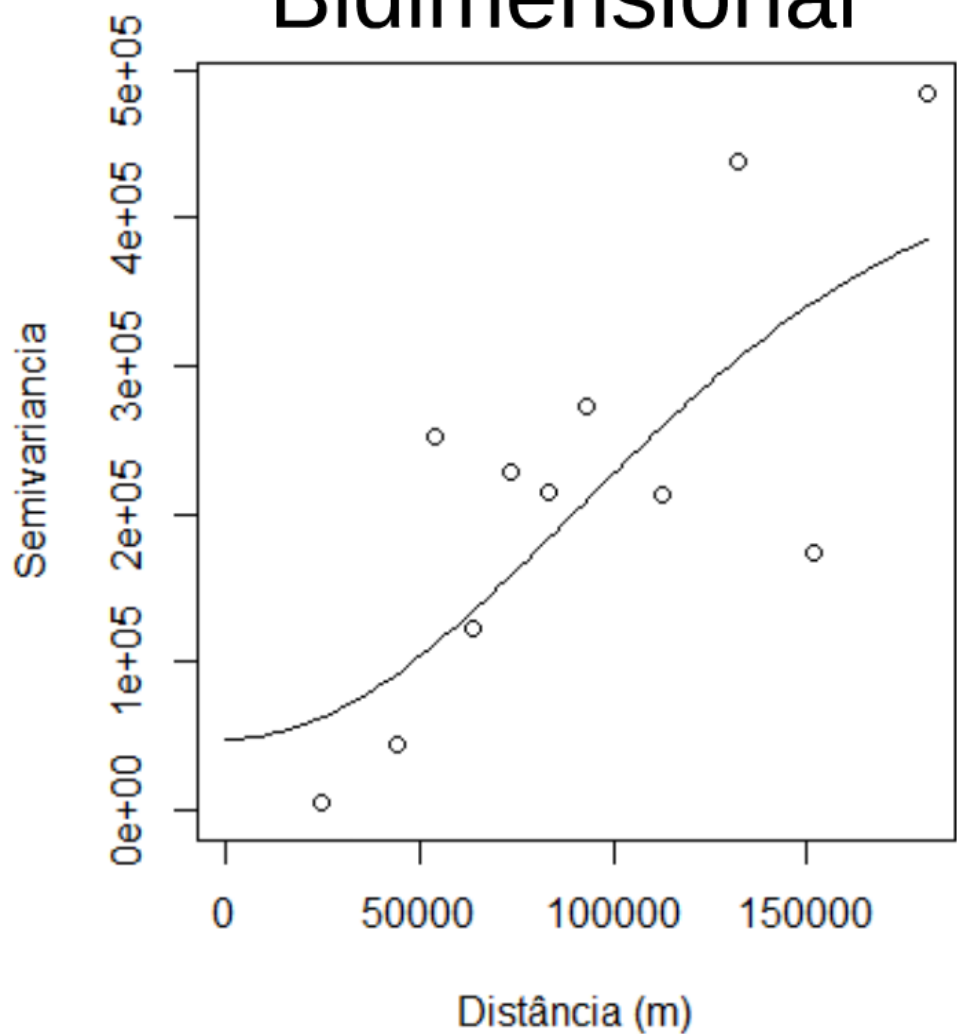
Dia 20

## Unidimensional

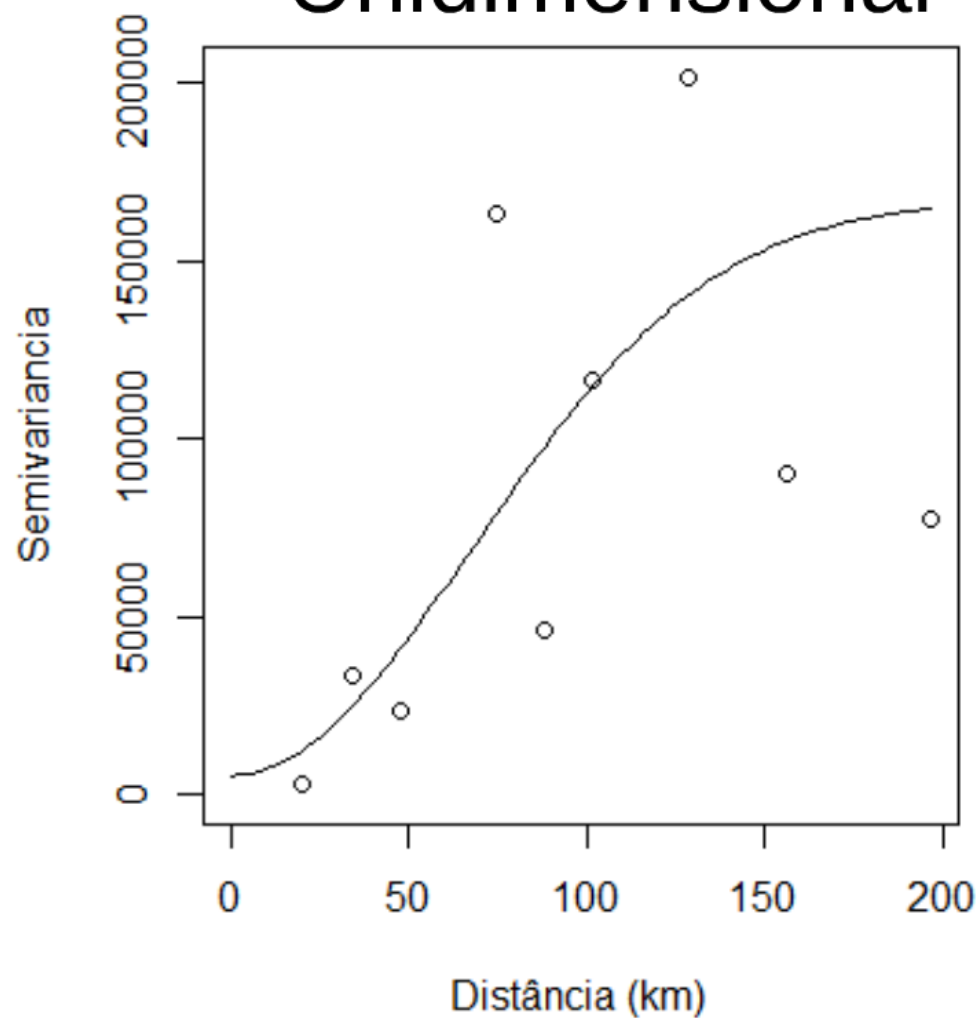


Dia 25

## Bidimensional

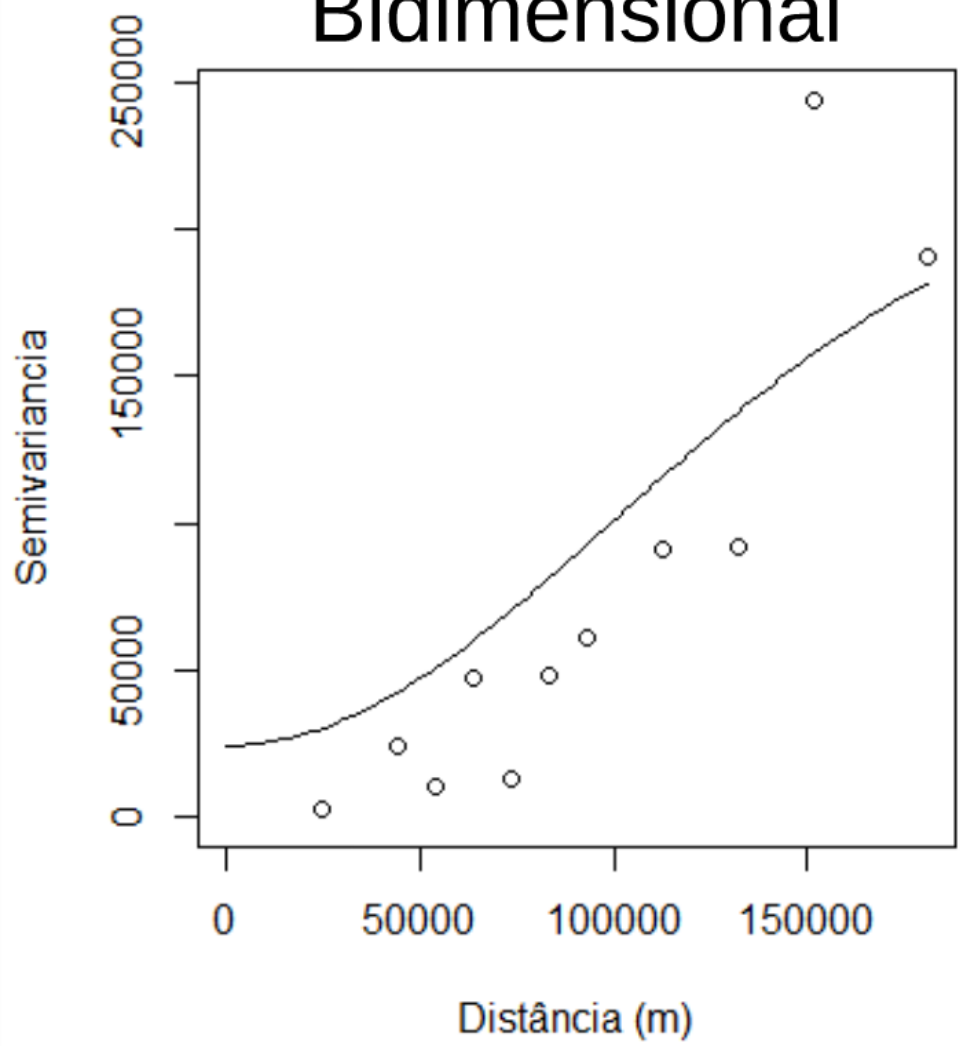


## Unidimensional

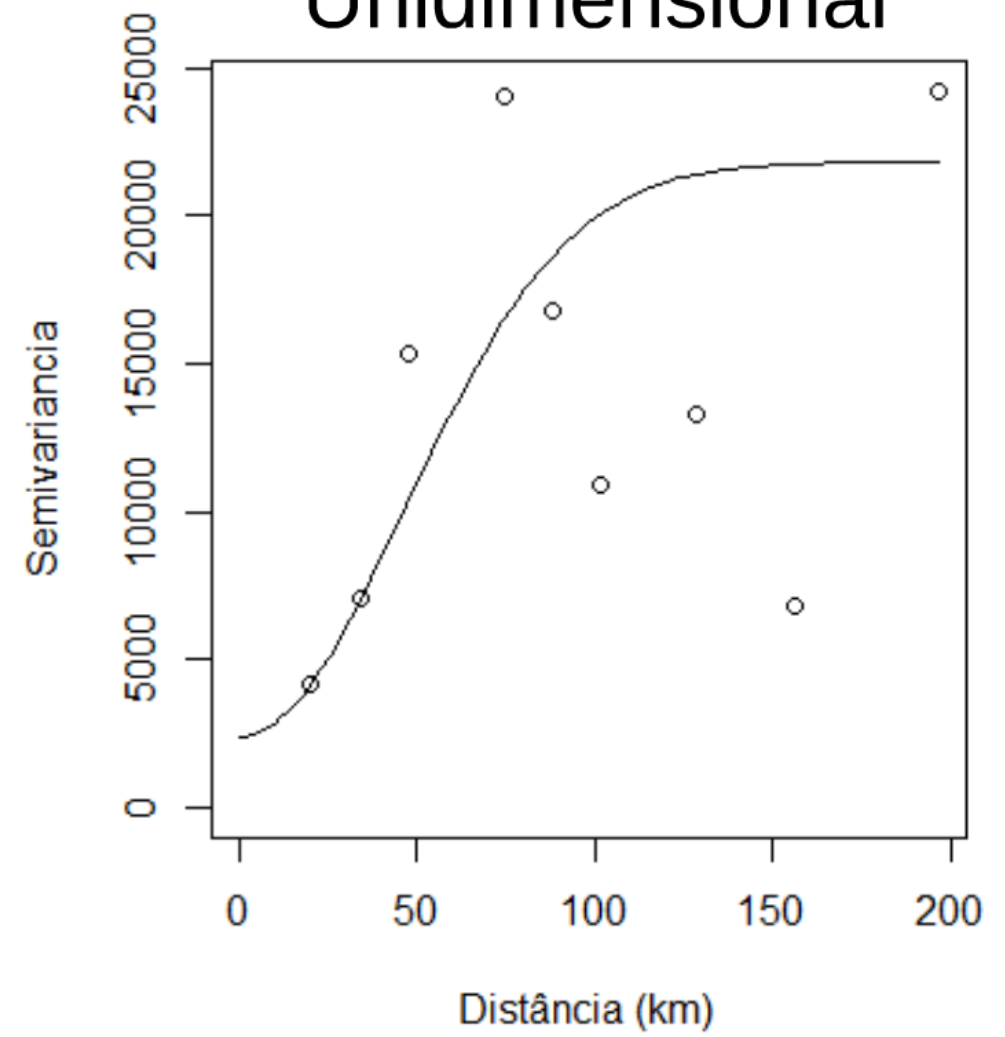


Dia 30

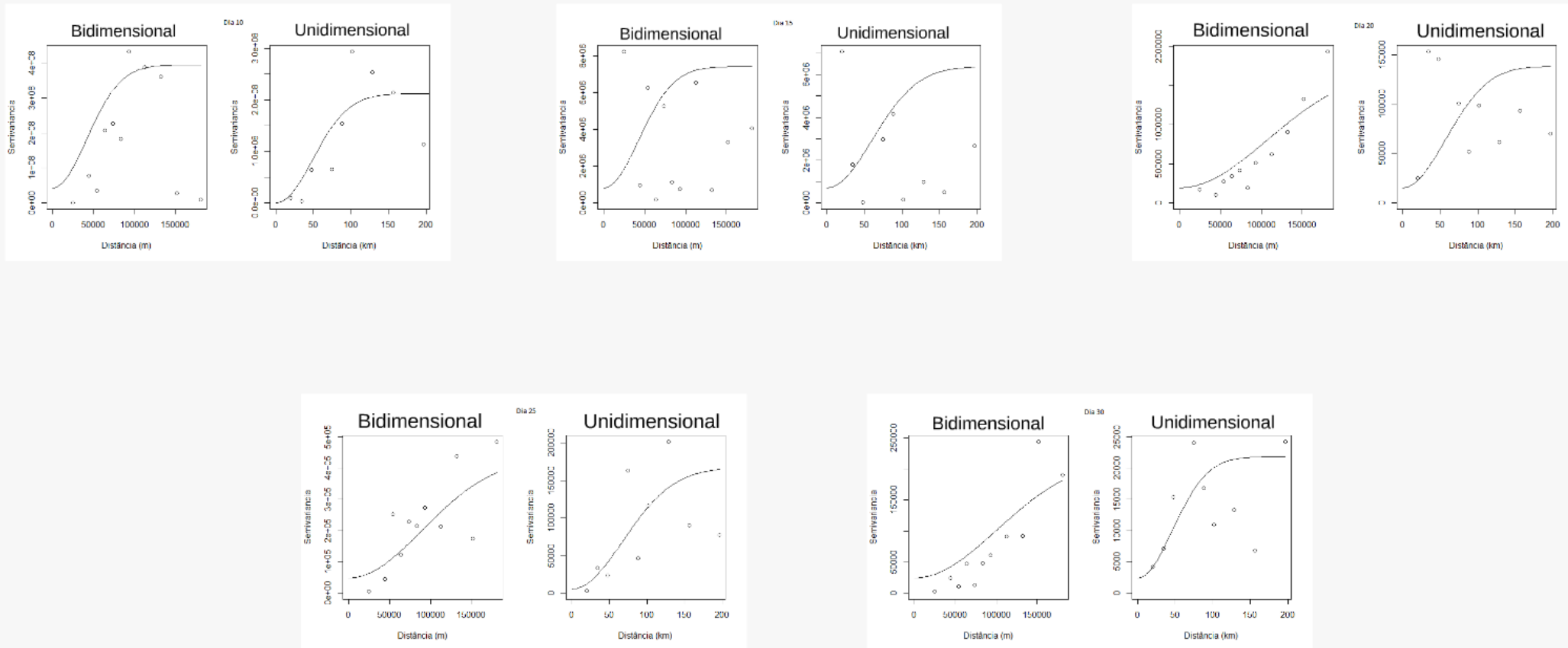
### Bidimensional



### Unidimensional



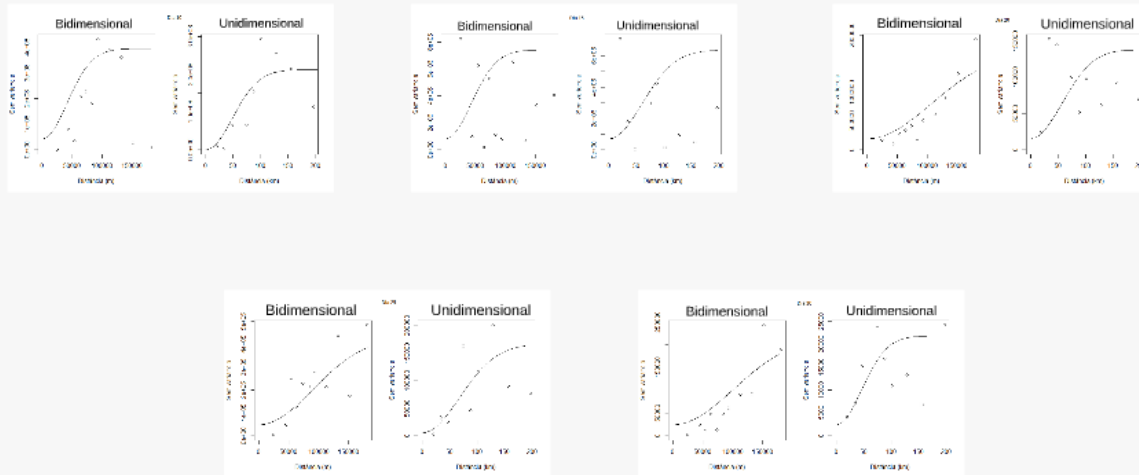
# Semivariogramas



mente, melhor ajuste para os dados univariados;  
este que Chen, Yeh e Wei (2012)

# Resultados e discussão

## Semivariogramas



Aparentemente, melhor ajuste para os dados univariados;  
Melhor ajuste que Chen, Yeh e Wei (2012).

Todos ajustados pelo método à sentinela e modelo Gaussiano.

# Resultados e discussão

- Validação Cruzada

Dia	Bidimensional		Unidimensional	
	Erro	R <sup>2</sup>	Erro	R <sup>2</sup>
10	-0,039	0,938	0,38	0,85
15	-0,79	-0,09	0,35	-0,063
20	-0,02	0,62	0,17	0,61
25	-0,05	0,26	-0,31	0,81 ←
30	1,82	-0,01	0,14	0,95 ←

Corroboram com os resultados de Mokih et al., (2011)

- Interpolação

Day	Time	Method	RMSE	MAE	MAPE	RMSE	MAE	MAPE
10	10:00	1D	0,38	0,35	10,0%	0,38	0,35	10,0%
15	10:00	1D	0,35	0,35	10,0%	0,35	0,35	10,0%
20	10:00	1D	0,17	0,17	5,0%	0,17	0,17	5,0%
25	10:00	1D	0,31	0,31	10,0%	0,31	0,31	10,0%
30	10:00	1D	0,14	0,14	4,0%	0,14	0,14	4,0%

## análise Cruzada

Dia	Bidimensional		Unidimensional	
	Erro	R <sup>2</sup>	Erro	R <sup>2</sup>
10	-0,039	0,938	0,38	0,85
15	-0,79	-0,09	0,35	-0,063
20	-0,02	0,62	0,17	0,61
25	-0,05	0,26	-0,31	0,81 ←
30	1,82	-0,01	0,14	0,95 ←

Corroboram com os resultados de Mokih et al., (2011)

## Extrapolação









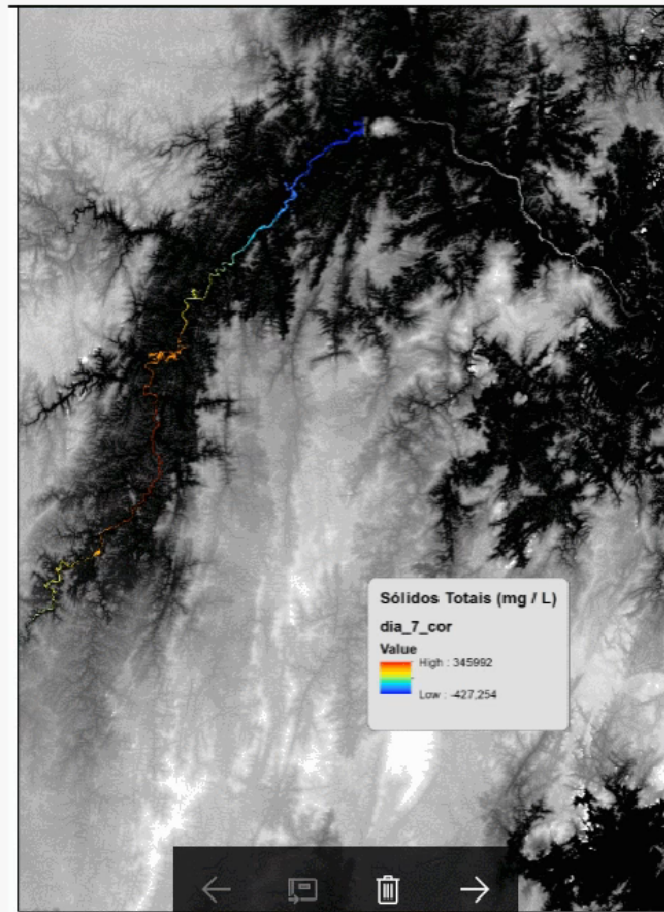


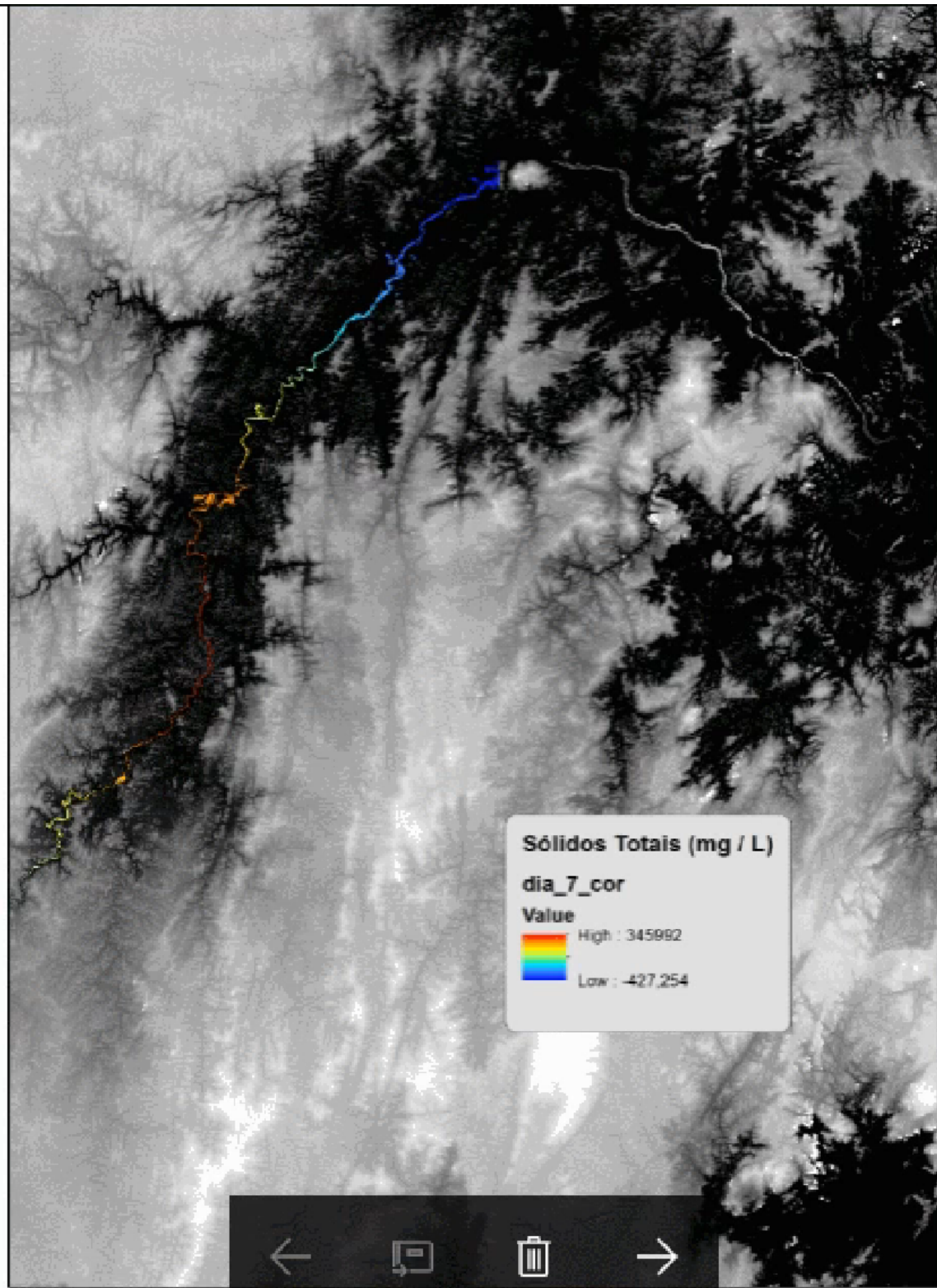


<b>Dias</b>	<b>Krig. Bidimensional</b>		<b>Krig. Unidimensional</b>			
	Média	esvio Padrã	Média	esvio Padrã	% Média	Desvio Padr
<b>10</b>	9755	11765,5	14494,7	11172,94	32,69954	-5,30353
<b>15</b>	1905,5	129,4	1526,6	304,9	-24,8199	57,55986
<b>20</b>	1708,89	573,4	2023,3	659,3	15,53947	13,02897
<b>25</b>	1238,3	383,4	1336,3	381,5	7,333683	-0,49803
<b>30</b>	614,5	251,3	762,1	291,6	19,36754	13,8203

# Resultados e discussão

## Frente de lama







# Conclusões

- Foi possível espacializar e observar a variação dos dados de sólidos totais no rio Doce ao longo do tempo;
- A Krigeagem unidimensional se mostrou com melhores resultados que a bidimensional, pelos testes de validação cruzada.
- Os resultados médios entre os valores de sólidos totais e seu desvio padrão foram bem próximos.
- Foi possível observar o avanço da pluma de contaminação no rio Doce.

# Referências

ANDRIOTTI, J. L. S. Fundamentos de estatística e geoestatística. [S.l.: s.n.], 2003.

CAMARGO, E. C. G.; FUCKS, S. D.; CÂMARA, G. Análise espacial de superfícies. Análise espacial de dados geográficos. Planaltina: Embrapa Cerrados, p. 79–122, 2004.

BRASIL, S. G. do et al. Relatório de conjuntura dos recursos hídricos 2013. Agência Nacional de Águas (ANA), 2013.

R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria, 2017. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>.

CHEN, Y.-C.; YEH, H.-C.; WEI, C. Estimation of river pollution index in a tidal stream using kriging analysis. International journal of environmental research and public health, Molecular Diversity Preservation International, v. 9, n. 9, p. 3085–3100, 2012.

Кириллические символы также могут быть использованы в математическом режиме. Мокін, ВБ е Крижановський, ЄМ е Семчук, ІОС. Удосконалення методу ординарного кригінгу геостатистичного аналізу для моделювання якості вод у річці з урахуванням її звивистості. ВНТУ, 2011.

# OBRIGADO !

Rio Doce - Zé Geraldo

Deposito em suas águas meu grande segredo  
Parto pra cruzar fronteiras, engrossar fileiras

Compor meu enredo  
Deixo suas margens ricas sob a sombra lírica da  
Ibituruna  
Una, pobre sabiá que perdeu seu canto de frases  
ligeiras

Por ver se apagar a ilusão ardente  
Tão inconstante da paixão primeira

Oh! Meu Rio Doce, doce são os seios da morena  
flor  
Cor do seu Ipê  
Que vive sob as gameleiras, pés de jenipapo

Junto de você  
Leva essa morena no seu leito manso  
Faz o seu remanso se vestir de azul