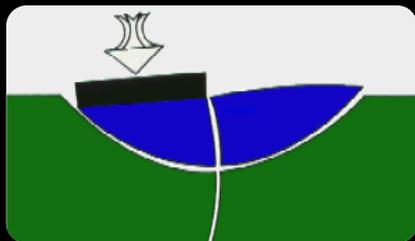


# *TÓPICOS ESPECIAS EM GEOTÉCNIA*

## *GEOESTATÍSTICA NO CÁLCULO DE FUNDAÇÕES PROFUNDAS*

*NEWTON MOREIRA DE SOUZA  
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA*

*SÃO PAULO  
Março de 2016*



PPG-UNB

**UnB - UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

Faculdade de Engenharia Civil e Ambiental

Programa de Pós-Graduação em Geotecnia - Doutorado

**TESE DE DOUTORADO**

# APLICAÇÃO DE TÉCNICAS GEOESTATÍSTICAS NO PROCESSO DE OTIMIZAÇÃO DE PROJETOS DE FUNDAÇÕES ESTAQUEADAS

**John Eloi Bezerra**

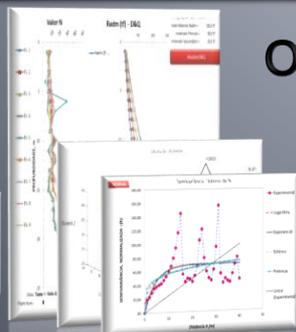
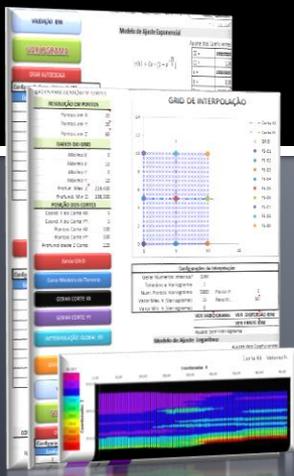
Eng. Civil, M.Sc., Doutorando em Geotecnia – PPG/UnB

Professor Universitário – UFERSA/DCAT-Eng. Civil

**Orientador: Newton Moreira de Souza, D.Sc.**

**Brasília/DF**

**24 de Março de 2014**



# Estruturação da Apresentação

## 1. Introdução

- Introdução ao problema de pesquisa
- Caracterização do objeto de estudo e do problema de pesquisa
- Hipóteses da pesquisa
- Objetivo geral da pesquisa
- Objetivos específicos da pesquisa
- Justificativas e Viabilidades da Pesquisa

## 2. Revisão da Literatura

- Revisão da literatura
  - Fundações: tipos e métodos de análise
  - Riscos Calculados e segurança das fundações
  - Ensaios de campo e o SPT
  - Conceitos da Estatística Clássica
  - Geoestatística – histórico, métodos e aplicações

## 3. Métodos e Materiais

- Tipologia e Ferramentas
- Proposta de metodologia de projeto
- Uso de dados de uma obra real

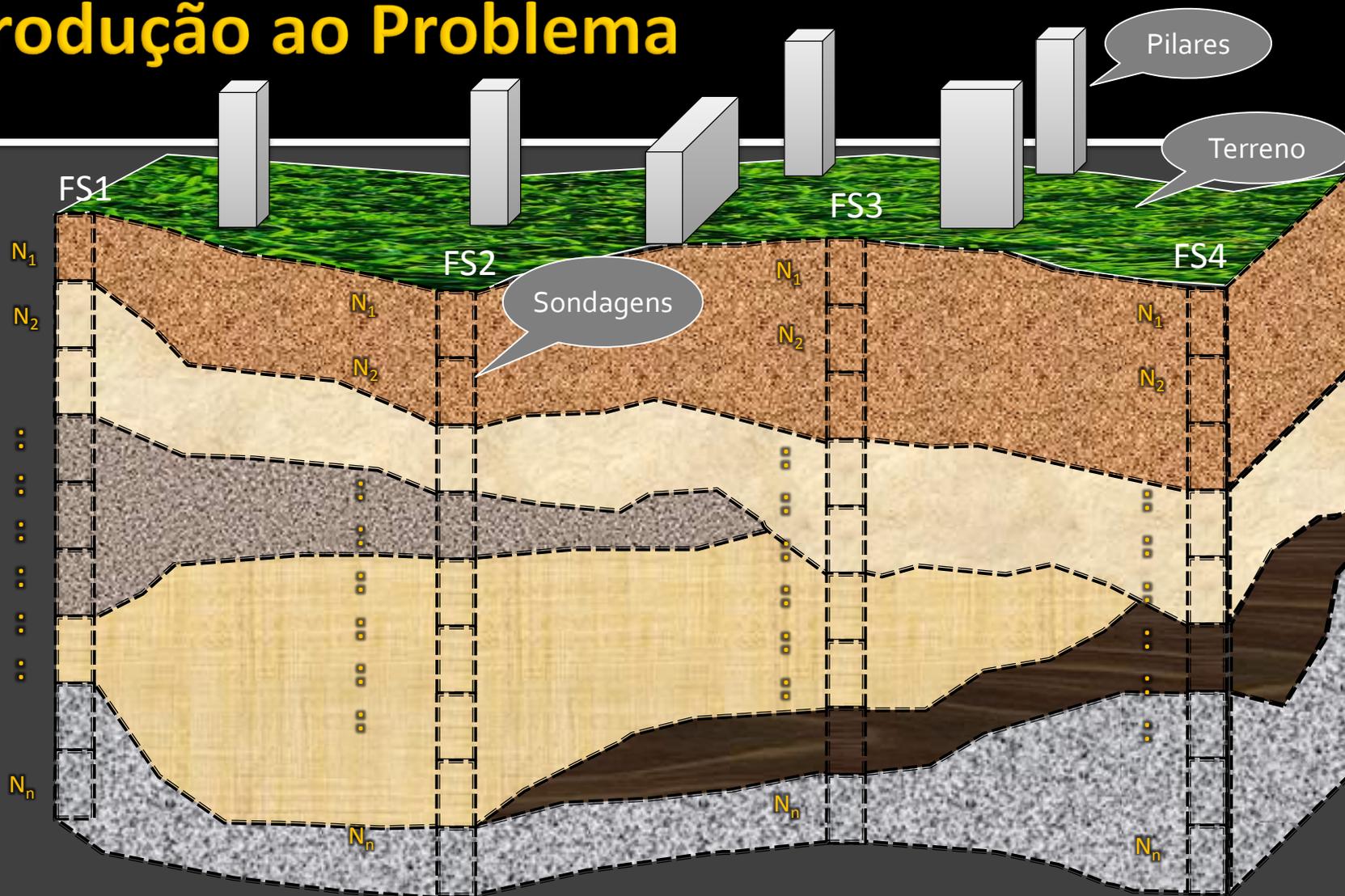
## 4. Implementações Computacionais e Resultados

- Modelagem Banco de Dados
- Programação das interfaces e métodos de capacidade de carga
- Rotinas Gráficas
- Programação Geoestatística
- Proposta do IDW modificado
- Exemplo aplicado
- Rotinas de otimização das previsões das fundações

## 5. Conclusões

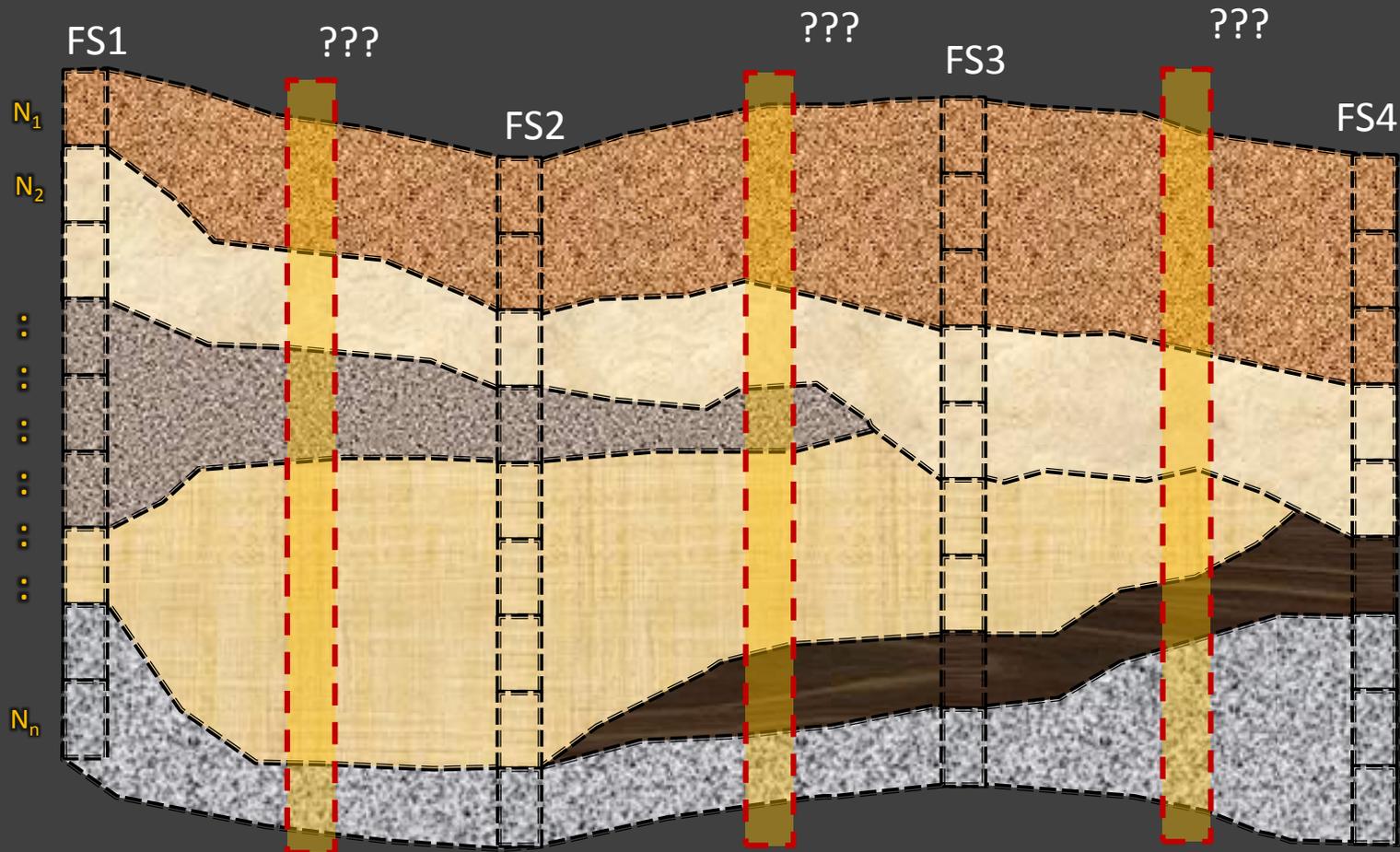
# 1.Introdução

# Introdução ao Problema



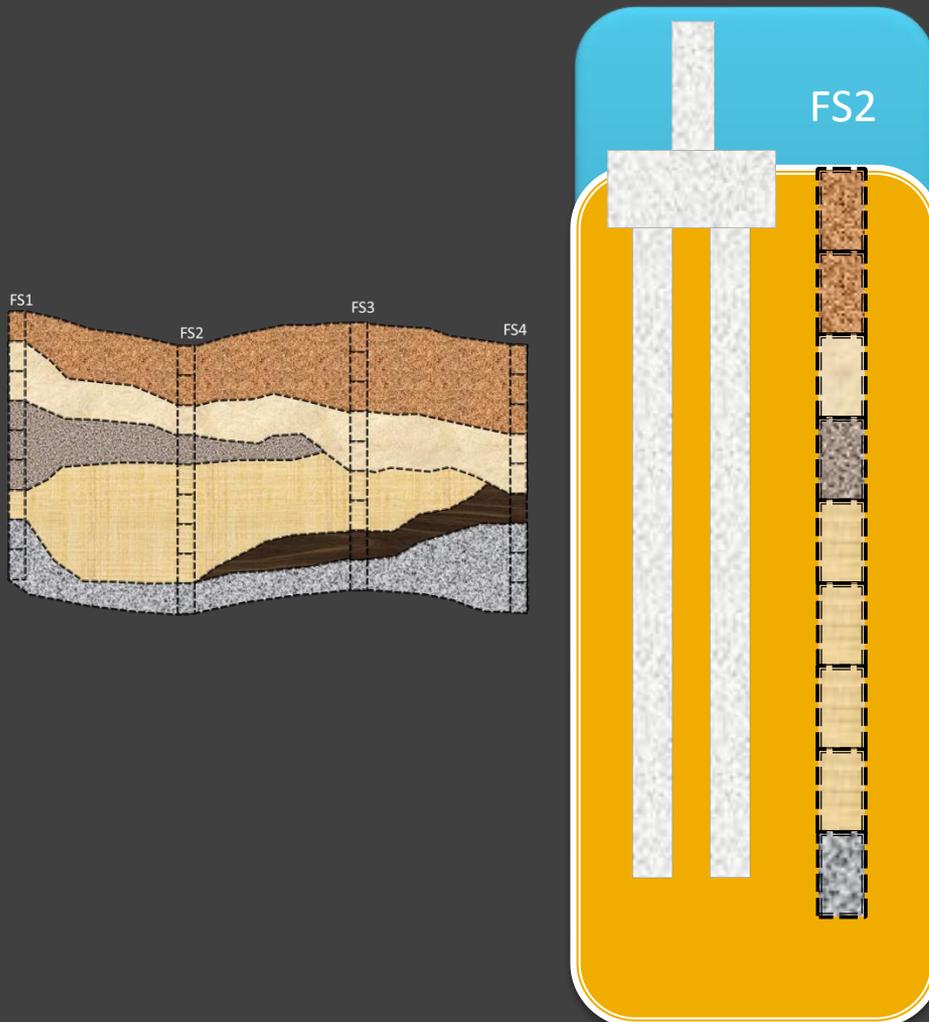
- Como projetar as fundações mediante os resultados das sondagens SPT?

# Introdução ao Problema



- Como interpolar as informações das sondagens para outras áreas do terreno?

# Introdução ao Problema

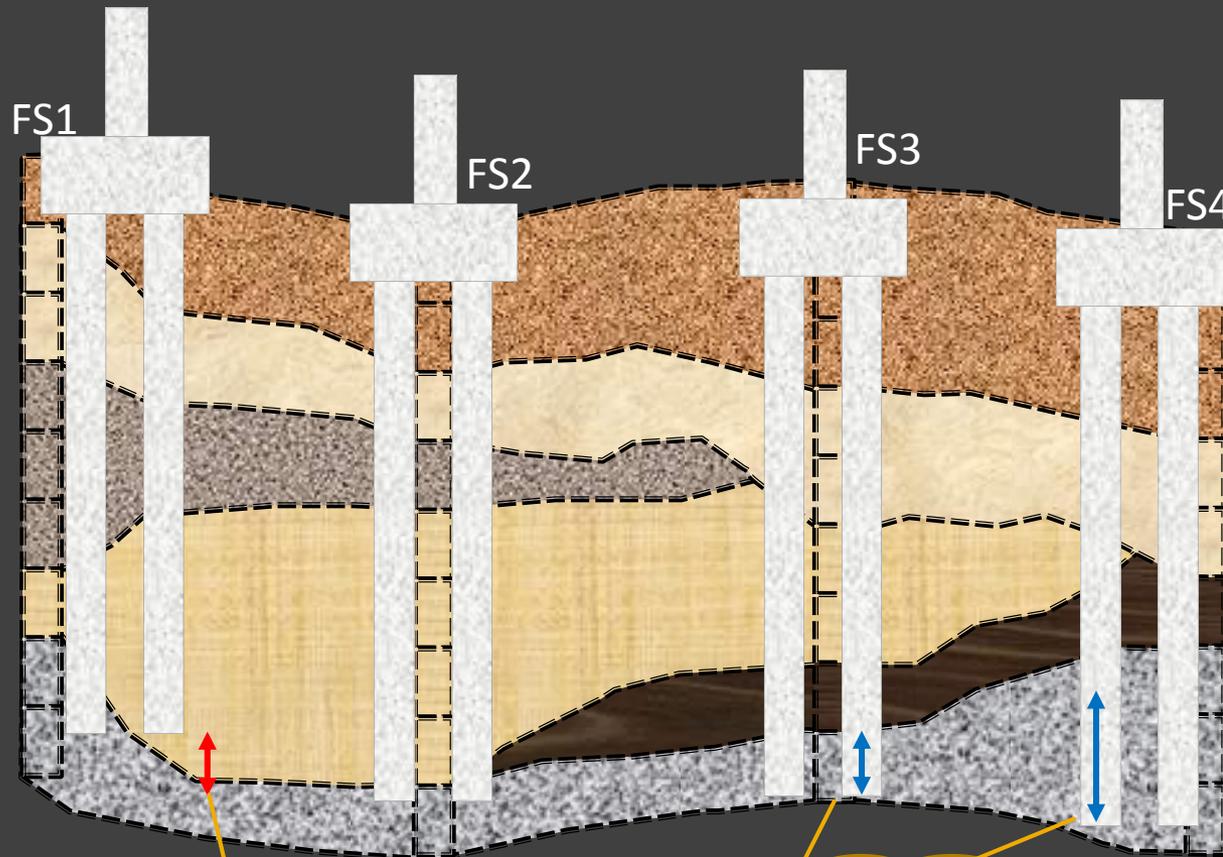


## PROJETANDO COM AS SONDAGENS

- Solução Comum:
  - Tratamento dos relatórios sem efeitos espaciais (XYZ)
  - Estimativas fundações pelo furo mais desfavorável ou equivalente, p.ex., FS-02!

- Estaqueamento Definido

# Introdução ao Problema



## RESULTADOS DESTA METODOLOGIA TRADICIONAL

- Comprimentos de estacas superestimados em outras localizações;
- As coordenadas dos pilares de fundação não são levadas em conta;
- Maior consumo de materiais e mão de obra
- Pode-se, às vezes, subestimar o comprimento das estacas

Comprimento insuficiente!

Comprimentos excedentes!

# Introdução ao Problema

- **Investigação de campo reduzida**
  - Sondagens, visitas, poços, etc.
  - Minimização de custos de investigação → dados escassos
- **“Stress” de Projeto Geotécnico**
  - Influência da variabilidade do terreno + escassez de dados
  - Prazo de elaboração
  - Ferramentas e Verbas disponíveis
  - Prazos reduzidos
  - Previsões confiáveis?

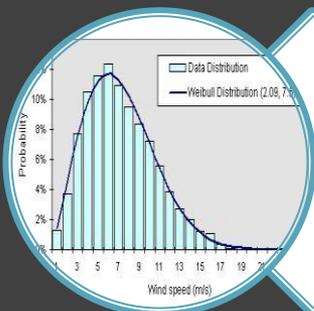
# Caracterização do objeto de estudo e do problema de pesquisa

- Como projetar **estruturas de fundações** com dados espaciais, sem prejudicar a qualidade **das previsões de comportamento e reduzindo os custos totais da obra**, num menor tempo possível?
- Como considerar a variabilidade espacial **dos parâmetros do solo no projeto de fundação?**
- Como projetar **as fundações** usando técnicas de modelagem estatística que reduzam os riscos **de projeto provenientes da variabilidade do solo, sem consumir o tempo “extra” de análise do engenheiro?**
- Quais seriam os ganhos reais **(de confiabilidade, de segurança e de economia) provenientes de um adequado tratamento das variabilidades do solo no momento da composição de um projeto de fundação? É viável o uso da geostatística em projetos?**

# Hipóteses da Pesquisa



- **Racionalização dos custos da obra** pela aplicação da técnicas da Geoestatística aplicadas aos dados de ensaios de campo e nas previsões das fundações;



- **Uso da geoestatística aumenta a confiabilidade e a reduz o cronograma da obra;**  
- Há um **domínio maior das incertezas** e dos riscos.



- A implementação das técnicas geoestatísticas via **programas computacionais integrados** (p.ex., Autocad MS Excel/Matlab) permite o **aperfeiçoamento e precisão aos projetos** de fundações.

# Objetivos Gerais e Específicos da Pesquisa

## Geral

Construção de um algoritmo que resulte em processos de elaboração de projetos de fundações profundas de custos e cronogramas otimizados, sem gerar prejuízos à confiabilidade daqueles através de técnicas de interpolação espacial.

## Específicos

Disseminar a aplicabilidade das teorias da Geoestatística

Revisar os principais métodos de previsão de capacidade de carga de fundações em estacas

Construção de um sistema computacional integrado para projeto de fundações estacadas com uso da geoestatística.

Propiciar a prática de projetos de fundações com maior qualidade e controle nas previsões de engenharia

# Justificativa da Tese

- Desenvolvimento da **racionalização** do ato de projetar fundações profundas → Uso de Técnicas Geoestatísticas
- **Otimização** do uso dos dados de sondagem e consequentes recursos do projeto;
- Elaboração de um **fluxograma de projeto e sua implementação computacional**

# 2.Revisão

# Revisão da Literatura

## Fundações

- Elementos estruturais transferidores de carga da superestrutura para o terreno

### TIPOS

- Rasas

- Profundas

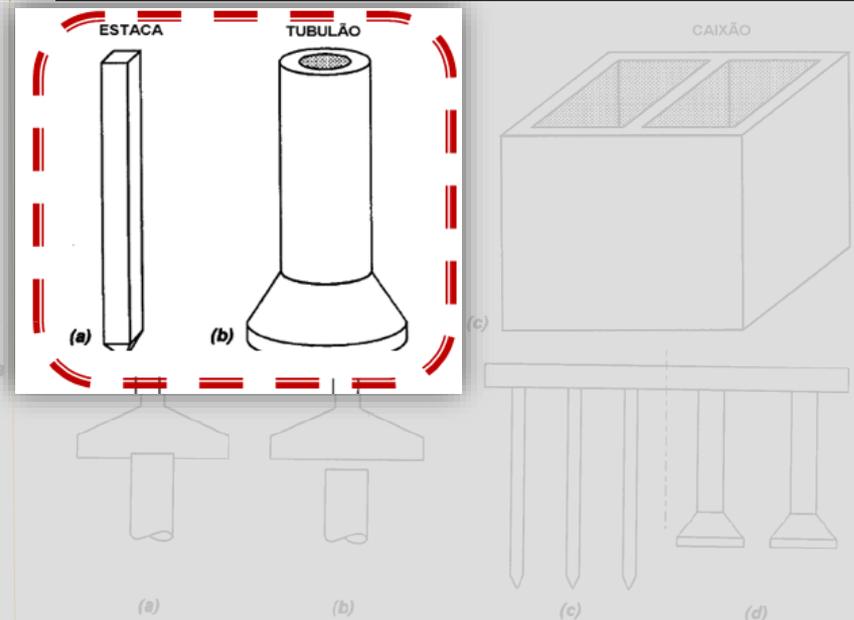
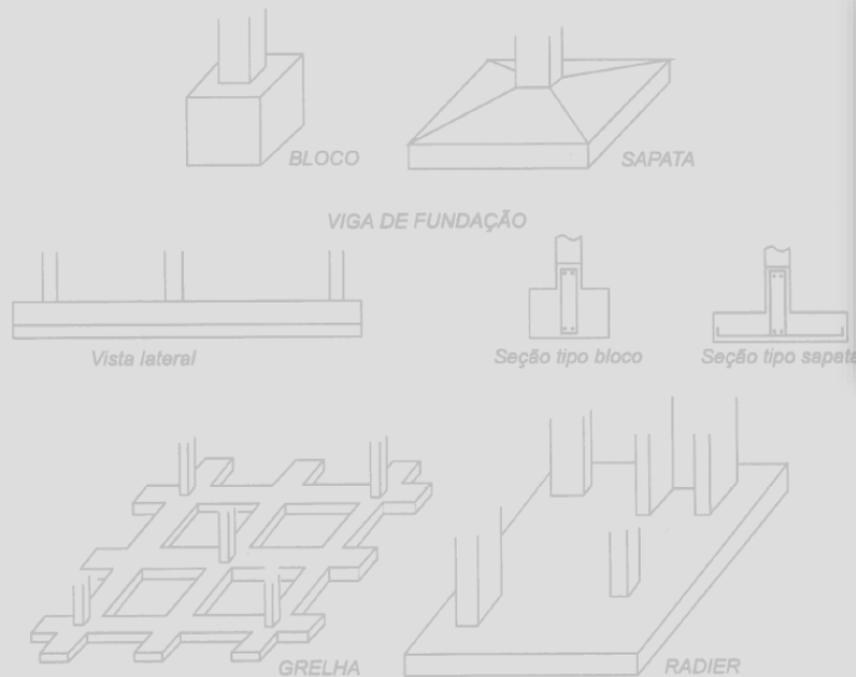
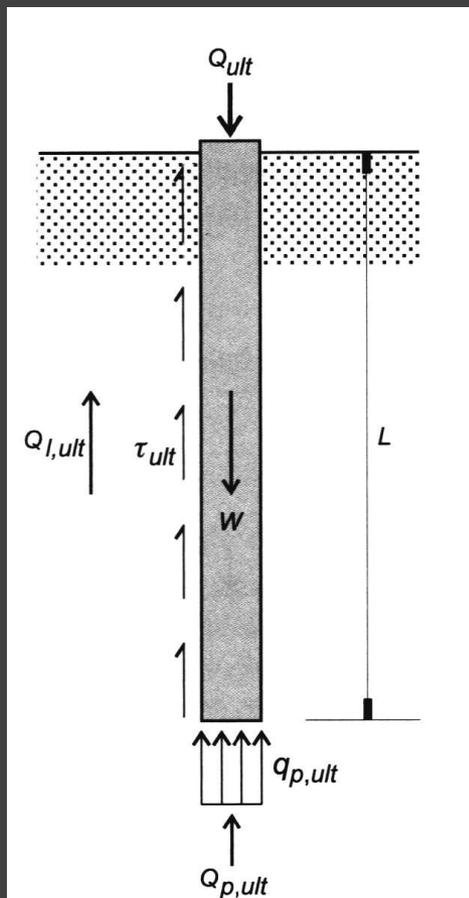


Figura 4.4 – Tipos de fundações mistas: (a) estaca “T”; (b) estapata; (c) radier sobre estacas; (d) radier sobre tubulões.

# Fundação em Estaca

## ■ Mecanismo Clássico de Transferência de Carga



Capacidade de carga última de uma estaca pode ser calculada pela equação global:

$$Q_{ult} = A_b q_{p,ult} + U \int_0^L \tau_{l,ult} dz = A_b q_{p,ult} + U \Sigma \tau_{l,ult} \Delta l$$

Capacidade de Carga Total

Parcela de Ponta

Parcela de Lateral

Onde:

$A_b$  = área transversal da estaca

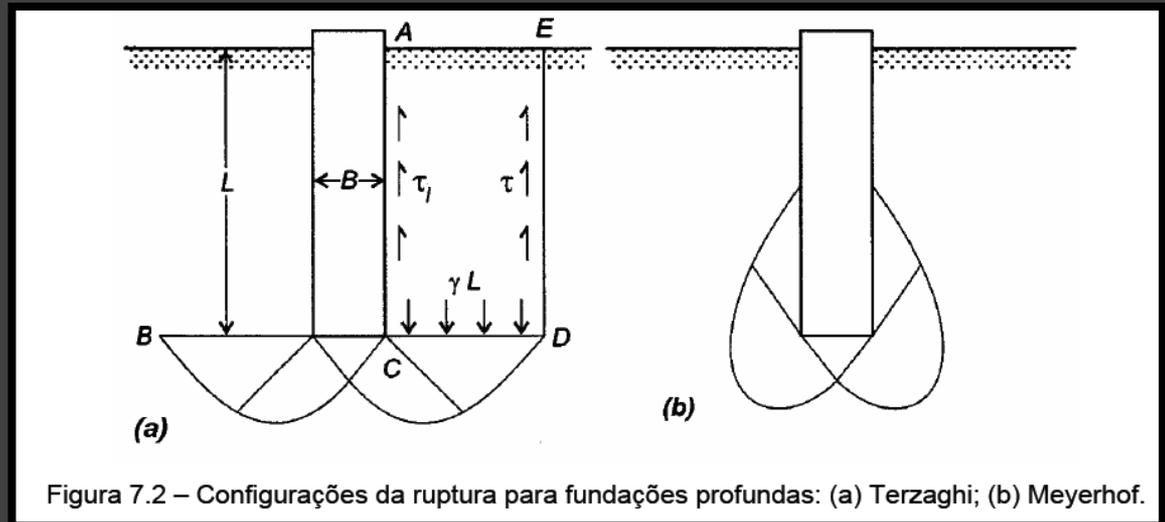
$U$  = perímetro da seção transversal da estaca

# Fundação em Estacas

## ■ Métodos de Previsão da Capacidade de Carga

### Métodos Racionais

- Terzagui (1948)
- Meyerhof (1953);
- Berezantzev (solos arenosos)
- Vésic (1972)



- Todos os métodos acima partem de uma **hipótese para a forma da superfície de ruptura** do solo ao redor da estaca;
- Usam **fatores “N” para relacionar a capacidade de carga** da estaca com a sua geometria e com os parâmetros do solo (peso específico, ângulo de atrito e coesão)

# Fundação em Estacas

## ■ Métodos de Previsão da Capacidade de Carga

### Métodos Semi-Empíricos

- Aoki e Velloso (1975);
- Método de Décourt e Quaresma (1978);
- Teixeira (1996);
- Alonso (1983) – “escavadas”
- Cabral (1986) – “raiz”
- Antunes e Cabral (1996);
- Alonso (1996) – “hélice contínua”;

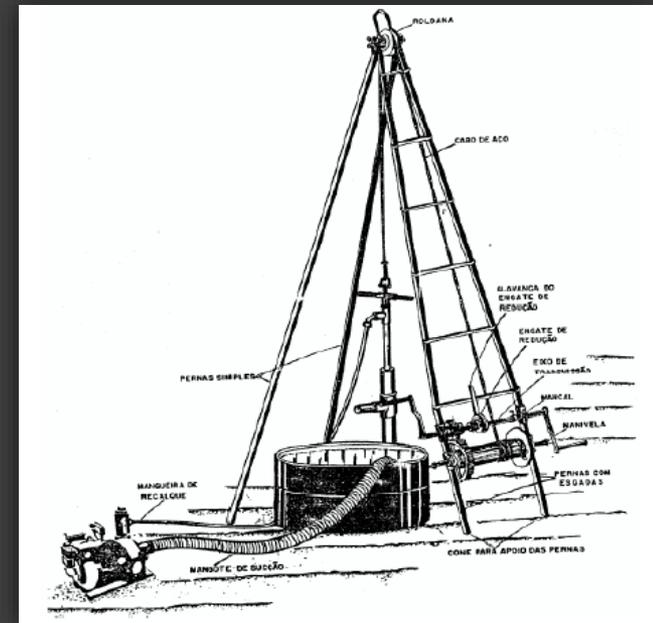
$$q_{ult} = q_l + q_b$$

$$q_l = A_N + B_N N$$

$$q_b = C_N N_b$$

(Formulação Geral)

Uso de coeficientes de correlação A, B e C.



- Os métodos acima baseiam-se nos **resultados do ensaio do tipo SPT**;
- Cada um deles foi desenvolvido para situações particulares → **Uso com cautela!**
- **Necessitam de calibração local!**

# Estatística Clássica x Geoestatística

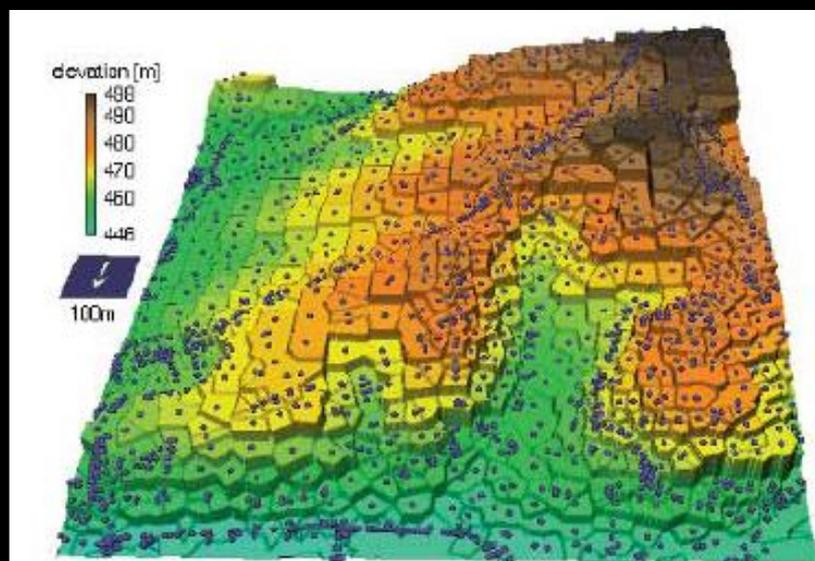
- A maioria das **propriedades das ciências da Terra**, incluindo os estudos geotécnicos, **variam** continuamente no espaço.
- Como conseqüência, valores pontuais em **locais mais próximos**, são **mais similares** dos pontos que estão mais distantes.
- Os dados dependem uns dos outros no sentido estatístico, nesse ponto reside basicamente a diferença entre a estatística clássica e a geoestatística.
- **A Geoestatística leva em conta a dependência espacial das amostras.**



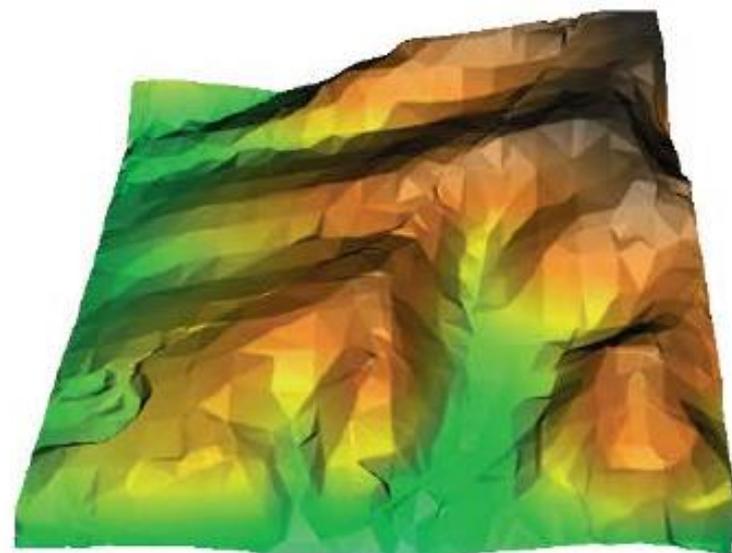
# O que Geoestatística busca responder?

- Como a variável de interesse varia no espaço/tempo?
- O que controlam estas variações no espaço/tempo?
- Onde devem ser realizadas as amostragens para que a variabilidade espacial seja identificada adequadamente?
- Quantas amostras são necessárias para representar esta variabilidade?
- Qual é o valor de uma variável em qualquer ponto do espaço ou tempo considerado?
- Qual o nível de incerteza dos valores estimados?

# Exemplos de Interpolação Espacial



(a)



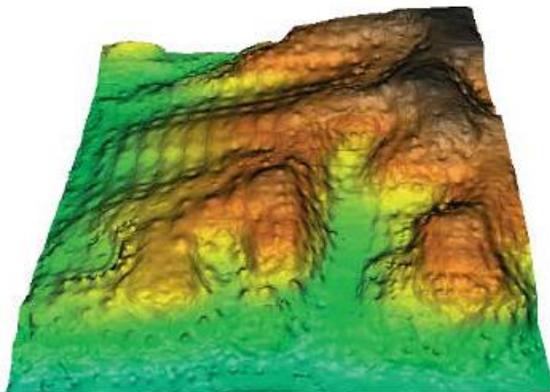
(b)

(a) pontos amostrais e Polígonos Voronói

(b) Malha triangular de interpolação linear;  
(Mitas e Mitasova, 1998)

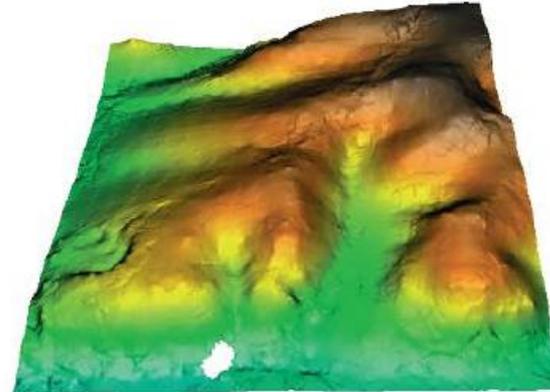
# Exemplos de Interpolação

(c) inverso ponderado da distância;



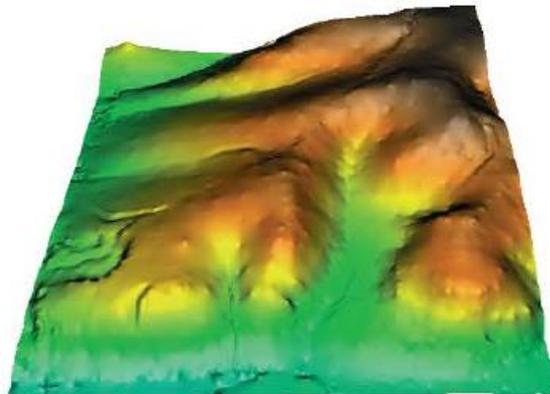
(c)

d) Krigagem – variograma esférico;



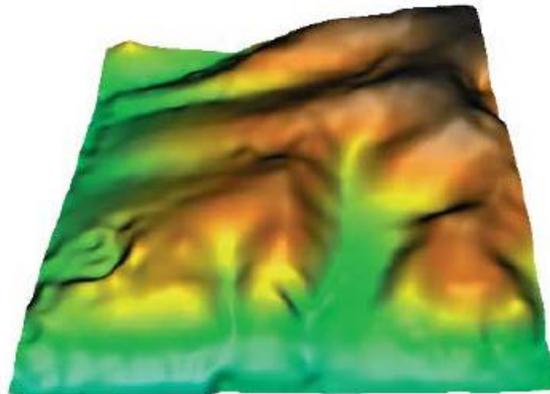
(d)

(e) Spline com tensionamento e linhas de corrente;



(e)

(f) Spline com tensionamento e suavização.



(f)

(Mitas e Mitasova, 1998)

# Métodos Geoestatísticos de Interpolação

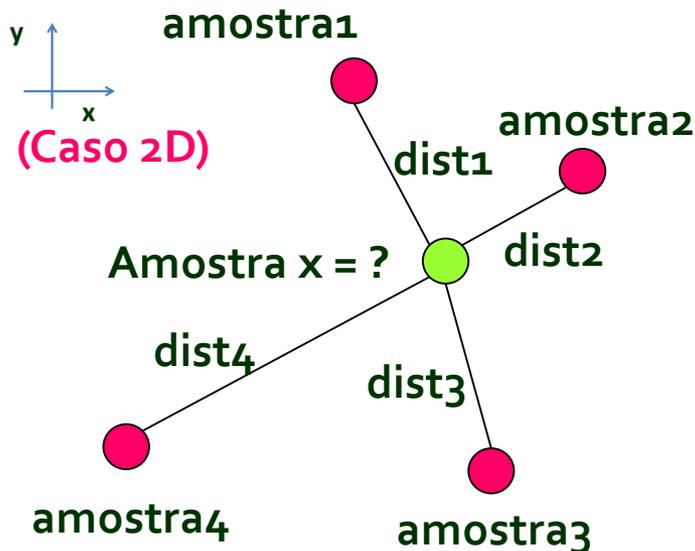
- Krigagem e Inverso Ponderado da Distância (Landim, 2000)

## Krigagem

- Interpolação que se caracteriza por atribuir pesos diferentes às amostras em função do variograma experimental.

## Inverso ponderado da distância – IDW

- Calcula-se o valor de um ponto fazendo a média ponderada pelo inverso das distâncias deste aos dados amostrais reais.



## Variograma

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

## IDW

$$\hat{z}(s_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(s_0) \cdot z(s_i) \quad \lambda_i(s_0) = \frac{1}{\sum_{i=0}^n \frac{1}{d^\beta(s_0, s_i)}}; \text{sendo } \beta > 1$$

# Métodos Geoestatísticos de Interpolação

## Métodos de Krigagem

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$$

### Krigagem Normal ou Ordinária - KO

$$\varepsilon(x_0) = R(x_0) = Z^*(x_0) - Z(x_0) = 0$$

$$\begin{bmatrix} C_{11} & \cdots & C_{1n} & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ C_{n1} & \cdots & C_{nn} & 1 \\ 1 & \cdots & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \vdots \\ \lambda_n \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{10} \\ \vdots \\ C_{n0} \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\underbrace{\begin{bmatrix} C & & & \\ & \ddots & & \\ & & C & \\ & & & 1 \end{bmatrix}}_{(n+1) \cdot (n+1)} \cdot \underbrace{\begin{bmatrix} W \\ & & & \end{bmatrix}}_{(n+1)} = \underbrace{\begin{bmatrix} D \\ & & & \end{bmatrix}}_{(n+1)}$$

Solução do sistema linear  $\rightarrow \lambda$

### Krigagem Universal - KU

$$\varepsilon(x_0) = R(x_0) = Z^*(x_0) - Z(x_0) = 0$$

$$\begin{pmatrix} C_{\alpha\beta} & f_{\alpha}^l \\ f_{\alpha}^l & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \lambda_{\beta}^2 \\ \mu_l \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_{\alpha x} \\ f_x^l \end{pmatrix}$$

Presença de deriva!

Solução do sistema linear  $\rightarrow \lambda$

### Krigagem Indicativa - KI

$$\varepsilon(x_0) = R(x_0) = Z^*(x_0) - Z(x_0) = 0$$

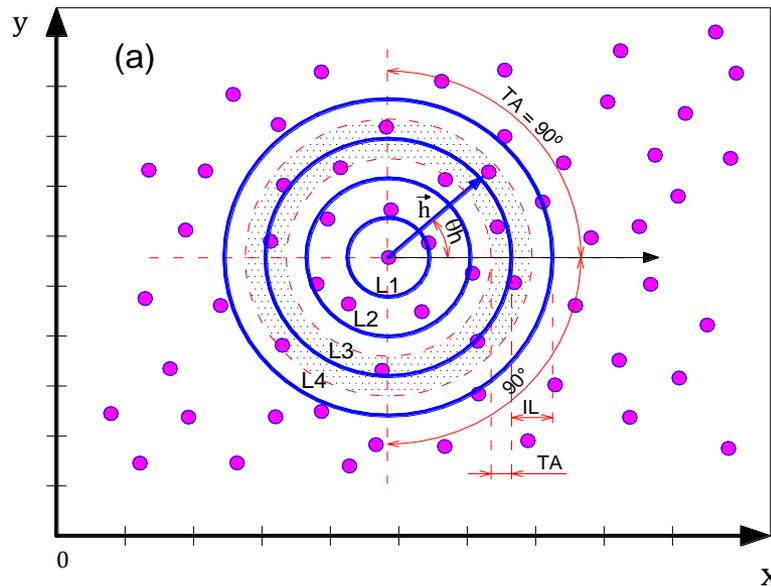
$$I_z(x) = \begin{cases} 1 & \text{se } Z(x) < z \\ 0 & \text{se } Z(x) \geq z \end{cases}$$

Transformação de variável  
 Uso de valores de corte  
 Distribuição de probabilidade  
 Aplica-se KO  
 Solução do sistema linear  $\rightarrow \lambda$

# Semivariograma

Cálculo do semivariograma a partir de amostras irregularmente espaçadas.

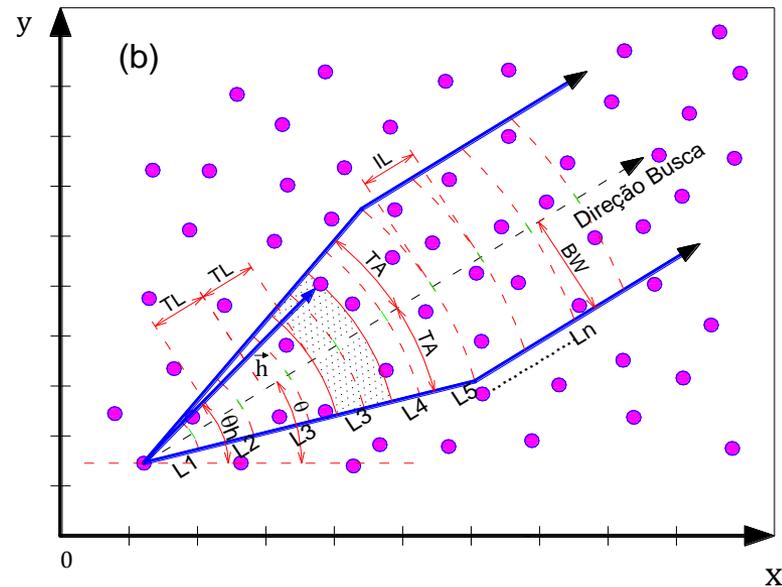
$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(u_i) - z(u_i + h)]^2$$



TA = Tolerância Angular;  
 $\theta h$  = ângulo do vetor  $h$ ;

IL = Incremento do Lag  
 BW = largura de banda;

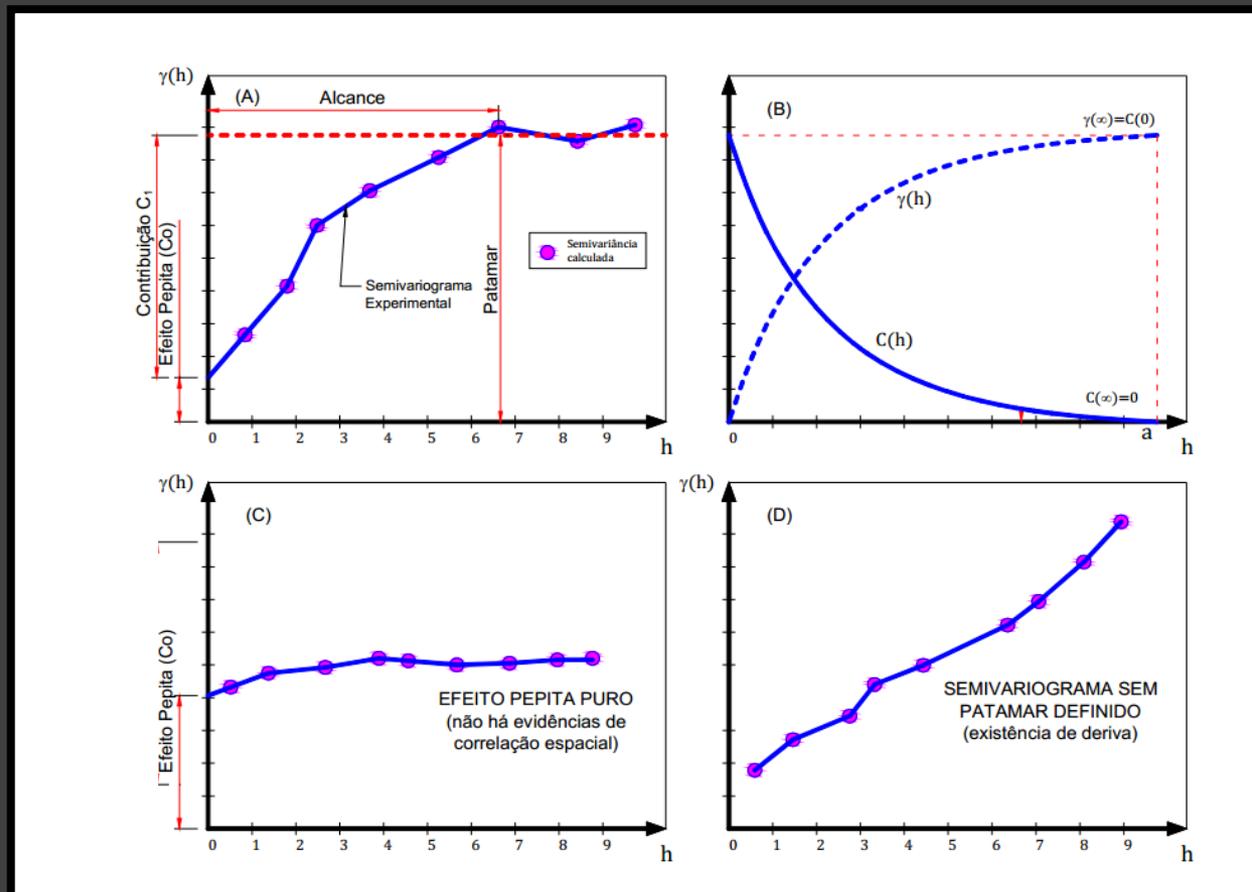
TL = Tol. Lag;  
 $L_n$  = Lag número "n"



$\theta$  = ângulo de varredura;

# Semivariograma – Base da Geoestatística

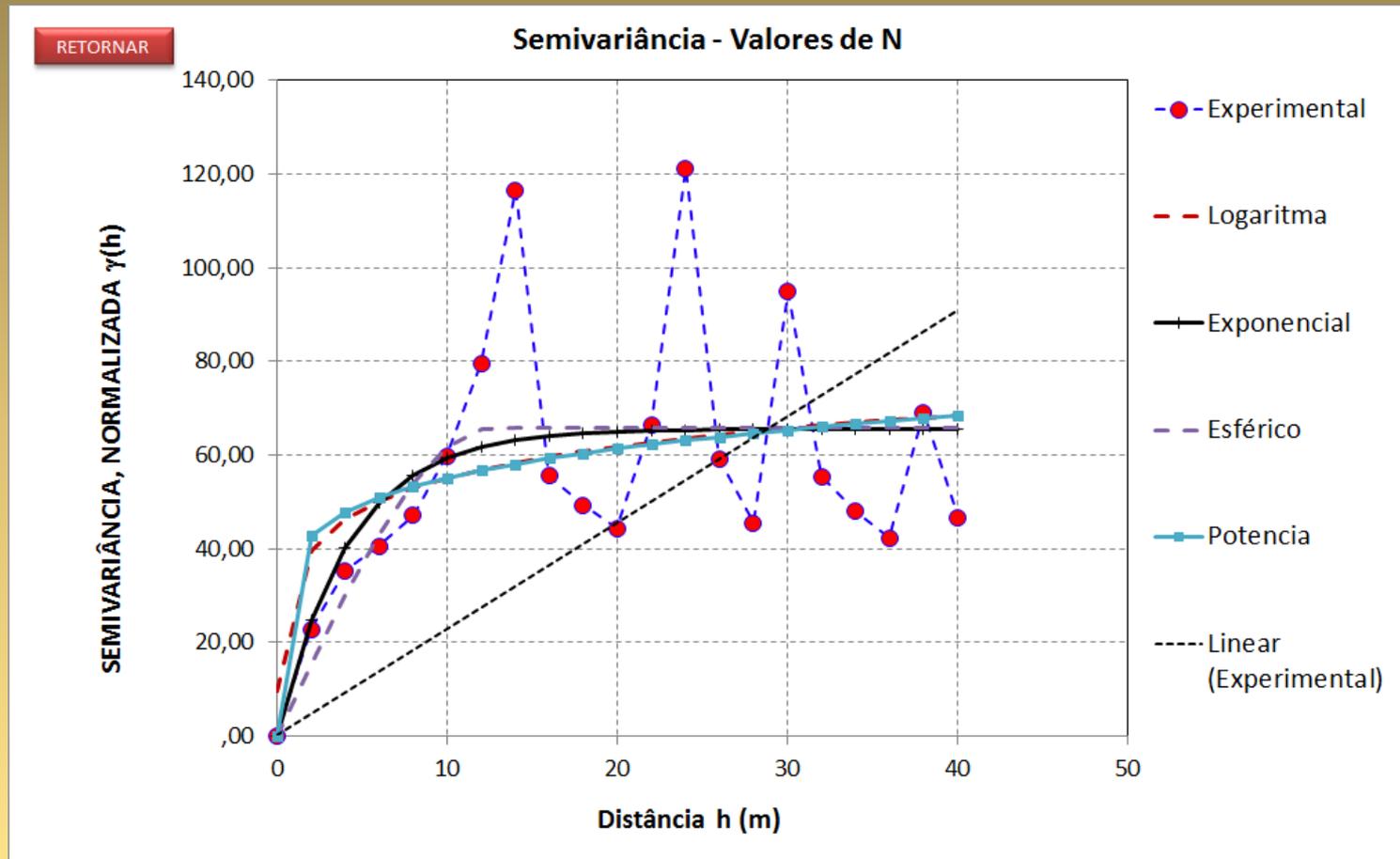
O gráfico do semivariograma empírico estimado por  $\hat{\gamma}(h)$  é formado por uma série de valores, sobre os quais se objetiva ajustar uma função.



Exemplo de semivariograma e de suas partes constituintes fundamentais

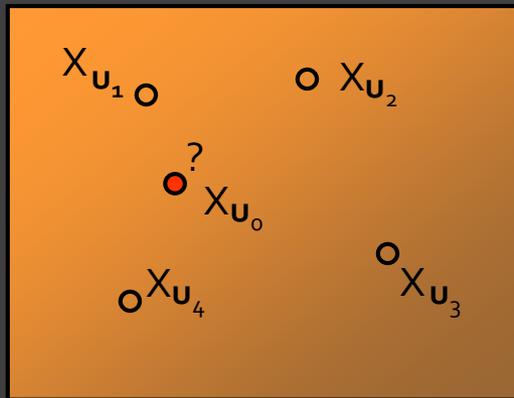
# Modelos Teóricos de Semivariograma

- Exemplos de ajustes do variograma experimental – (Mét. MSE)



# Etapas da krigagem

Os pesos são calculados considerando a estrutura de correlação espacial imposta pelo semivariograma



análise de correlação espacial baseada em semivariograma 1



ajuste do semivariograma experimental 2



modelo de ajuste do semivariograma 3



validação do modelo de ajuste 4



estimador de krigagem 5

# 2.1 Aplicações

# Exemplos de aplicações

- Folle (2002)
  - Mapas de valores  $N_{spt}$  – cidade Passo Fundo/RS – KO em blocos
- Fonteles (2003)
  - Mapeamento  $N_{spt}$  via co-krigagem ( sondagem + topografia)
- Silva(2008)
  - Mapeamento  $N_{stp}$  e torque – região de Londrina/PR – co-krigagem da topografia e pedologia da região
- Folle(2009)
  - Estimativas 3D da estratigrafia e propriedades do solo em Passo Fundo/RS e Roma/Itália, combinando técnicas de simulação geoestatística.

# 4.Métodos

# Metodologia da Pesquisa

1

## Revisão da Literatura

- **Fundações Profundas:**
  - Tipologias; Aplicações e Mercados;
  - Ensaio de campo SPT;
  - Teorias de Previsão de Cargas via SPT;
  - Dimensionamento de fundações profundas;
- **Métodos Geoestatísticos**
  - IDW
  - Variografia;
  - Krigagem Ordinária; Krigagem Universal e Krigagem por indicatriz;
- **Descrição das Ferramentas Numéricas e Gráficas Programáveis:** Excel, Autocad e Matlab

2

## Modelagem, Programação Numérica e Visual

- **MODELAGEM:**
  - Bancos de dados SPT;
  - Interfaces operacionais;
- **IMPLEMENTAÇÃO MATEMÁTICA**
  - Variável: Nspt ou Padm (Capacidade de carga)
  - Métodos de Previsão de Capacidade de Carga Vertical;
  - Modelos variogramas;
  - Tratamento Anisotropias
  - IDW
  - Krigagem Ordinária, Universal e Indicatriz
  - Validação Cruzada
- **GERADOR DE RELATÓRIOS**
  - Estatísticas: médias; variâncias; coeficientes de ajustes, etc.
- **GRÁFICOS**
  - Histogramas;
  - Variogramas;
  - de posicionamento das amostras no espaço;
  - contorno p/ valores estimados e erros de estimação;

3

## Validação das Ferramentas

- **Comparações com exemplos da literatura e softwares similares**

4

## Análises Paramétricas e Simulações de Cenários

- **Identificação da sensibilidade dos parâmetros de projeto das fundações profundas – N-SPT; Locação de sondagens;;**
- **Avaliação da eficiência dos métodos geoestatísticos ao projeto de fundação**
- **Análise do desempenho computacional e da praticidade**
- **Levantamento de diretrizes para projeto**

5

## Discussões e Produtos

- **Prática da geoestatística no projeto de fundações profundas;**
- **Efeitos da variabilidade espacial nos custos e nos riscos do projeto;**
- **Produto da tese: toolbox em Matlab e Suplementos para Excel para aplicação da geoestatística ao projeto de fundações.**

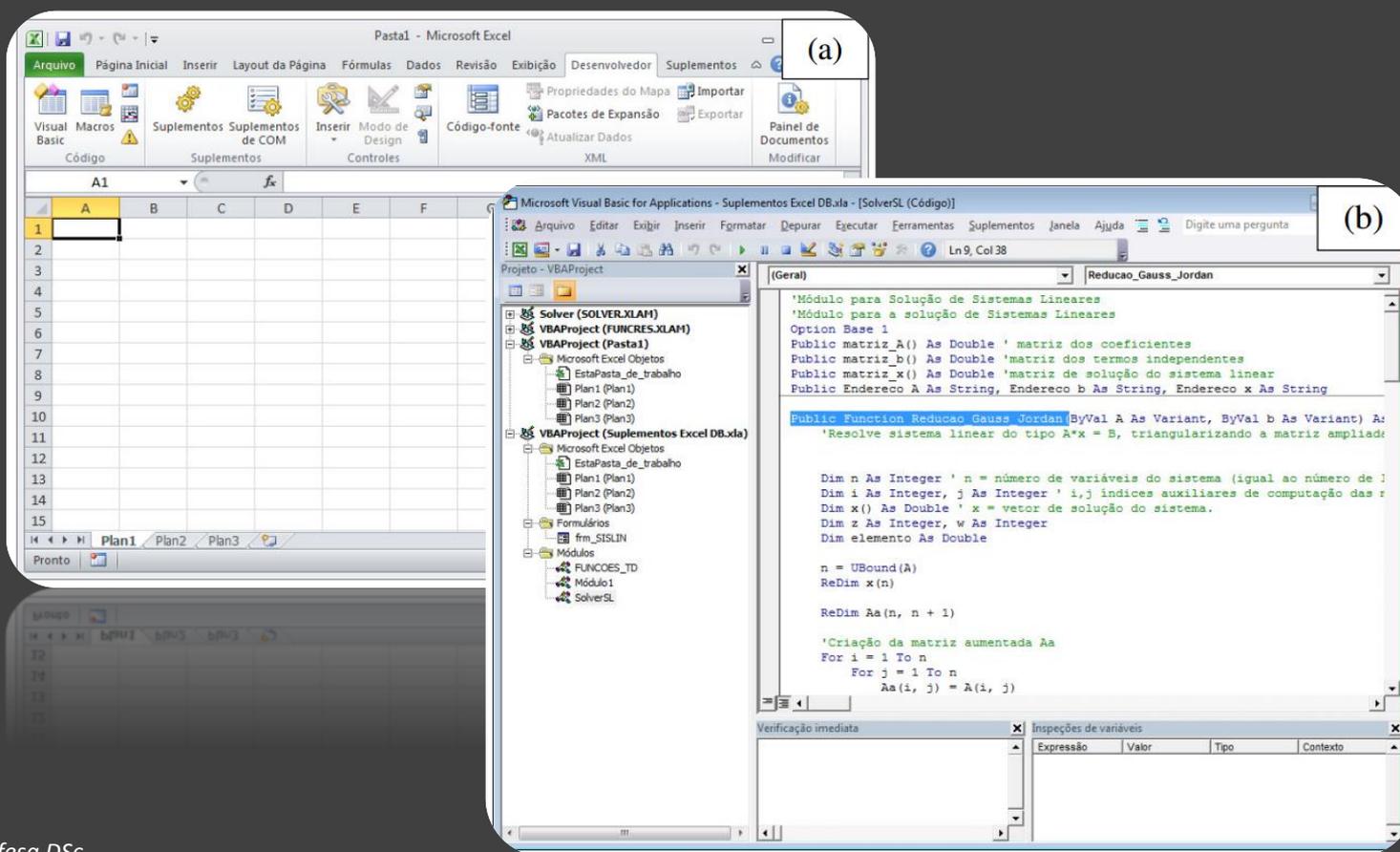
6

## FASE CONCLUSIVA

- **Principais conclusões**
- **Escrita da tese**
- **Defesa**

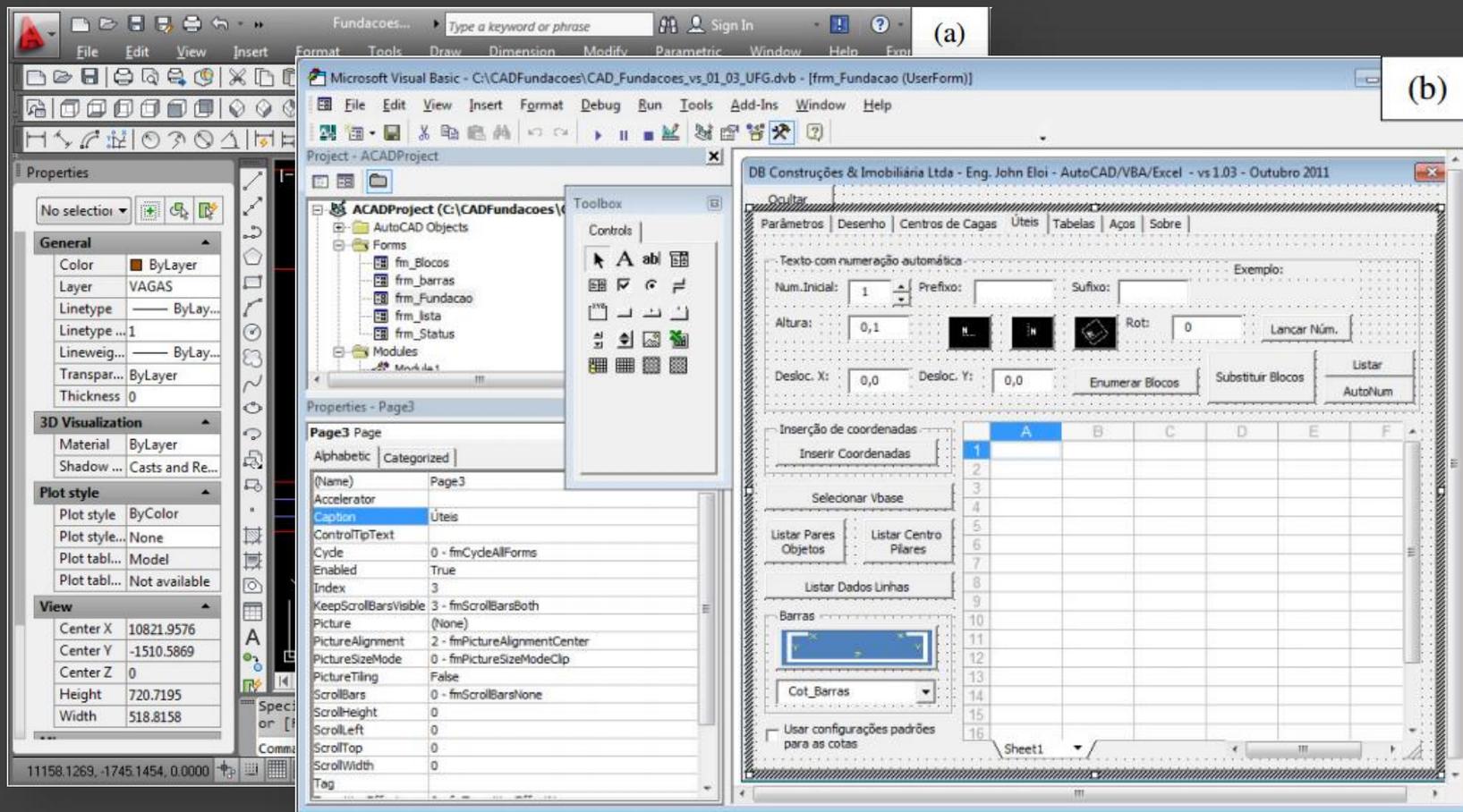
# Metodologia da Pesquisa

- Ferramentas de Implementações Numéricas e Interfaces
  - *MS Excel e Ambiente Visual Basic for Application (VBA)*



# Metodologia da Pesquisa

- Ferramentas de Implementações Numéricas e Interfaces
  - *Autocad + VBA Workframe*

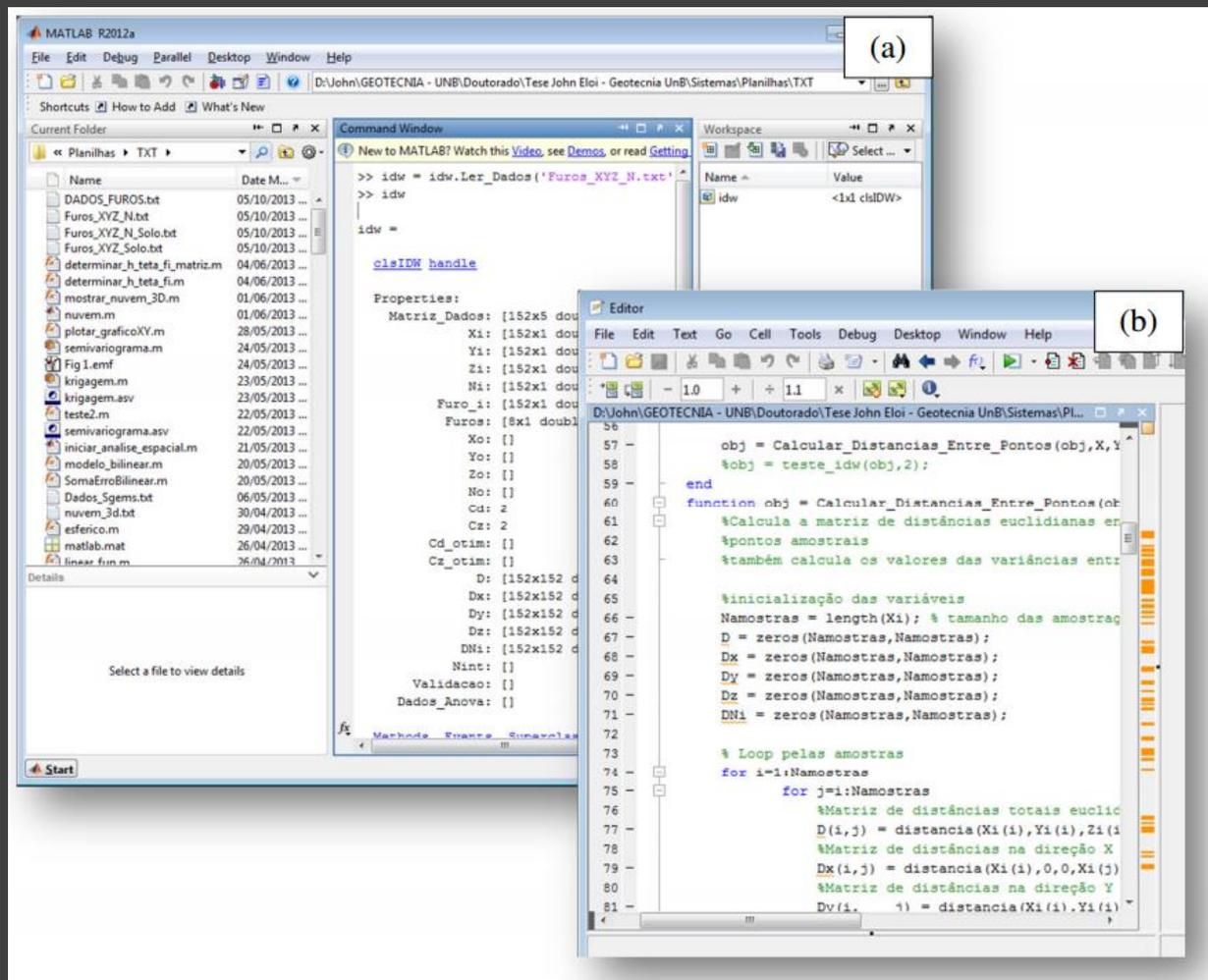


The image displays the AutoCAD VBA development environment. On the left, the AutoCAD interface is visible, showing the Properties palette for a selected object. The main window is the Microsoft Visual Basic IDE, which is divided into several panes:

- Project Explorer (a):** Shows the project structure for 'ACADProject' with folders for 'AutoCAD Objects', 'Forms', and 'Modules'. The 'Caption' property of a form is currently set to 'Úteis'.
- Properties Window (b):** Displays the properties for the selected form, including 'Caption', 'Cycle', 'Enabled', 'Index', 'KeepScrollBarsVisible', 'Picture', 'PictureAlignment', 'PictureSizeMode', 'PictureTiling', 'ScrollBars', 'ScrollHeight', 'ScrollLeft', 'ScrollTop', and 'ScrollWidth'.
- Form Design:** Shows a form titled 'DB Construções & Imobiliária Ltda - Eng. John Eloi - AutoCAD/VBA/Excel - vs1.03 - Outubro 2011'. The form contains various controls and a data grid. The data grid has columns A through F and rows 1 through 16. The grid contains numerical data, including '1' in cell A1 and '0,1' in cell A2.

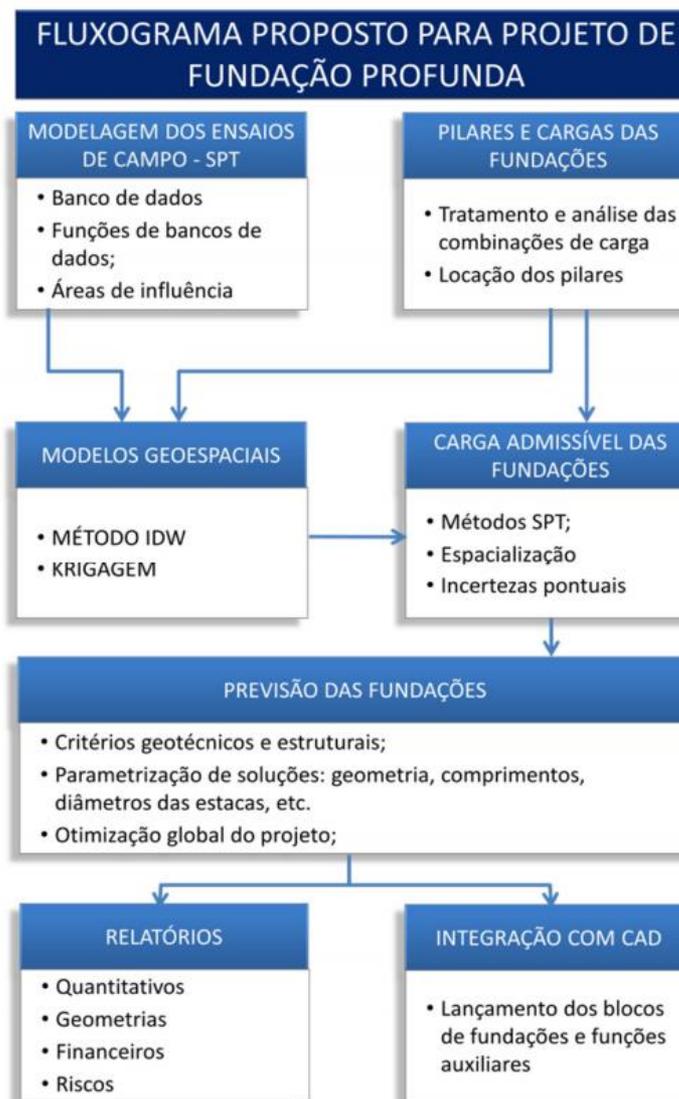
# Metodologia da Pesquisa

- Ferramentas de Implementações Numéricas e Interfaces
  - *Matlab 2012 – Plataforma de análise computacional de alto nível.*



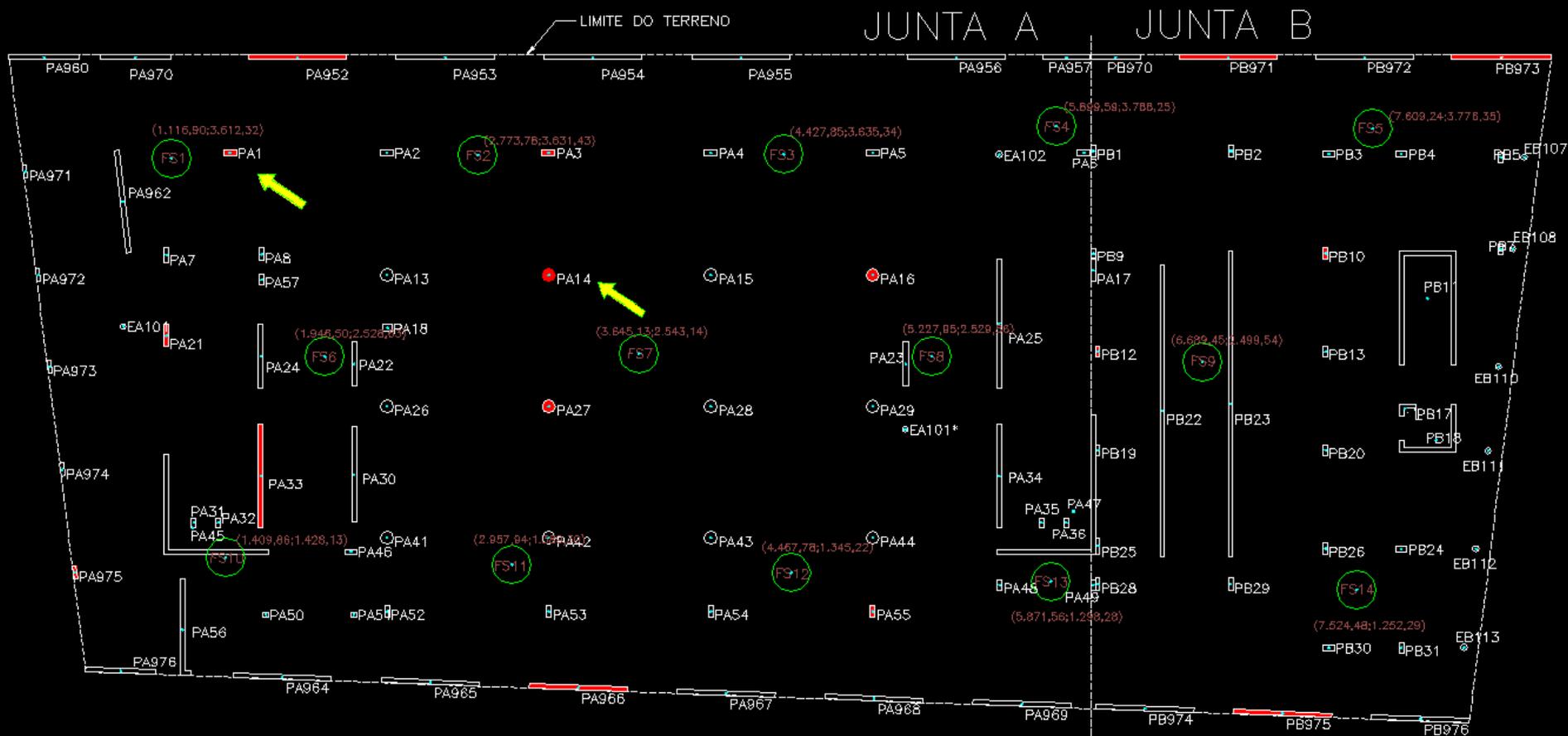
# Metodologia da Pesquisa

- Fluxograma proposto para Procedimentos de Projeto



# Metodologia da Pesquisa

- Obra modelo de estudo – Locação – Prédio CREA/PR



108 Pilares ; 14 furos de sondagens; Área = 2770 m<sup>2</sup> → 197 m<sup>2</sup>/furo 37

1. Introdução

2. Revisão

2.1 Aplicações

3. Métodos

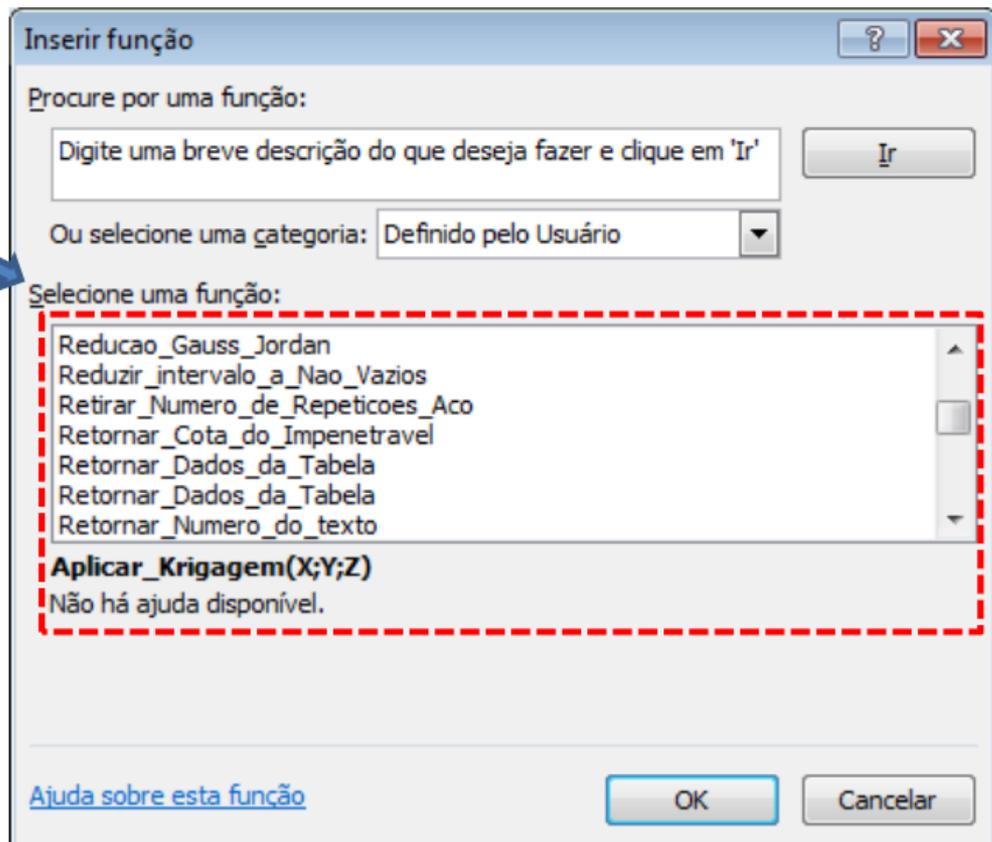
4. Resultados

5. Conclusões

6. Referências

5. Implementações e  
Resultados

# Modelagem dos dados



MATERIAIS DA ESTACA	
Fck do Concreto (MPa):	20,0
Elasticidade do Concreto (Ec - MPa):	21287,4
Fyk., aço:	500,0

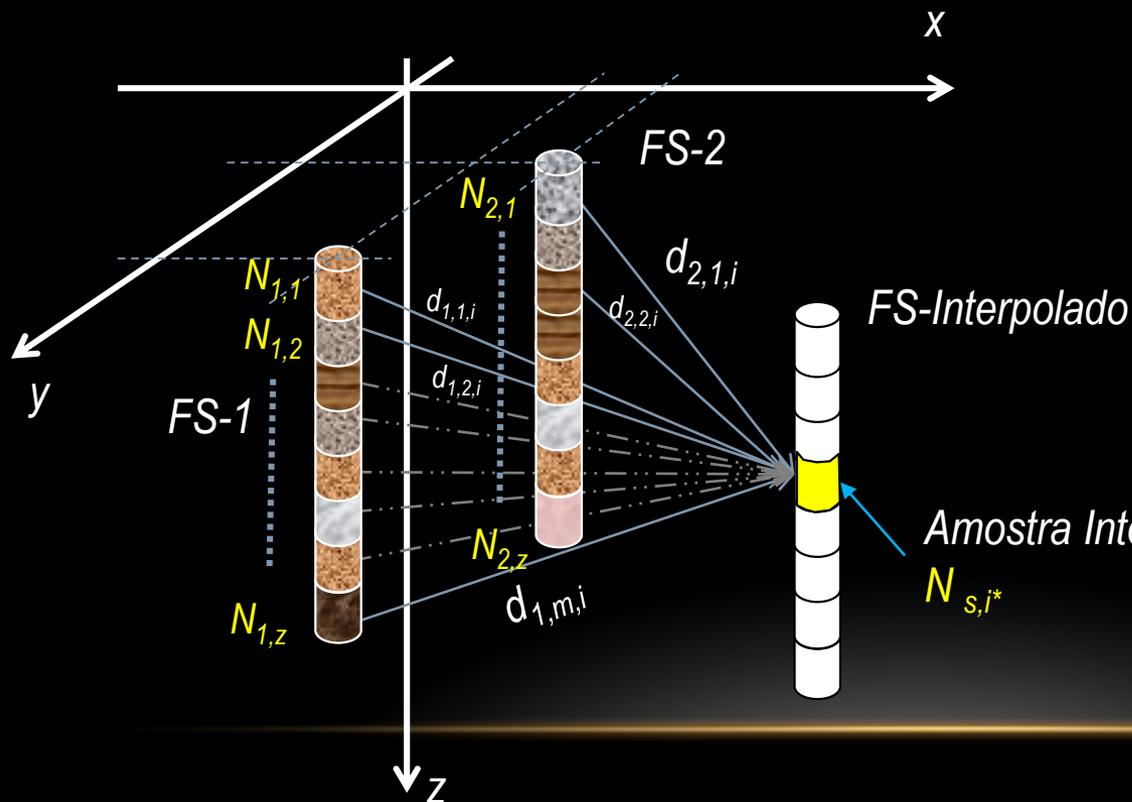
COEFICIENTES DE SEGURANÇA	
Majoração das forças - $\gamma_f$ :	1,4
Majoração da resistência concreto - $\gamma_c$ :	1,4
Majoração da resistência do aço - $\gamma_s$ :	1,15

UnB

# Modelagem dos dados

# MÉTODOS DE INTERPOLAÇÃO EM GEOESTATÍSTICA

- Método do Inverso Ponderado da Distância (IDW – *Inverse Distance Weigth*)



$$N_{si^*} = \sum_{i=1}^f \sum_{j=1}^n \lambda_{ij} N_{ij}$$

Formulação 3D

$$\lambda_{ij} = \frac{1}{d_{ij}^{\text{expoente}}}$$

Fator de Peso

Amostra Interpolada (N-SPT, Tipo de Solo, etc)

$N_{s,i^*}$

expoente = potência a ser considerada para a função de peso

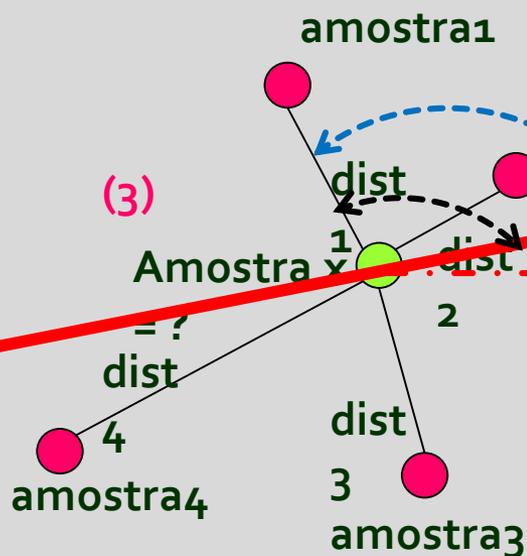
# APLICAÇÃO DO MÉTODO INVERSO PONDERADO DA DISTÂNCIA MODIFICADO - (IDDW)

## Proposta IDDW

$$Valor = \frac{\sum_1^{n\_amostras} Peso_{ij} x Amostra_{ij}}{\sum_1^{n\_amostras} Peso_{ij}}$$

$$dist_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

$\alpha$  = ângulo da direção entre amostra 1 e o ponto interpolado



Direção preferencial

$\beta$  = ângulo preferencial de ponderação direcional

• Efeito Direcional

Proposta IDDW

$$Peso_{ij} = \frac{1}{dist_{ij}^2} \cdot (1 + Fd \cdot \cos(\alpha - \beta)^{Ed})$$

• Efeito Profundidade

Fd = Fator de Proporcionalidade Direcional  
Ed = Expoente Direcional  
( $\alpha - \beta$ ) = desvio angular direcional

## Fluxograma da Planilha IDW

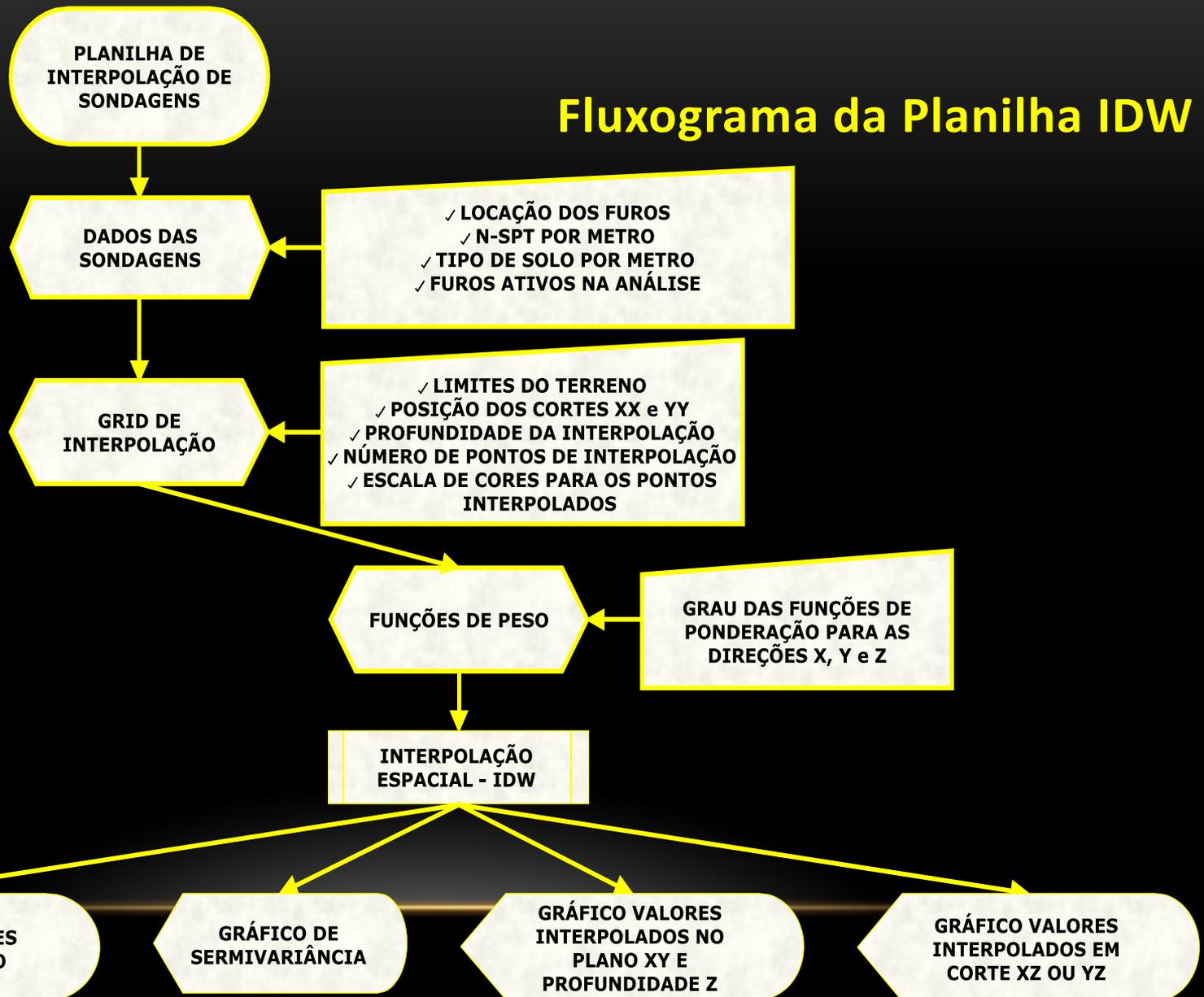
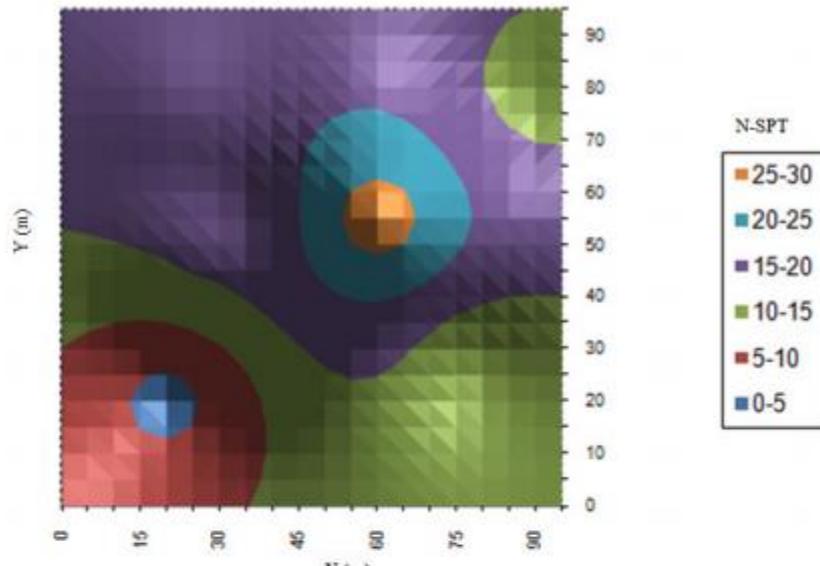
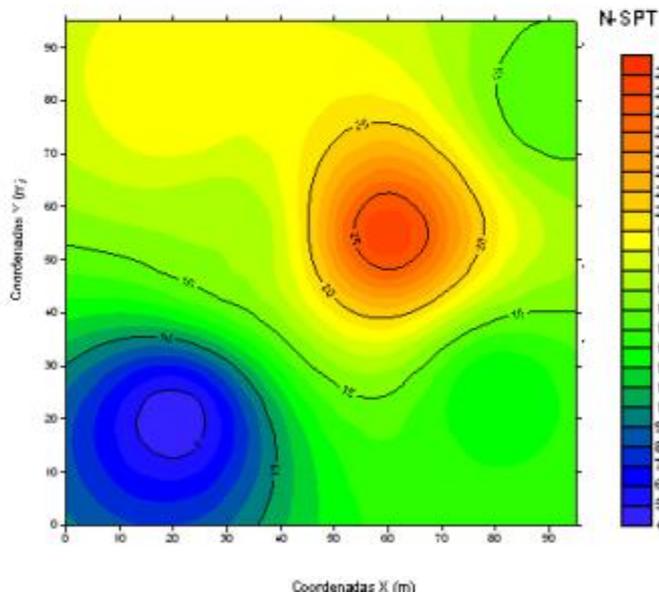


GRÁFICO DE CONTORNO - N-SPT INTERPOLADO 2D

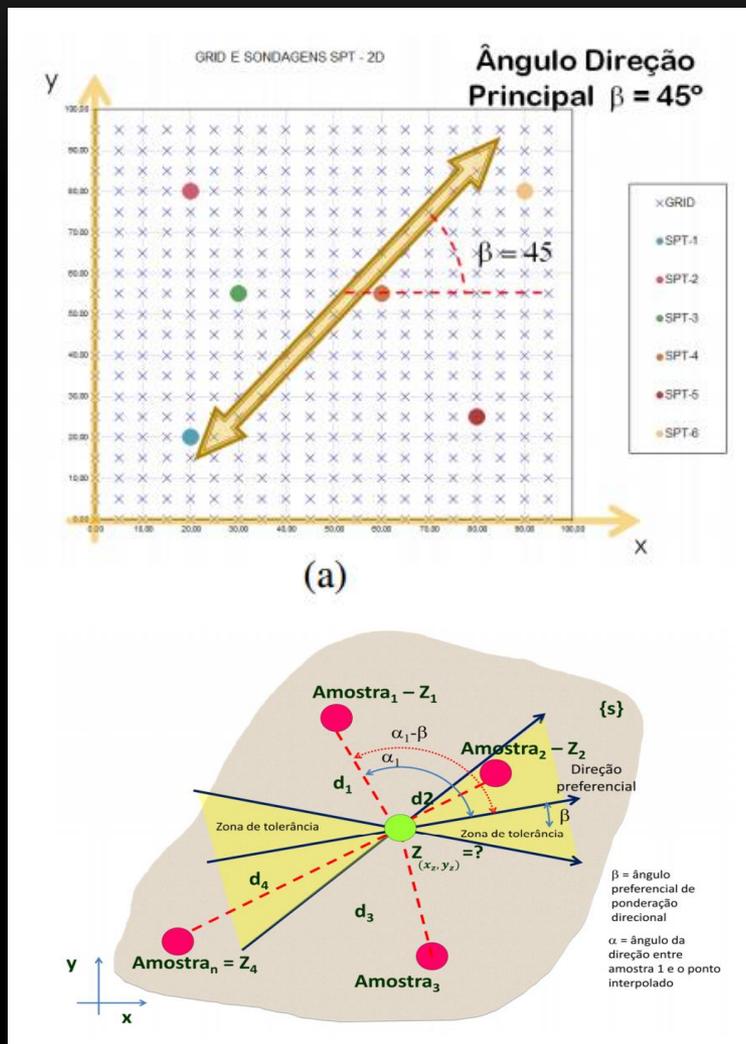


## Fluxograma da Planilha IDW

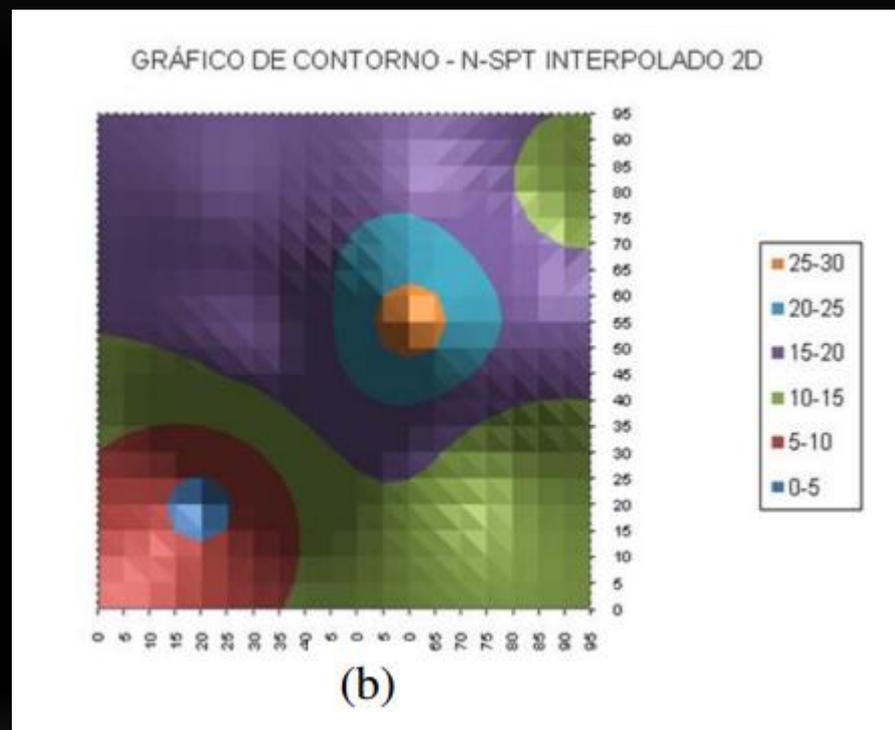
Comparação dos resultados obtidos pela planilha e o programa Surfer (Método IDW)

SURFER - Análise N-SPT  
Profundidade Z = -10 m

# Resultados da análise direcional implementada

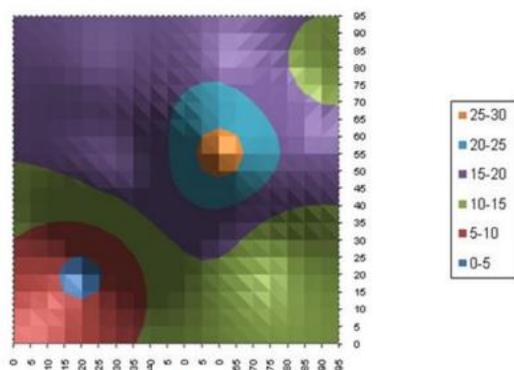


## Análise Omnidirecional



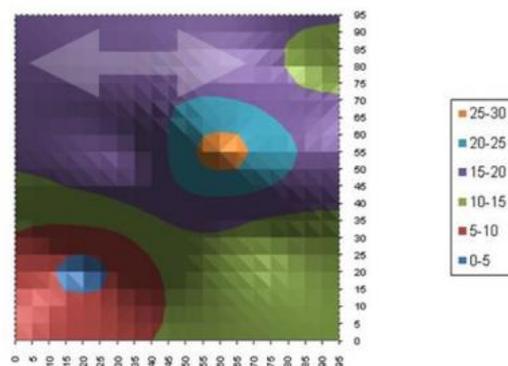
# Resultados da análise direcional implementada

GRÁFICO DE CONTORNO - N-SPT INTERPOLADO 2D



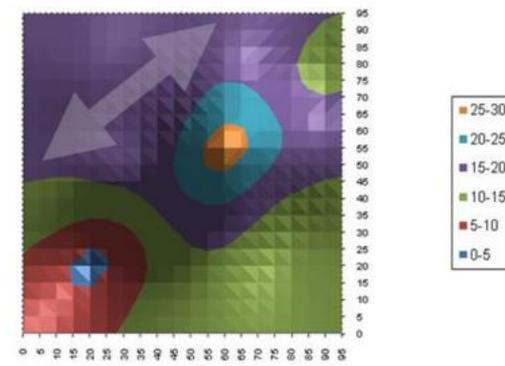
(b) omni

GRÁFICO DE CONTORNO - N-SPT INTERPOLADO 2D



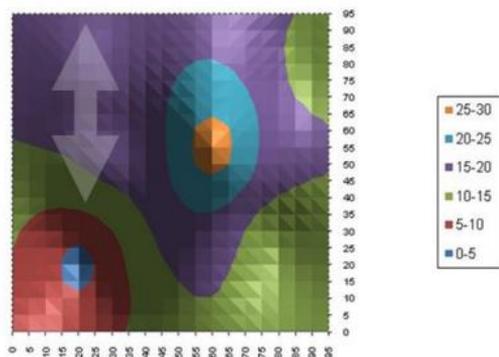
(c) 0°

GRÁFICO DE CONTORNO - N-SPT INTERPOLADO 2D



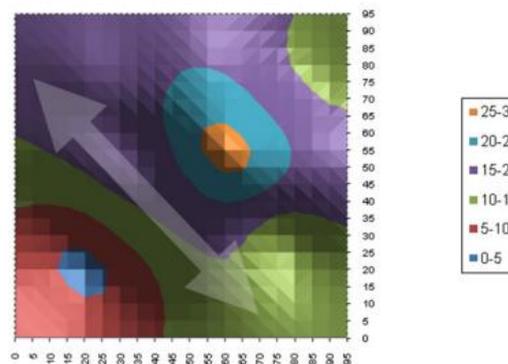
(d) 45°

GRÁFICO DE CONTORNO - N-SPT INTERPOLADO 2D



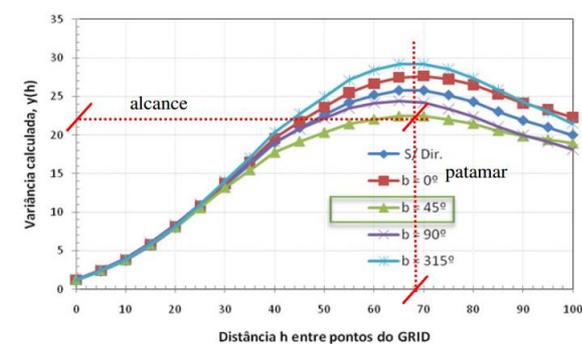
(e) 90°

GRÁFICO DE CONTORNO - N-SPT INTERPOLADO 2D

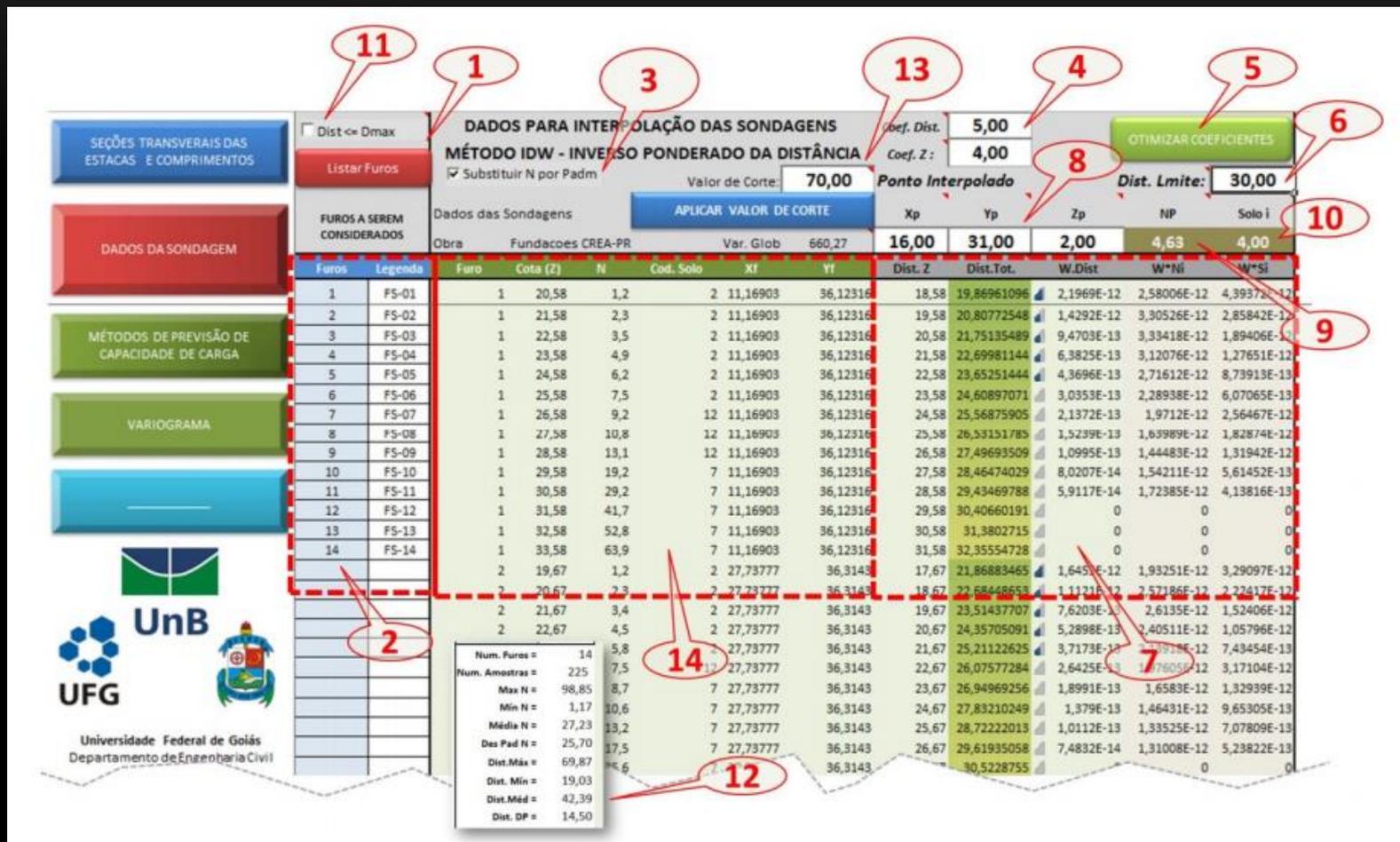


(f) 135°

Semivariograma



# Interface Principal do Sistema – Método IDW e Krigagem



**DADOS PARA INTERPOLAÇÃO DAS SONDAGENS**

MÉTODO IDW - INVERSO PONDERADO DA DISTÂNCIA

Def. Dist.: 5,00  
Coef. Z: 4,00  
OTIMIZAR COEFICIENTES

Substituir N por Padm  
Valor de Corte: 70,00  
Ponto Interpolado  
Dist. Limite: 30,00

Dados das Sondagens: APLICAR VALOR DE CORTE

Obra	Fundacoes CREA-PR	Var. Glob	Xp	Yp	Zp	NP	Solo i
660,27			16,00	31,00	2,00	4,63	4,00

Furos	Legenda	Faro	Cota (Z)	N	Cod. Solo	XF	YF	Dist. Z	Dist. Tot.	W. Dist.	W* Ni	W* Si
1	FS-01	1	20,58	1,2	2	11,16903	36,12316	18,58	19,86961096	2,1969E-12	2,58006E-12	4,3937E-12
2	FS-02	1	21,58	2,3	2	11,16903	36,12316	19,58	20,80772548	1,4292E-12	3,30526E-12	2,85842E-12
3	FS-03	1	22,58	3,5	2	11,16903	36,12316	20,58	21,75135489	9,4703E-13	3,33418E-12	1,89406E-12
4	FS-04	1	23,58	4,9	2	11,16903	36,12316	21,58	22,69981144	6,3825E-13	3,12076E-12	1,27651E-12
5	FS-05	1	24,58	6,2	2	11,16903	36,12316	22,58	23,65251444	4,3696E-13	2,71612E-12	8,73913E-13
6	FS-06	1	25,58	7,5	2	11,16903	36,12316	23,58	24,60897071	3,0353E-13	2,28938E-12	6,07065E-13
7	FS-07	1	26,58	9,2	12	11,16903	36,12316	24,58	25,56875905	2,1372E-13	1,9712E-12	2,56467E-12
8	FS-08	1	27,58	10,8	12	11,16903	36,12316	25,58	26,53151783	1,5239E-13	1,63989E-12	1,82874E-12
9	FS-09	1	28,58	13,1	12	11,16903	36,12316	26,58	27,49693509	1,0995E-13	1,44483E-12	1,31942E-12
10	FS-10	1	29,58	19,2	7	11,16903	36,12316	27,58	28,46474029	8,0207E-14	1,54211E-12	5,61452E-13
11	FS-11	1	30,58	29,2	7	11,16903	36,12316	28,58	29,43469788	5,9117E-14	1,72385E-12	4,13816E-13
12	FS-12	1	31,58	41,7	7	11,16903	36,12316	29,58	30,40660191	0	0	0
13	FS-13	1	32,58	52,8	7	11,16903	36,12316	30,58	31,3802715	0	0	0
14	FS-14	1	33,58	63,9	7	11,16903	36,12316	31,58	32,35554728	0	0	0
2		2	19,67	1,2	2	27,73777	36,3143	17,67	21,86883465	1,645E-12	1,93251E-12	3,29097E-12
2		2	20,67	2,3	2	27,73777	36,3143	18,67	22,84448553	1,1121E-12	2,52186E-12	2,22417E-12
2		2	21,67	3,4	2	27,73777	36,3143	19,67	23,81437707	7,6203E-13	2,6135E-12	1,52406E-12
2		2	22,67	4,5	2	27,73777	36,3143	20,67	24,7805091	5,2898E-13	2,40511E-12	1,05796E-12
2		2	23,67	5,8	2	27,73777	36,3143	21,67	25,74122625	3,7173E-13	2,3918E-12	7,43454E-13
2		2	24,67	7,5	2	27,73777	36,3143	22,67	26,69577284	2,6425E-13	1,7605E-12	3,17104E-12
2		2	25,67	9,2	7	27,73777	36,3143	23,67	26,94969256	1,8991E-13	1,6583E-12	1,32939E-12
2		2	26,67	10,6	7	27,73777	36,3143	24,67	27,83210249	1,379E-13	1,46431E-12	9,65305E-13
2		2	27,67	13,2	7	27,73777	36,3143	25,67	28,72222013	1,0112E-13	1,33525E-12	7,07809E-13
2		2	28,67	17,5	7	27,73777	36,3143	26,67	29,61935058	7,4832E-14	1,31008E-12	5,23822E-13
2		2	29,67	21,6	7	27,73777	36,3143	27,67	30,5228755	0	0	0

UnB  
UFG  
Universidade Federal de Goiás  
Departamento de Engenharia Civil

Num. Furos = 14  
Num. Amostras = 225  
Max N = 98,85  
Min N = 1,17  
Média N = 27,23  
Des Pad N = 25,70  
Dist. Máx = 69,87  
Dist. Mín = 19,03  
Dist. Méd = 42,39  
Dist. DP = 14,50

Listagem das sondagens ; Configurações da Interpolação; Otimização IDW; Valores de Corte N, etc

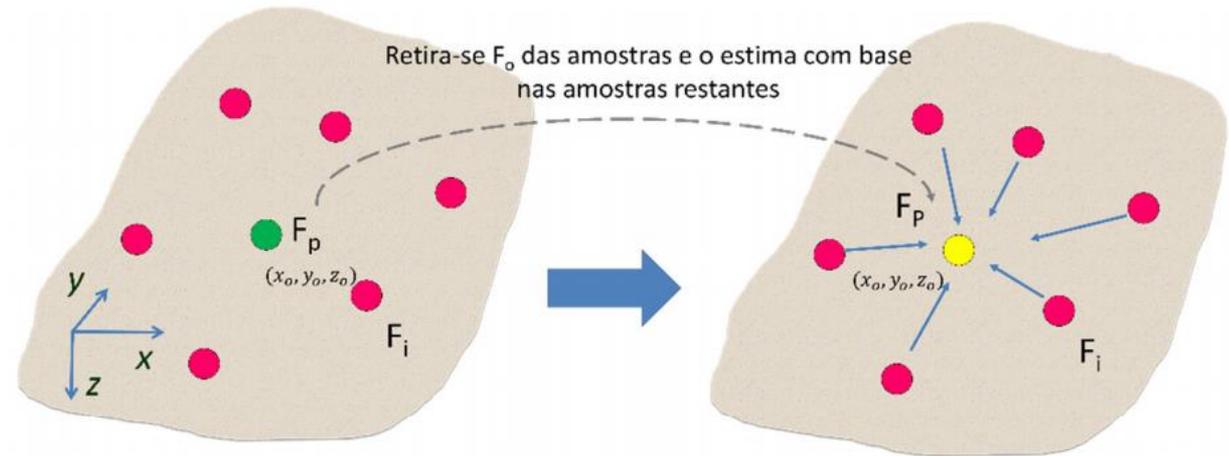
# Proposta de Otimização dos coeficientes do método IDW via validação cruzada

Efeito Profundidade:

Minimização dos erros da validação cruzada

$$\zeta_{io} = \frac{1}{d_{io}^e} \cdot \frac{1}{(1 + \Delta_{z_{io}})^{e_z}}$$

$$W_{io} = \frac{\zeta_{io}}{\sum_i^n \zeta_{io}}$$



- $F_o$  = Furo de sondagem original a ser validado
- $F_p$  = Furo de sondagem retirado do local e estimado

Cálculo do erro de estimação de  $F_o$  para cada  $\{e, e_z\}$

$$\varepsilon_P = \sum (N_{FP} - N_{FR})^2$$

\* Lógica Matemática:

*Minimizar*  $\rightarrow \varepsilon_P$  para  $\{e, e_z\}$

# Proposta de Otimização dos coeficientes do método IDW via validação cruzada

## Otimização dos Coeficientes IDW – Busca Exaustiva

5000

SEÇÕES TRANSVERSAIS DAS ESTACAS E COMPRIMENTOS

DADOS DA SONDAGEM

MÉTODOS DE PREVISÃO DE CAPACIDADE DE CARGA

VARIOGRAMA

UFG UnB

Universidade Federal de Goiás  
Departamento de Engenharia Civil

GEOSTRUT 1.0  
Grupo de Pesquisa GeoStrut  
Coordenação: Prof. John Eloi

NAVEGAR

SMA (1978)

Coord Y: 1,885 m

Sondagem: 8

Coord Y: 4,62 Data: 17/10/2012

D & Q (1978)

Fz: 1.3 Fz: 4

Rf(Pa) Pp(Pa) Rf(Pa) Rad(m)

77.5	318.7	394.2	13.9f
150.8	294.1	444.8	19.0f
224.1	294.1	518.2	24.6f
305.8	339.3	645.1	32.0f
393.7	373.2	767.0	39.6f
490.1	418.5	908.5	48.2f
530.6	441.1	1031.7	56.5f
684.9	407.2	1032.0	62.3f
766.5	339.3	1105.8	67.4f
879.6	508.9	1388.6	80.4f
982.3	452.4	1434.7	86.9f
1007.0	463.7	1550.7	95.2f
1187.5	441.1	1628.6	102.4f
1298.5	497.6	1796.2	112.3f
1451.4	723.8	2175.2	129.7f
1608.5	746.4	2354.9	142.4f
1859.8	1255.4	3115.2	155.5f

DADOS PARA INTERPOLAÇÃO DAS SONDAGENS

MÉTODO IDW - INVERSO PONDERADO DA DISTÂNCIA

Coef. Dist: 5 4,25

Coef. Z: 6,5 6,25

OTIMIZAR COEFICIENTES

Substituir N por Padm

Ponto Interpolado

Coef. Dist	Xp	Yp	Zp	NP	Solo i
5	7,960	39,950	218,800	22,000	2,000

Furos	Legenda	Furo	Cota (Z)	N	Cod. Solo	Xr	Yr	Dist. Z	Dist. Tot.	W. Dist	W. Ni	W. Si
1	FS-01	1	199,8	6,0	1	7,96	39,95	19	1,411E-15	8,466E-15	1,411E-15	1,411E-15
2	FS-02	1	200,8	6,0	1	7,96	39,95	18	1,411E-15	1,546E-14	2,581E-15	2,581E-15
3	FS-03	1	201,8	6,0	1	7,96	39,95	17	1,411E-15	3,417E-14	4,881E-15	4,881E-15
4	FS-04	1	202,8	6,0	1	7,96	39,95	16	1,411E-15	5,583E-14	7,583E-15	7,583E-15
5	FS-05	1	203,8	7,0	1	7,96	39,95	15	1,962E-14	1,374E-13	1,962E-14	1,962E-14
6	FS-06	1	204,8	8,0	2	7,96	39,95	14	2,352E-14	3,232E-13	2,352E-14	2,352E-14
7	FS-07	1	205,8	8,0	2	7,96	39,95	13	2,742E-14	5,090E-13	2,742E-14	2,742E-14
8	FS-08	1	206,8	9,0	2	7,96	39,95	12	3,132E-14	6,948E-13	3,132E-14	3,132E-14
9		1	207,8	9,0	2	7,96	39,95	11	3,522E-14	8,806E-13	3,522E-14	3,522E-14
10		1	208,8	10,0	2	7,96	39,95	10	3,912E-14	1,066E-12	3,912E-14	3,912E-14
11		1	209,8	10,0	2	7,96	39,95	9	4,302E-14	1,246E-12	4,302E-14	4,302E-14
12		1	210,8	11,0	2	7,96	39,95	8	4,692E-14	1,426E-12	4,692E-14	4,692E-14
13		1	211,8	11,0	2	7,96	39,95	7	5,082E-14	1,606E-12	5,082E-14	5,082E-14
14		1	212,8	11,0	2	7,96	39,95	6	5,472E-14	1,786E-12	5,472E-14	5,472E-14
15		1	213,8	12,0	2	7,96	39,95	5	5,862E-14	1,966E-12	5,862E-14	5,862E-14
16		1	214,8	12,0	2	7,96	39,95	4	6,252E-14	2,146E-12	6,252E-14	6,252E-14
17		1	215,8	12,0	2	7,96	39,95	3	6,642E-14	2,326E-12	6,642E-14	6,642E-14
18		1	216,8	14,0	2	7,96	39,95	2	7,032E-14	2,506E-12	7,032E-14	7,032E-14
19		1	217,8	14,0	2	7,96	39,95	1	7,422E-14	2,686E-12	7,422E-14	7,422E-14
20		1	218,8	22,0	2	7,96	39,95	0	7,812E-14	2,866E-12	7,812E-14	7,812E-14
21		2	200,8	9,0	1	13,11	23,49	19,1	25,79449	2,937E-16	1,798E-15	2,937E-16
22		2	201,8	7,0	1	13,11	23,49	18,1	25,00128	4,825E-16	3,377E-15	4,825E-16
23		2	202,8	9,0	1	13,11	23,49	17,1	24,28712	7,911E-16	7,121E-15	7,911E-16
24		3	202,7	6,0	1	13,11	23,49	16,1	23,59373	1,323E-15	7,938E-15	1,323E-15
25		3	203,7	6,0	1	13,11	23,49	15,1	22,923	2,261E-15	1,357E-14	2,261E-15
26		3	204,7	8,0	1	13,11	23,49	14,1	22,27699	3,957E-15	3,166E-14	3,957E-15
27		3	205,7	9,0	2	13,11	23,49	13,1	21,65789	7,112E-15	6,401E-14	7,112E-15
28		3	206,7	10,0	2	13,11	23,49	12,1	21,06808	1,317E-14	1,317E-13	1,317E-14
29		3	207,7	8,0	2	13,11	23,49	11,1	20,5101	2,524E-14	2,019E-13	2,524E-14
30		3	208,7	12,0	2	13,11	23,49	10,1	19,9866	5,032E-14	6,039E-13	5,032E-14
31		3	209,7	11,0	2	13,11	23,49	9,1	19,50036	1,051E-13	1,155E-12	1,051E-13
32		3	210,7	19,0	2	13,11	23,49	8,1	19,05454	2,224E-13	2,427E-12	1,905E-13

OTIMIZAR COEFICIENTES IDW

Coeficiente da Distância Total - CD

Valor Inicial: Valor Final: Incremento: CD Ótimo:

1 7 1 ---

Coeficiente da Distância Z - CZ

Valor Inicial: Valor Final: Incremento: CZ Ótimo:

1 7 1 ---

Erro Mínimo Encontrado: --- Erro Mínimo: ---

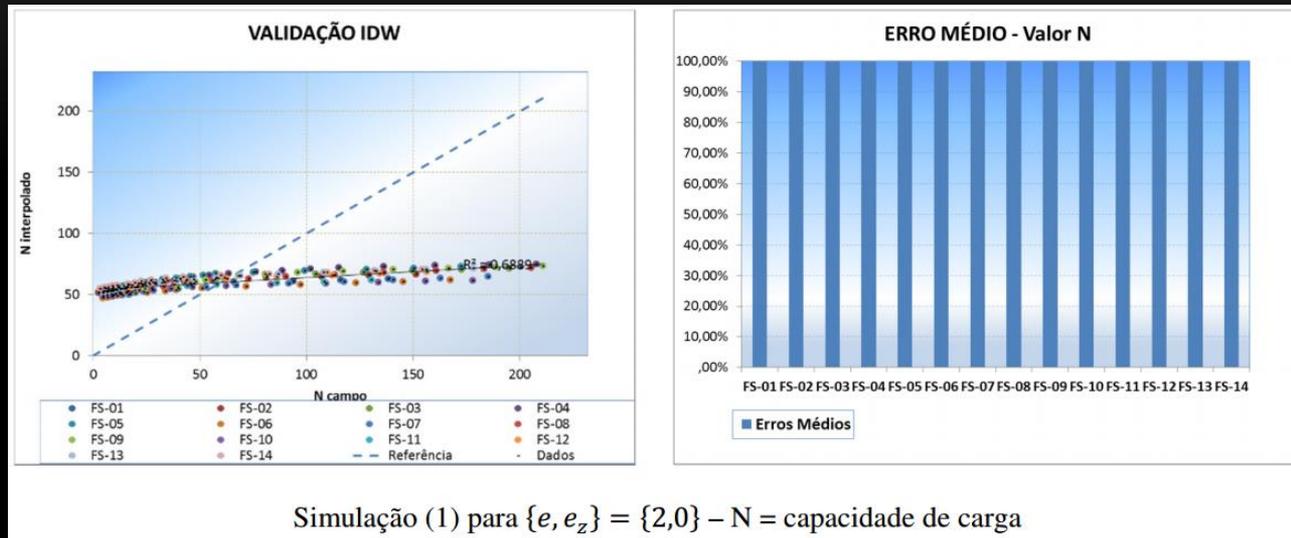
Coeficientes Atuais: ---

OTIMIZAR COEF. - IDW Ocultar

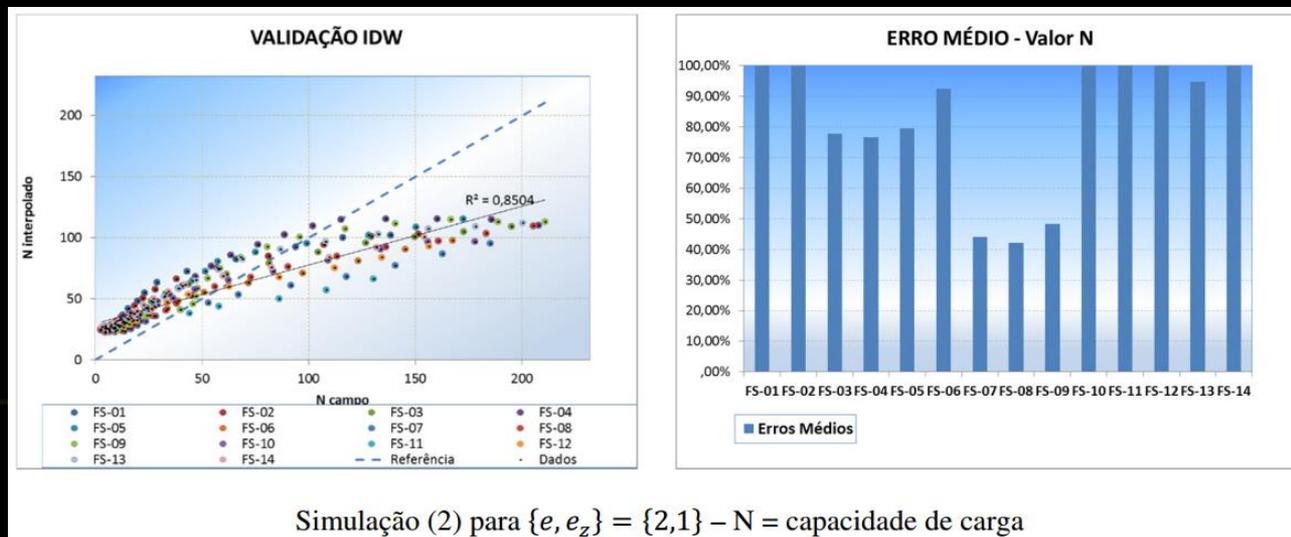
INICIO Corte XX Corte XX\_Solo Corte YY Corte YY\_Solo Semivariograma Semivariograma\_3D Graficos Auxiliar

# Proposta de Otimização dos coeficientes do método IDW via validação cruzada

## Otimização dos Coeficientes IDW para a Obra em Estudo – CREA -

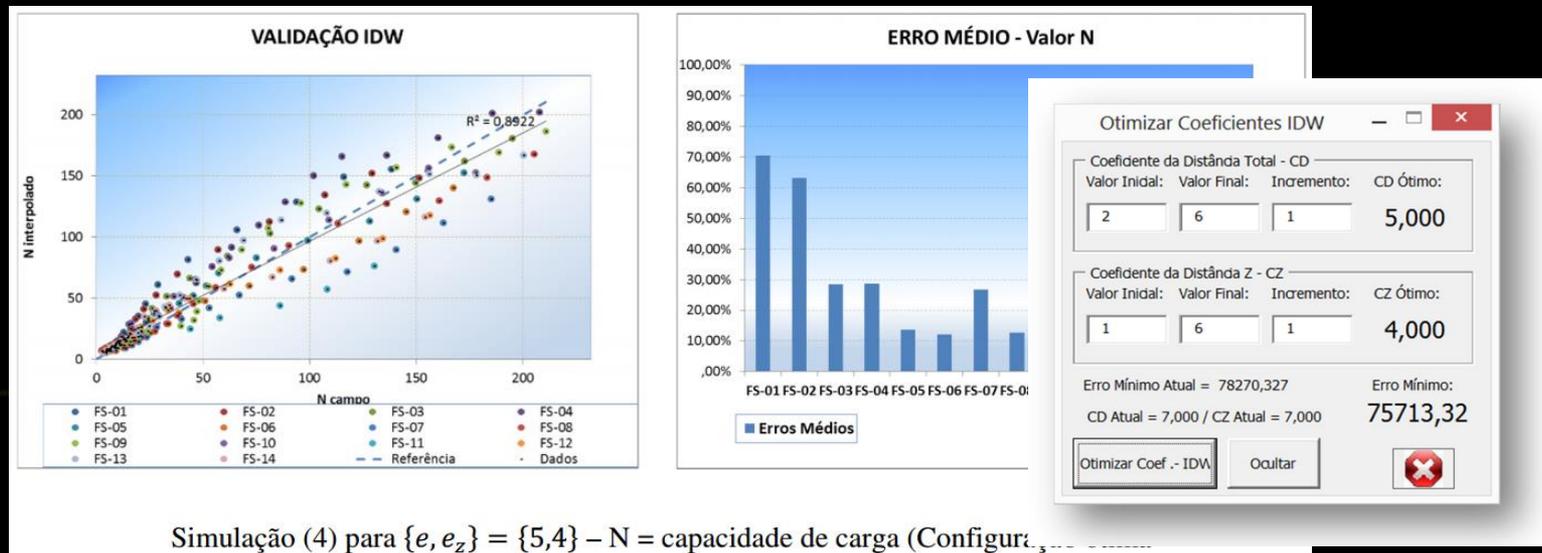
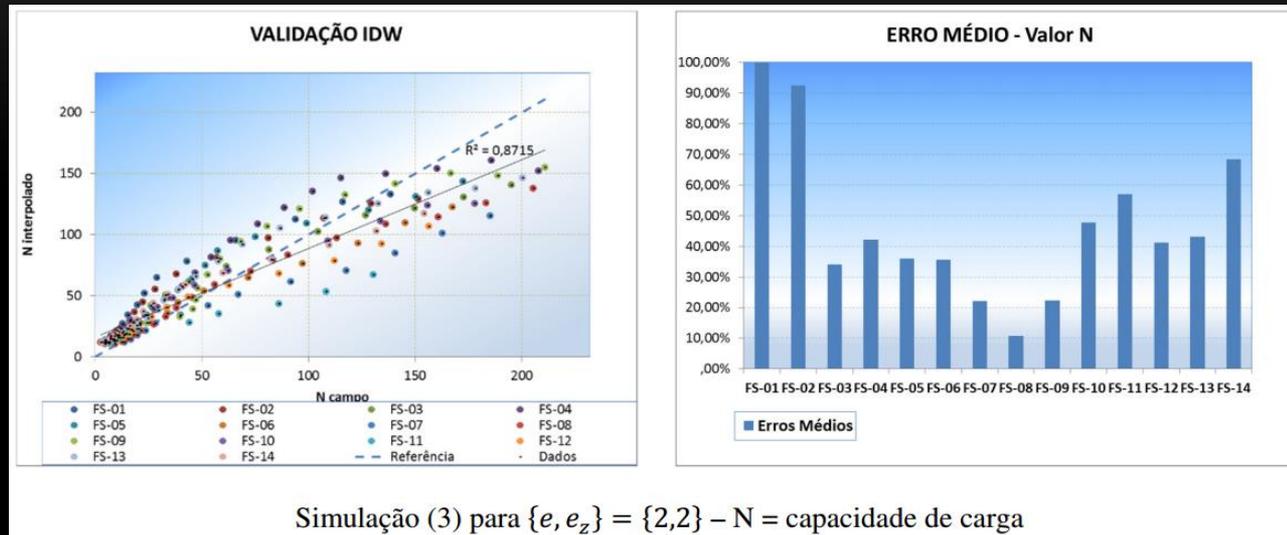


N = Capacidade de carga

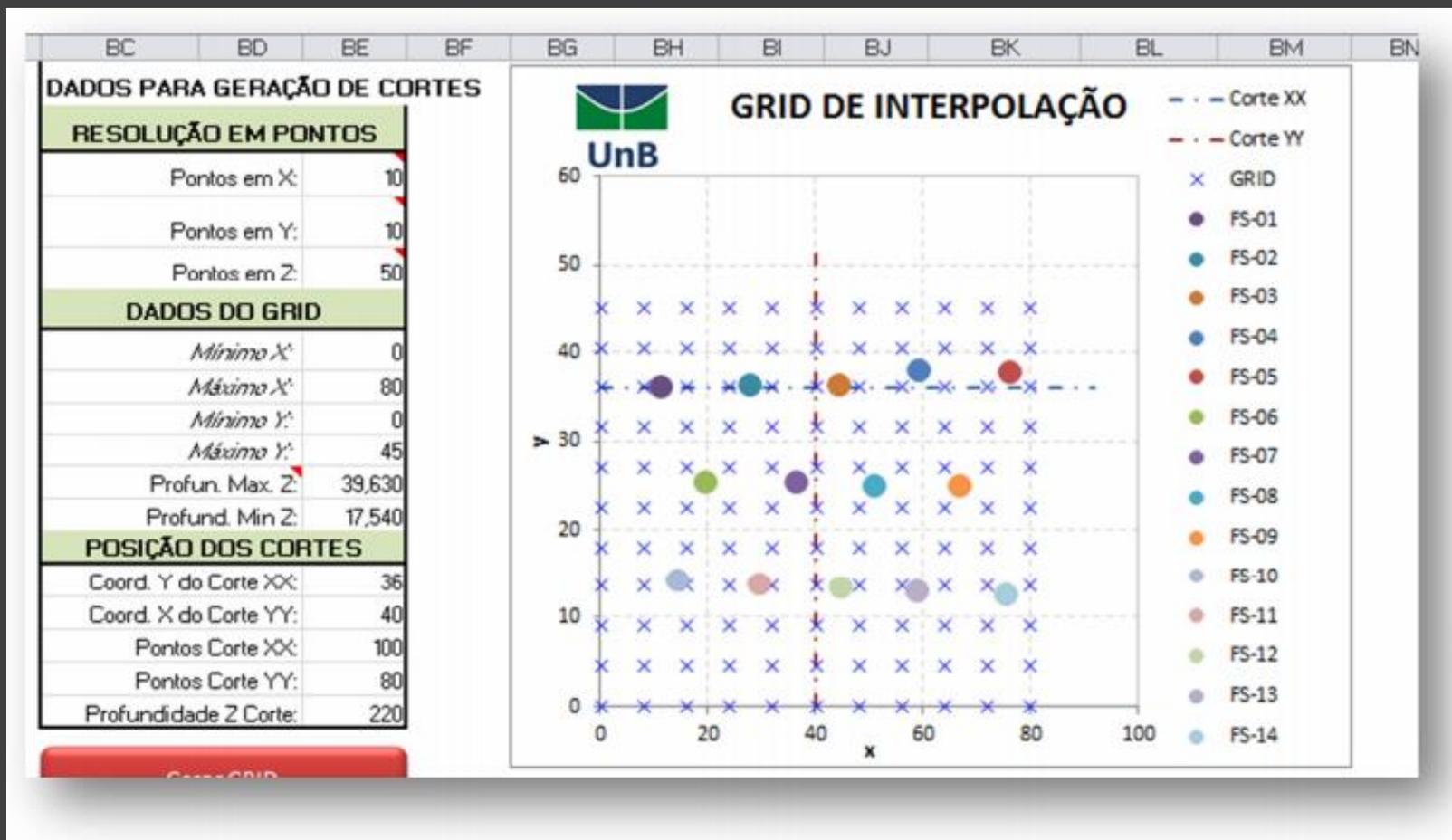


# Proposta de Otimização dos coeficientes do método IDW via validação cruzada

## Otimização dos Coeficientes IDW para a Obra em Estudo - CREA

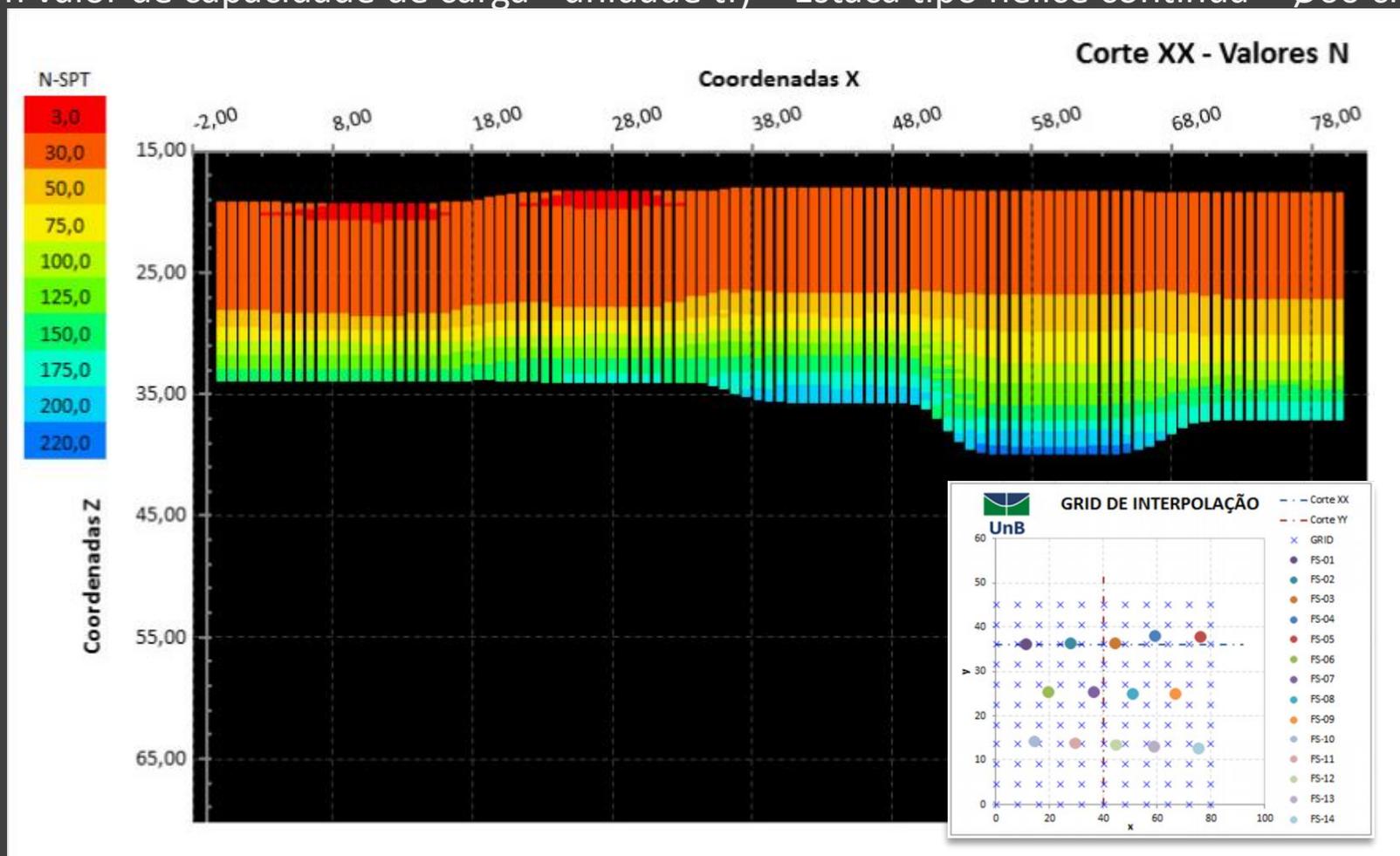


# Representação da Interpolação



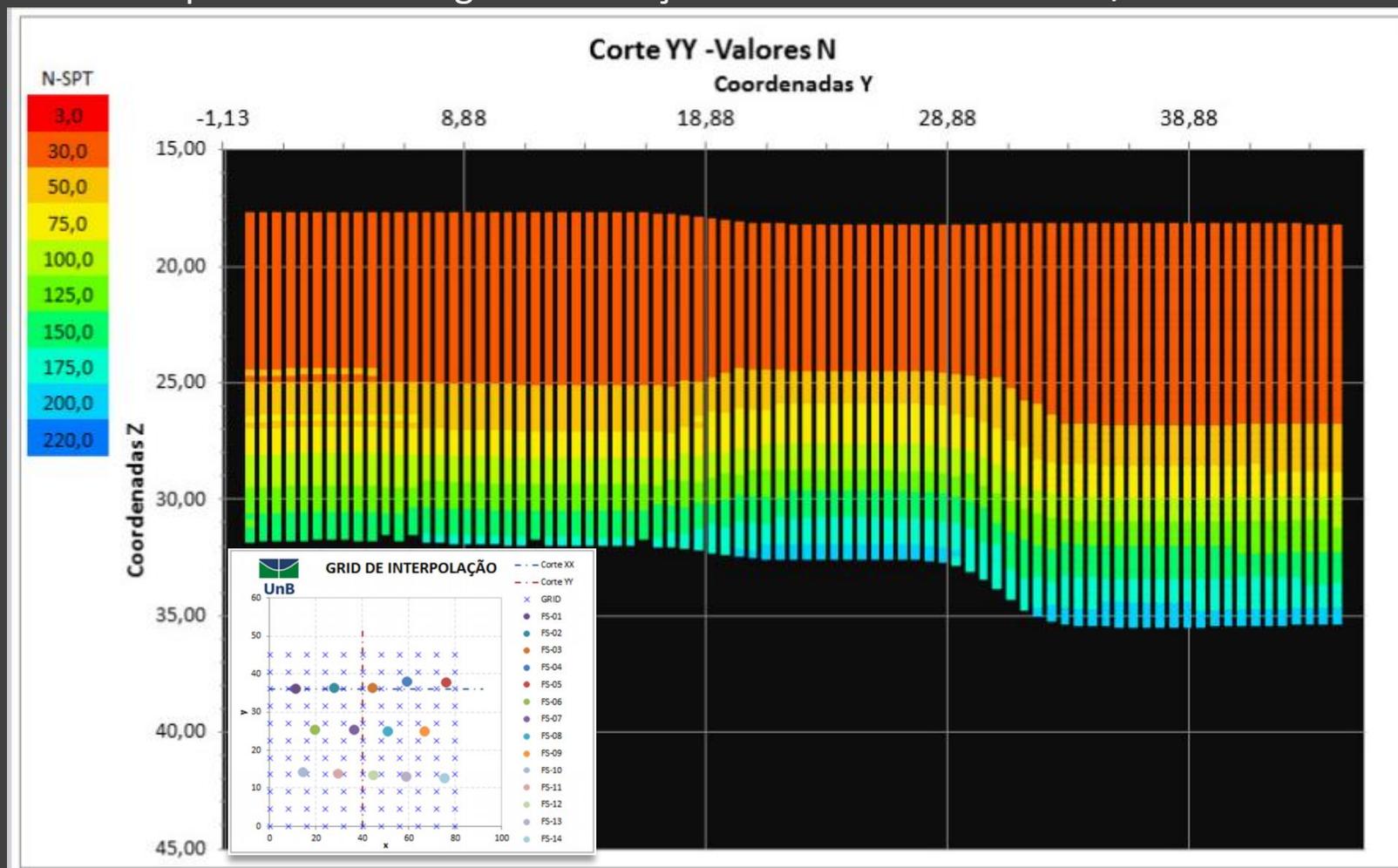
# Representação da Interpolação

Tela de visualização Corte XX (coord.  $y = 36$  m) – Valores N-SPT (transformados em valor de capacidade de carga - unidade tf) – Estaca tipo hélice contínua –  $\varnothing 60$  cm



# Representação da Interpolação

Tela de visualização do corte YY (coord. x = 40 m) para valores de N-SPT = capacidade de carga de fundações em hélice contínua –  $\varnothing 60$  cm



# Representação da Interpolação

Valores N-spt (índice de penetração)

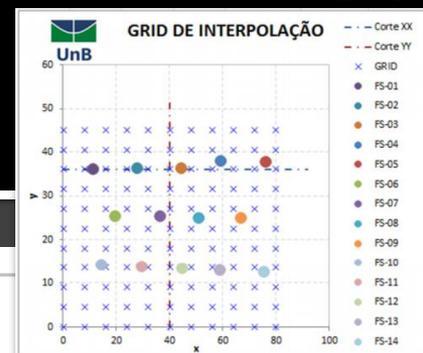
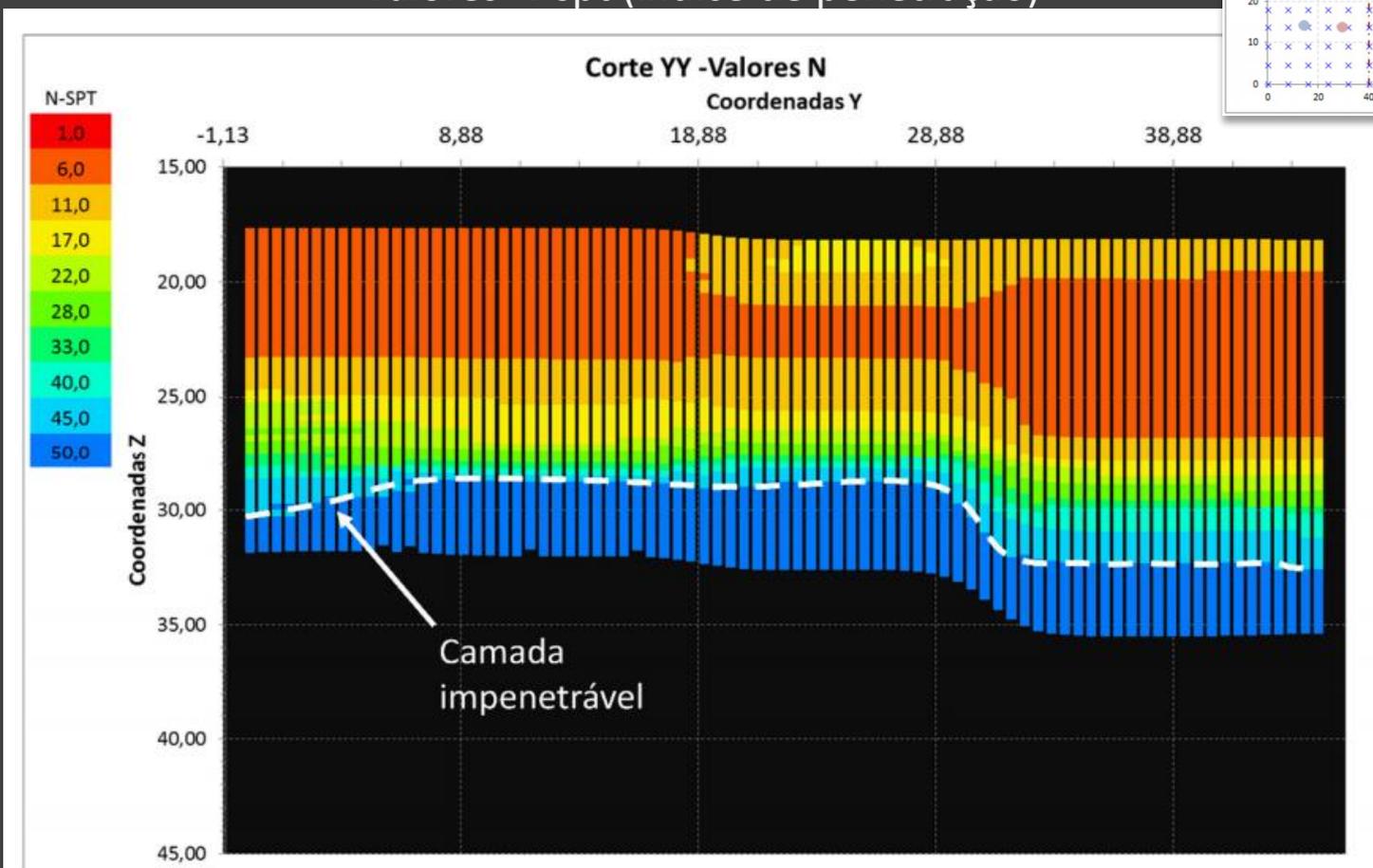
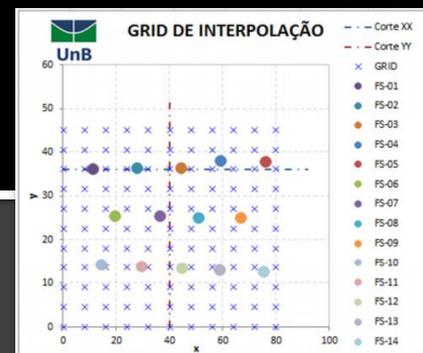
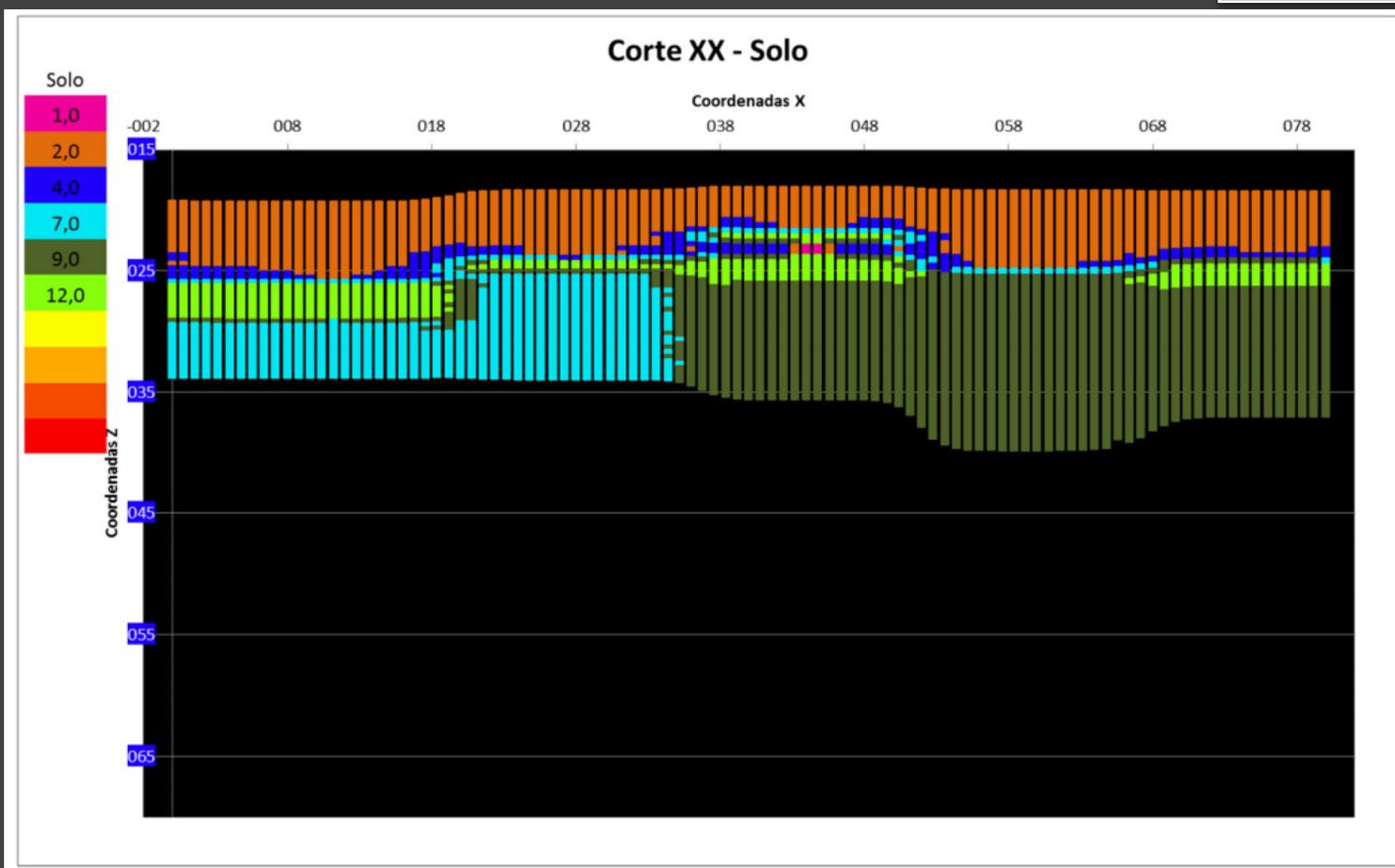


Figura 4.23. Valores estimados para  $N_{spt}$  – índice de penetração, representados no corte YY com  $x = 40$  m, com coeficientes ajustados para  $\{e, e_z\} = \{5; 3\}$ .

# Representação da Interpolação

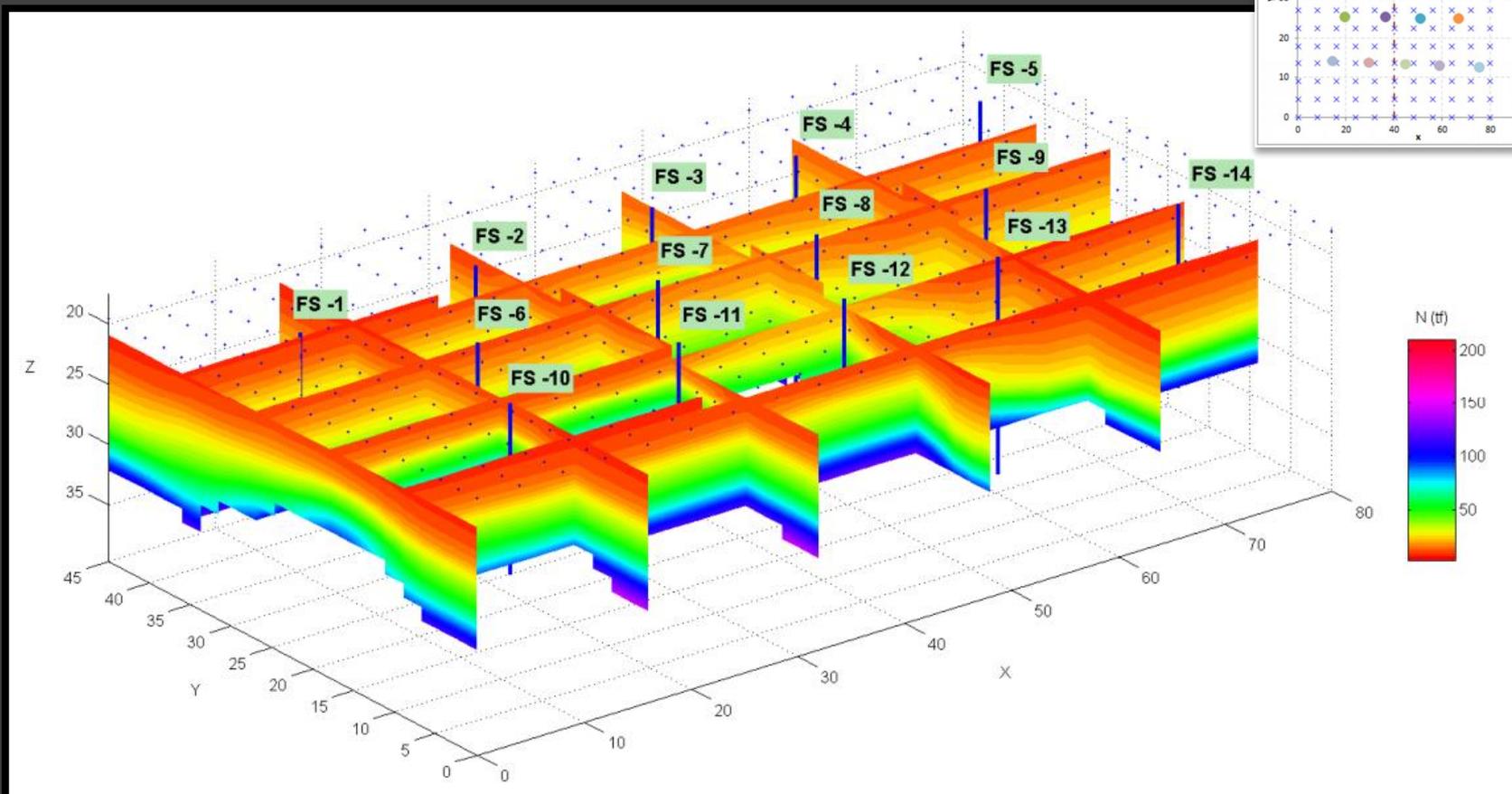


Codificação do solo – Perfil geológico interpolado



# Representação da Interpolação

Rotina gráfica em Matlab – Gráfico Fence – Capacidade de carga



Visualização dos valores  $N$  (capacidade de carga em tf) interpolados espacialmente sobre um grid 3D – Obra CREA/PR + locação furos de sondagem.

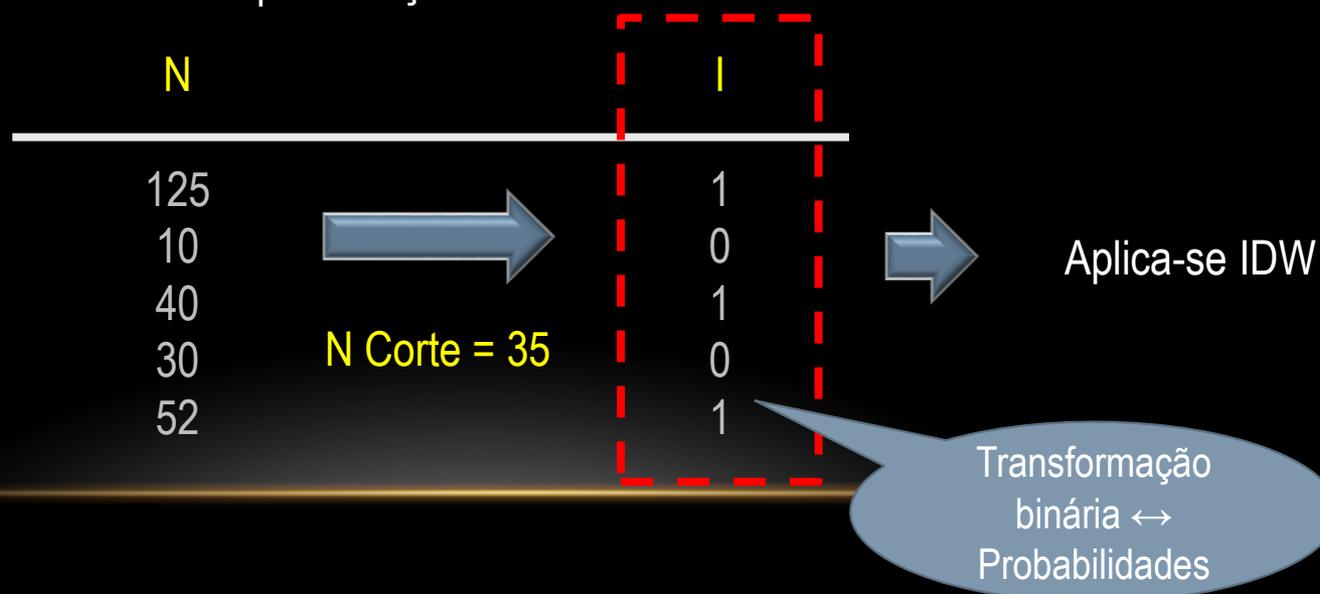
# Proposta de uso do IDW modificado para tratamento das incertezas das estimativas.

$$I_N(\mathbf{x}) = \begin{cases} 1 & \text{se } N(\mathbf{x}) \geq N_c \text{ } \therefore \text{ indica probabilidade de sucesso} \\ 0 & \text{se } N(\mathbf{x}) < N_c \text{ } \therefore \text{ indica probabilidade de fracasso} \end{cases}$$



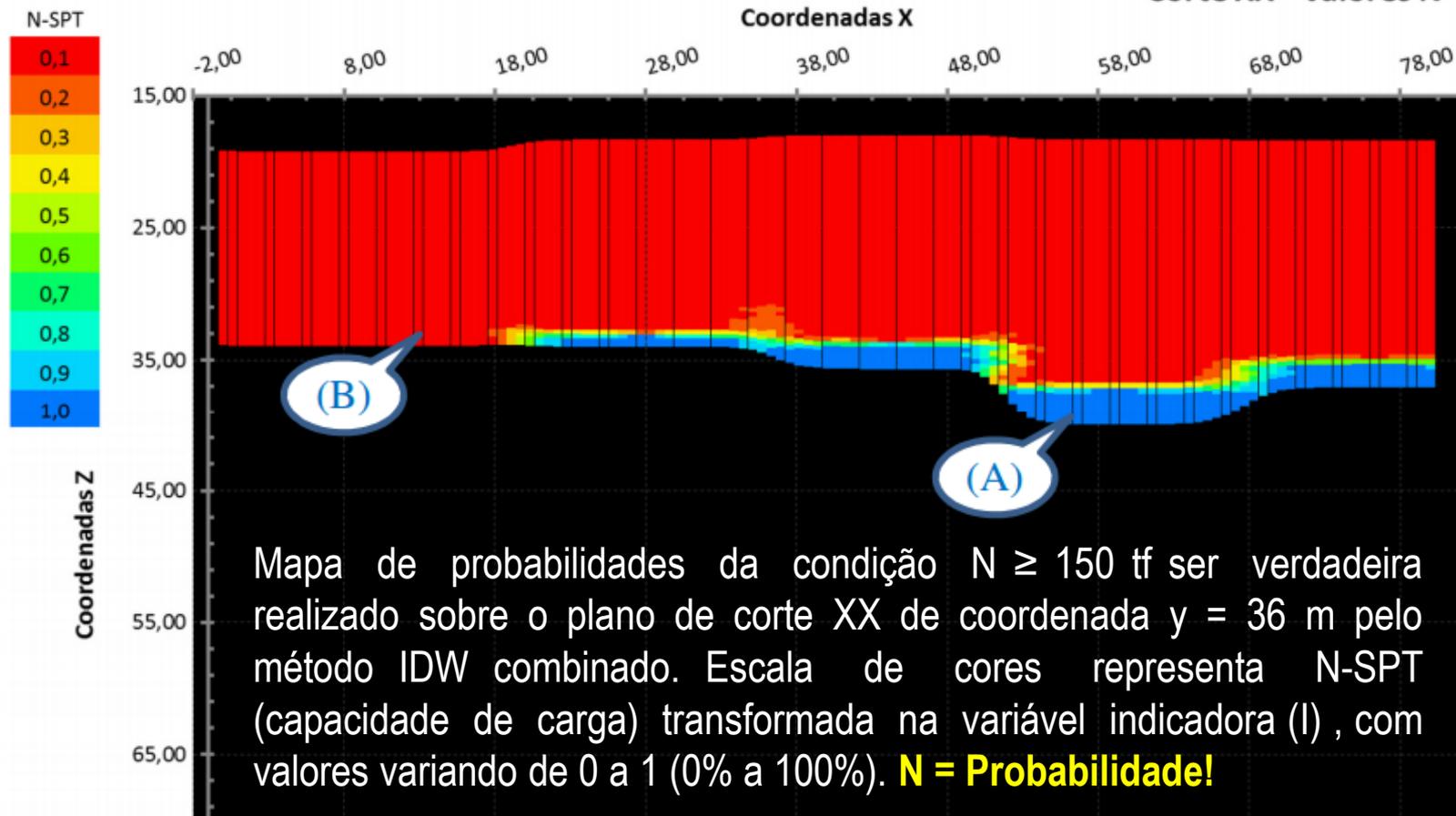
$$I_N(x_o) = \sum_{i=1..n} I_N(x_i) \cdot W_i$$

Permite aferir a probabilidade de um valor  $N$  ser superior a um outro valor de corte, usando a locação das amostras como fator de ponderação.



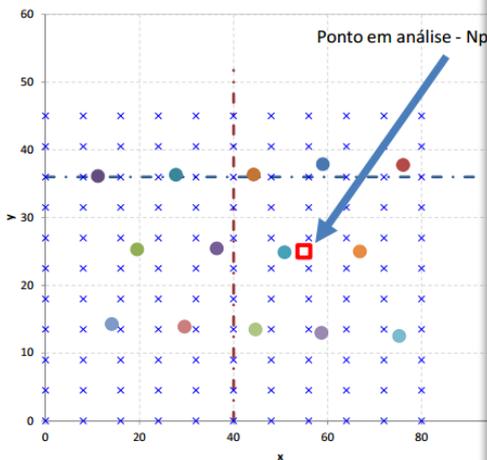
# Proposta de uso do IDW modificado para tratamento das incertezas das estimativas.

Corte XX - Valores N



# Proposta de para obtenção da função de distribuição de probabilidade experimental da capacidade de carga

GRID DE INTERPOLAÇÃO



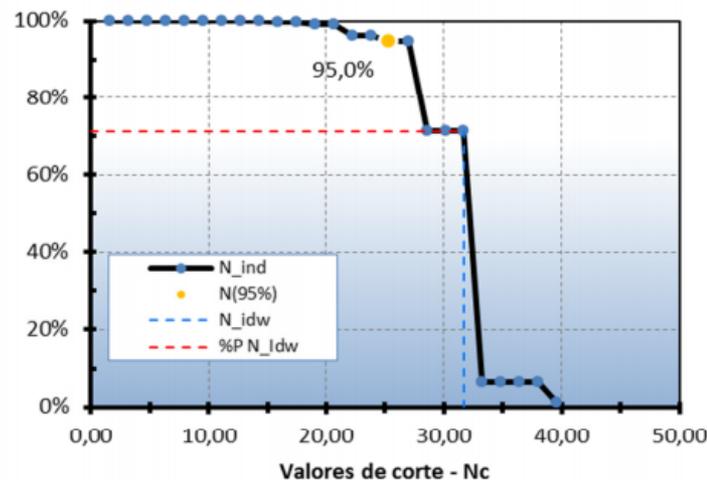
$N = 31,7 \text{ tf} \rightarrow I = 71,23\%$

Se  $I = 95\% \rightarrow N = 25,2 \text{ tf}$

TABELA DE PROBABILIDADES CALCULADAS

V. Corte (tf)	P(Nc_ind)	Valor Np Interpolado
1,6	100,00%	$N_p = 31,70 \text{ tf}$
3,2	100,00%	$\% N_p = 71,23\%$
4,8	100,00%	
6,3	100,00%	
7,9	100,00%	
9,5	99,99%	
11,1	99,98%	
12,7	99,98%	
14,3	99,94%	
15,9	99,82%	
17,4	99,80%	
19,0	99,19%	
20,6	99,07%	
22,2	96,38%	
23,8	96,30%	
25,4	94,84%	
26,9	94,67%	
28,5	71,28%	
30,1	71,23%	
<b>31,7</b>	<b>71,23%</b>	
33,3	6,61%	
34,9	6,58%	
36,5	6,58%	
38,0	6,58%	
39,6	1,19%	

Probailidades Acumulas de Nc via IDW-Indicatriz



## APLICAÇÃO DO MÉTODO IDW COM VARIÁVEIS INDICADORAS

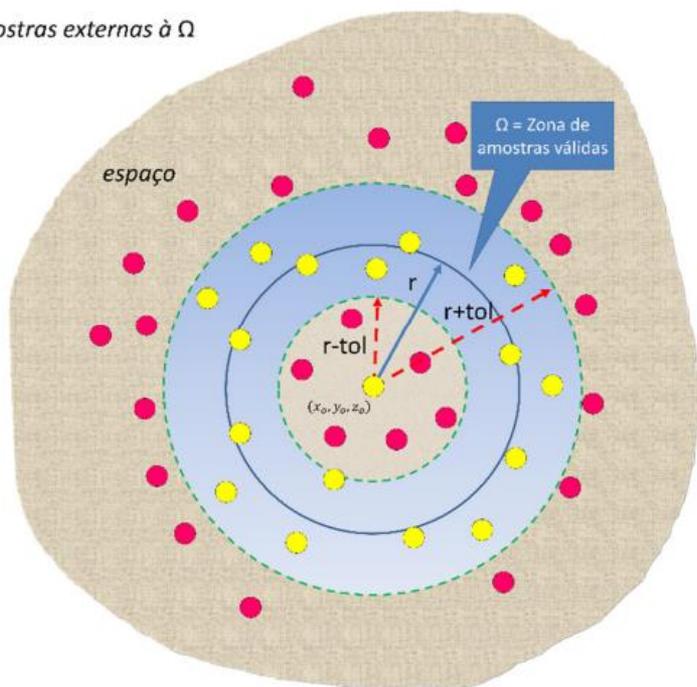
Localção =  $(x, y, z) = (55; 25; 25)$ .

Obra CREA/PR - Hélice -  $\varnothing 60$

# Análise Variográfica – Obra CREA

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

- Amostras internas à  $\Omega$
- Amostras externas à  $\Omega$



## Configurações da Interpolação:

(1) Gerar Números Inteiros?	SIM		
(2) Tolerância Variograma:	1		
(3) Num. Pontos Variograma:	10000	(6) Passo h:	1
(4) Valor Máx. h (Variograma):	25	(7) Raio Kr.:	25
(5) Valor Mín. h (Variograma):	0		



**VARIOGRAMA**

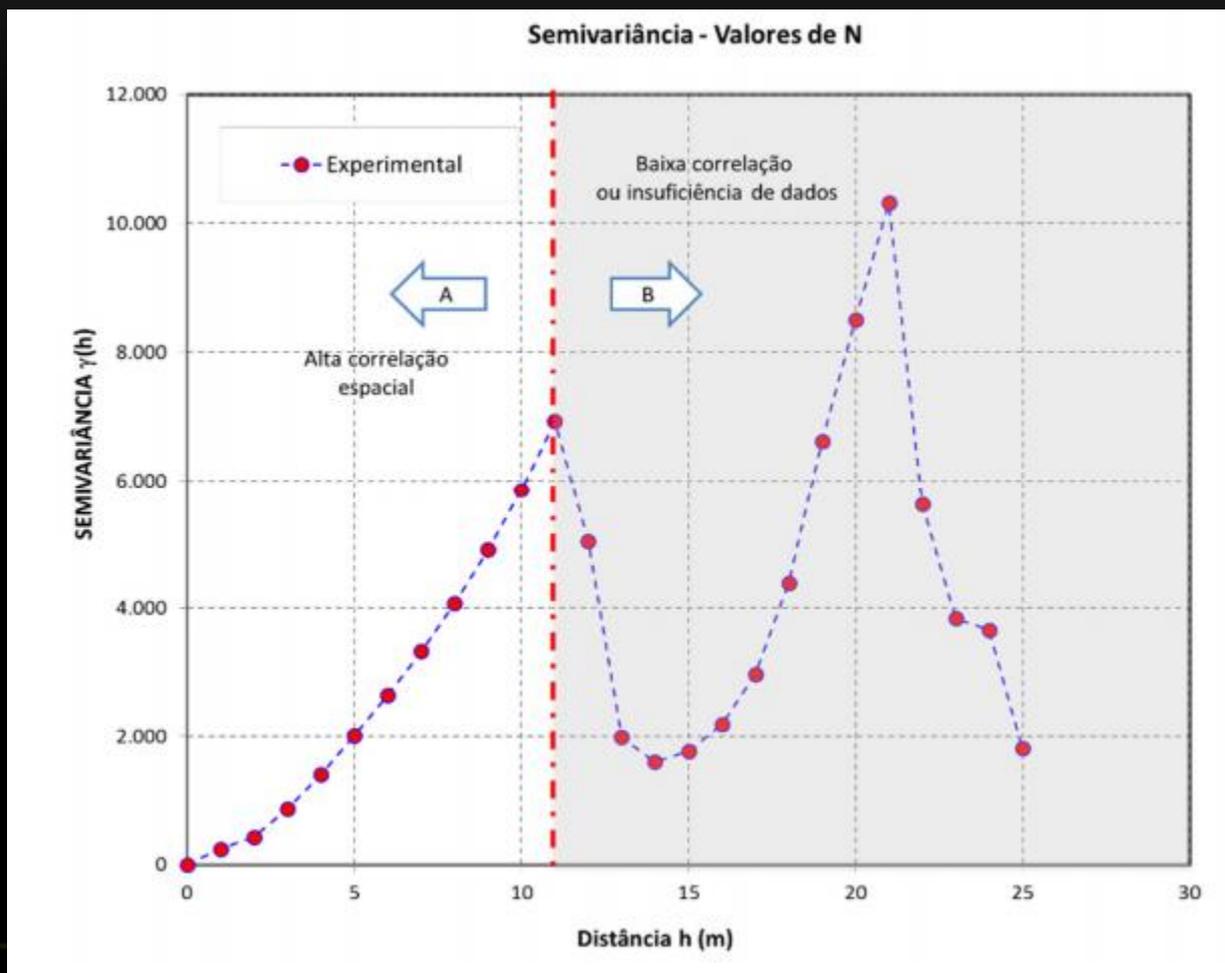
VER VARIOGRAMA

Ajuste SemiVariograma

VER DISPERSÃO IDW

VER ERROS IDW

# Análise Variográfica – Obra CREA



# Análise Variográfica – Obra CREA

Configurações da Interpolação:			
(1) Gerar Números Inteiros?	SIM		
(2) Tolerância Variograma:	1		
(3) Num. Pontos Variograma:	10000	(6) Passo h:	1
(4) Valor Máx. h (Variograma):	25	(7) Razo Kr.:	25
(5) Valor Min. h (Variograma):	0		

**VARIOGRAMA**

VER VARIOGRAMA    VER DISPERSÃO IDW  
VER ERROS IDW

Modelo de Ajuste Aninhado = Logaritmo

$$\gamma(h) = 0 \quad \dots \quad h = 0$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \log(h + 1) \quad \text{se } h > 0$$

Ajuste dos Coeficientes	
a [C <sub>0</sub> ]	0,000E+00
b [C <sub>1</sub> ]	3,575E+03
Σerro <sup>2</sup> :	1,109E+08
r <sup>2</sup> =	0,52258872

Modelo de Ajuste Exponencial

$$\gamma(h) = C_0 * [1 - e^{-\frac{3h}{a}}]$$

Ajuste dos Coeficientes	
C0 =	5,2E+03
C1 =	1,0E+01
a =	2,2E+01
b =	1,9E+01
Σerro <sup>2</sup> :	1,073E+08
r <sup>2</sup> =	0,367200379

Modelo de Ajuste Esférico

$$\gamma(h) = C * \left[ \frac{3}{2} * \left( \frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} * \left( \frac{h}{a} \right)^3 \right], \text{ quando } h \leq a$$

$$\gamma(h) = C, \text{ quando } h > a$$

Ajuste dos Coeficientes	
C =	4,510E+03
a =	1,194E+01
Σerro <sup>2</sup> :	1,058E+08
r <sup>2</sup> =	3,806E-01

Modelo de Ajuste Potência

$$\gamma(h) = C * h^\alpha$$

Ajuste dos coeficientes	
C =	1,134E+03
α =	4,867E-01
Σerro <sup>2</sup> :	1,124E+08
r <sup>2</sup> =	3,360E-01

Modelo de Ajuste Linear

$$\gamma(h) = a + b * h$$

Ajuste dos Coeficientes:	
a =	0
b =	258,2002861
Erro =	132875356,4

Resumo dos Modelos		Erro: Mínimo:	105822329,4
1	Logaritmo	110901064,8	<b>Melhor Modelo: Esférico</b>
2	Exponencial	107342593,1	
3	Esférico	105822329,4	
4	Potência	112354642,8	
5	Linear	132875356,4	

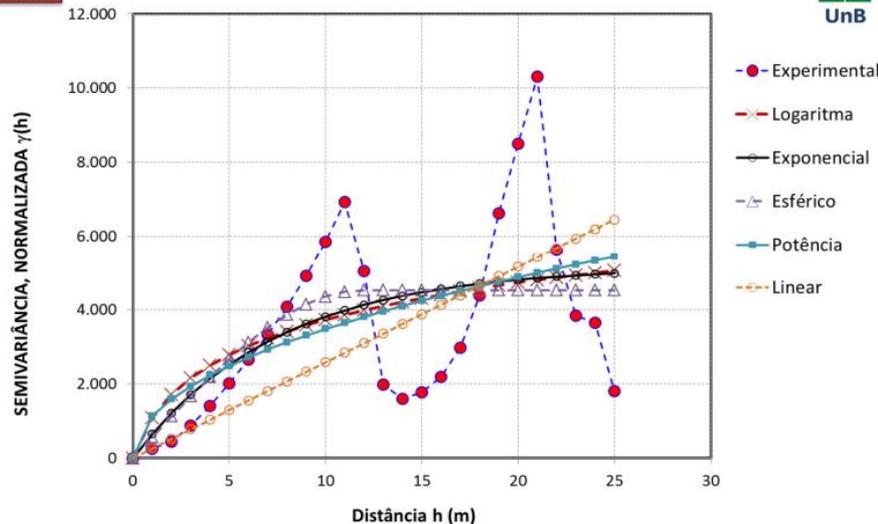
Modelo a ser adotado: **Esférico**  
Gerar Variogramas em Direções X,Y,Z: **NÃO**

VARIOGRAMA

VER GRÁFICO

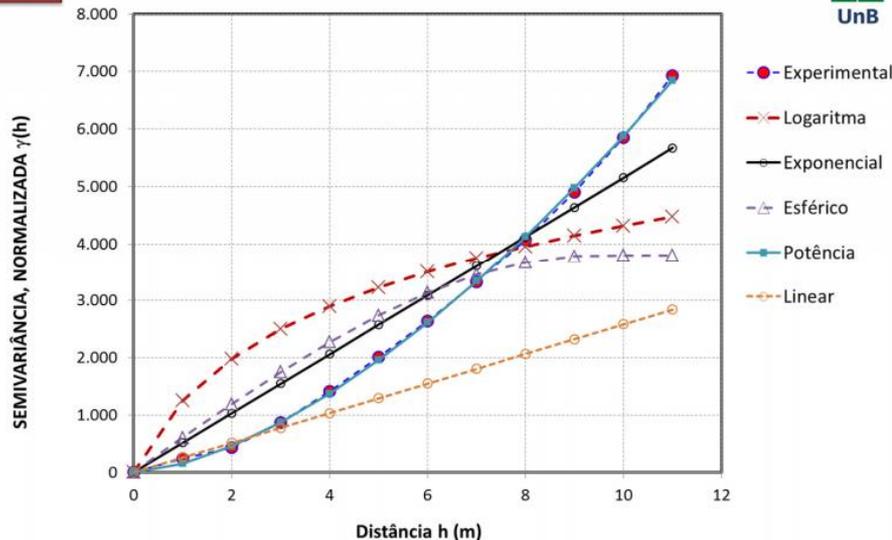
RETORNAR

Semivariância - Valores de N

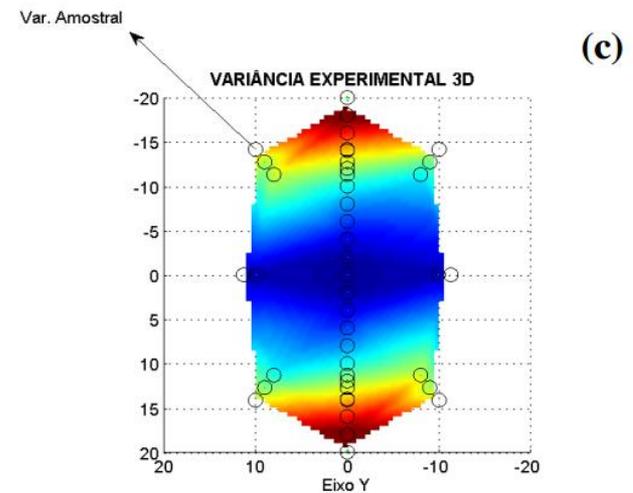
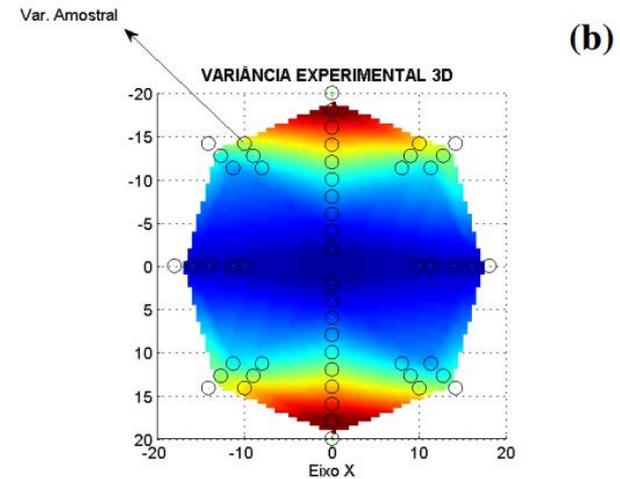
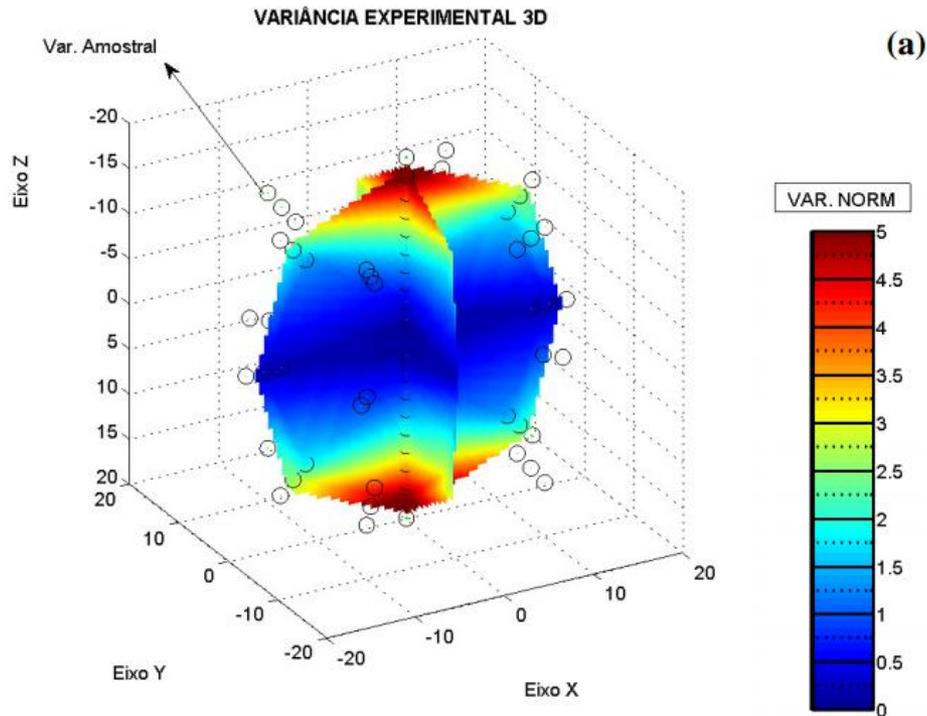


RETORNAR

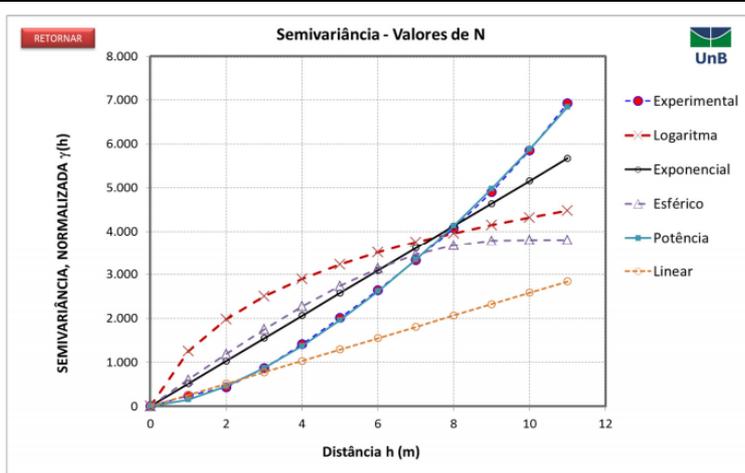
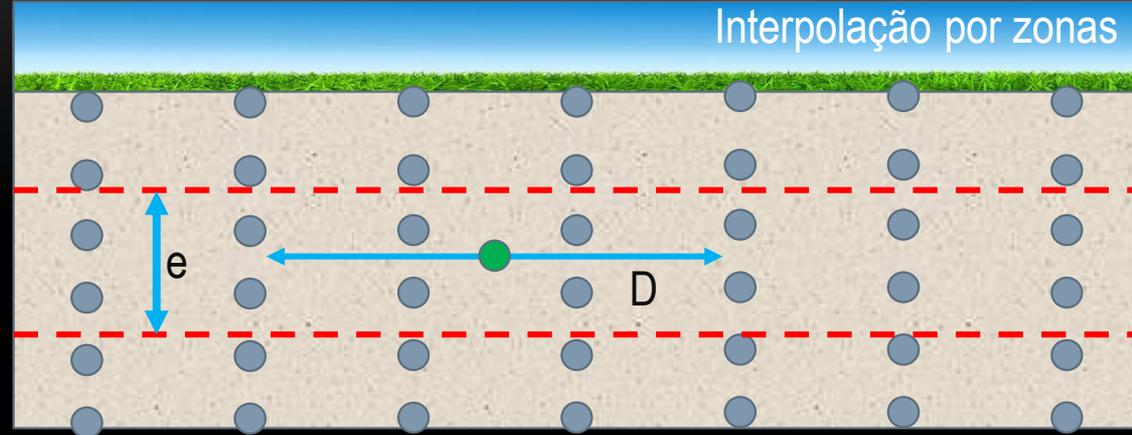
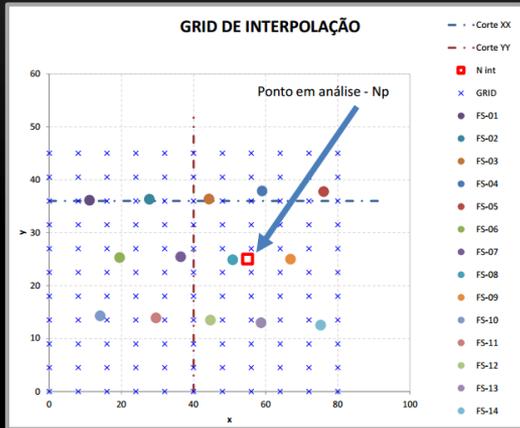
Semivariância - Valores de N



# Análise Variográfica 3D – Obra CREA



# Aplicação da KO, KU e KI

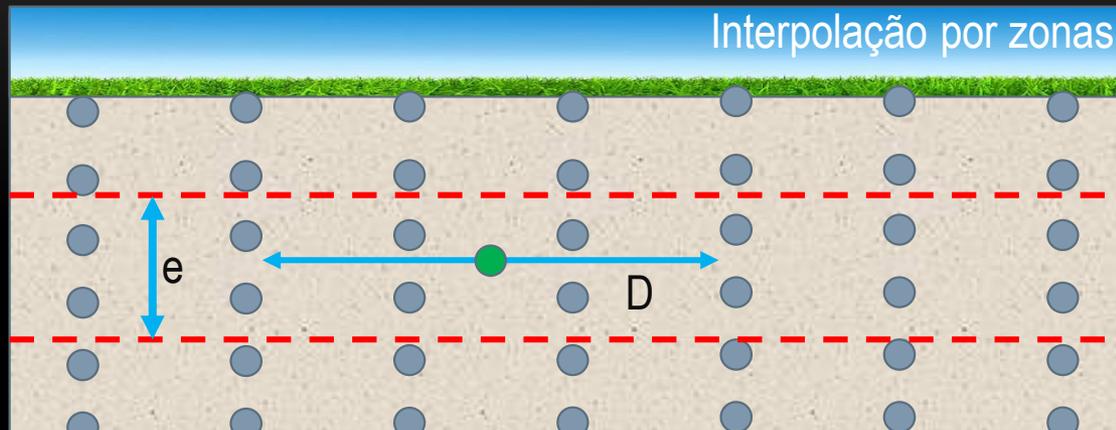
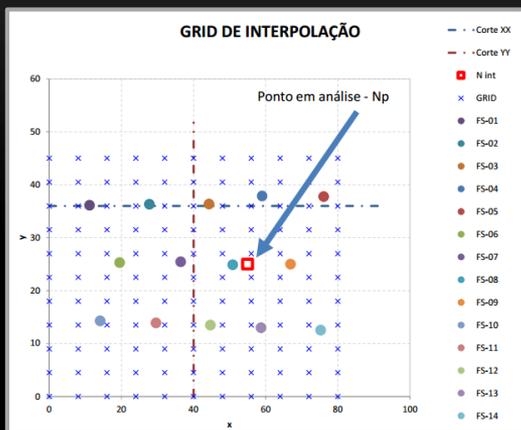


Resultado da KO – com  $D = 11$  m;  $e = 5$  m

$N_{ko} = 32,1$  tf ;  $\sigma = 5,5$  tf

Figura 4.33. Novo ajuste dos modelos teórico de variograma para um intervalo de busca limitado a 11 m ( $h \leq 11m$ ).

# Aplicação da KO, KU e KI



KU

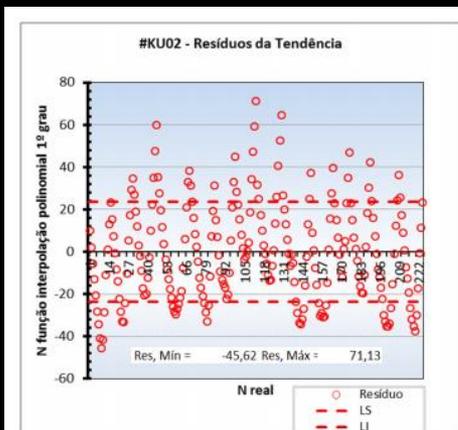
$$Z(x) = m(x) + R(x)$$

$$N(x, y, z) = a + bx + cy + dz.$$

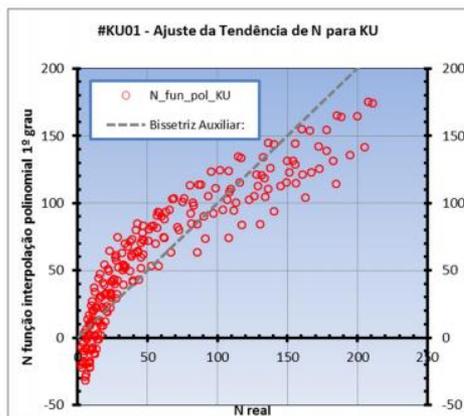
Resultado da KU – com  $D = 11 \text{ m}$ ;  $e = 5 \text{ m}$



$$N_{ku} = 28,7 \text{ tf}; \sigma = 1,6 \text{ tf}$$

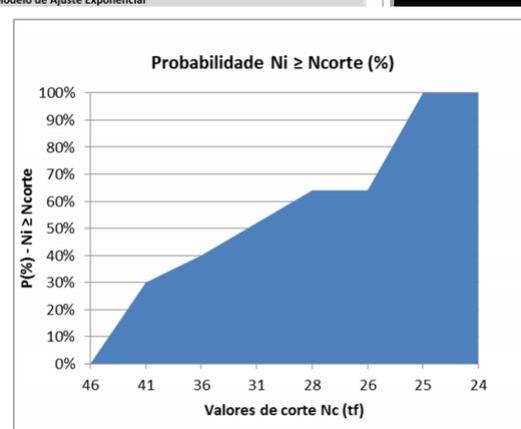
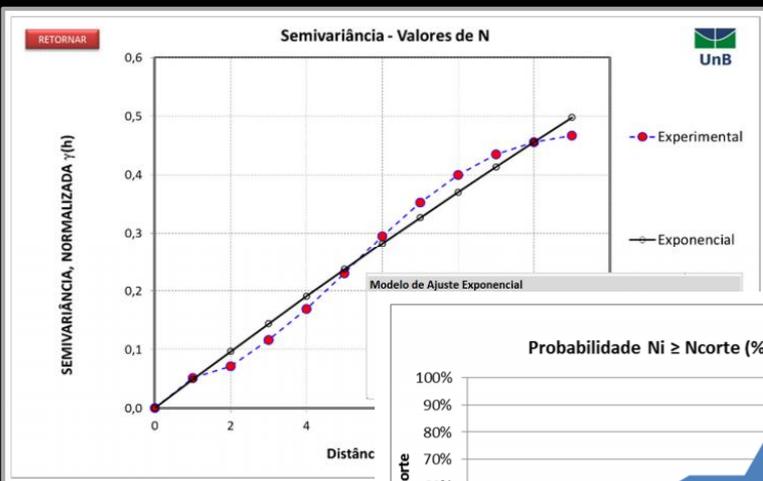
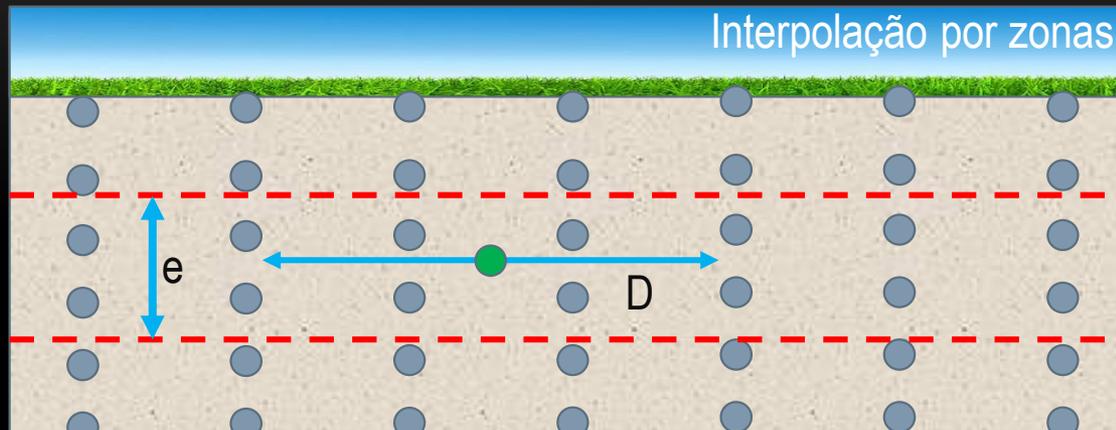
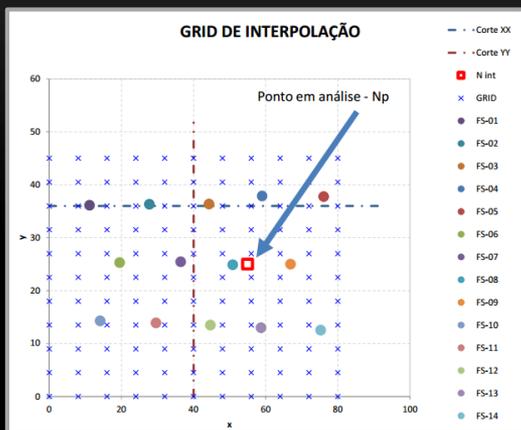


(a) Dispersão dos resíduos



(b)  $N_{real}$  vs  $N_{função}$

# Aplicação da KO, KU e KI



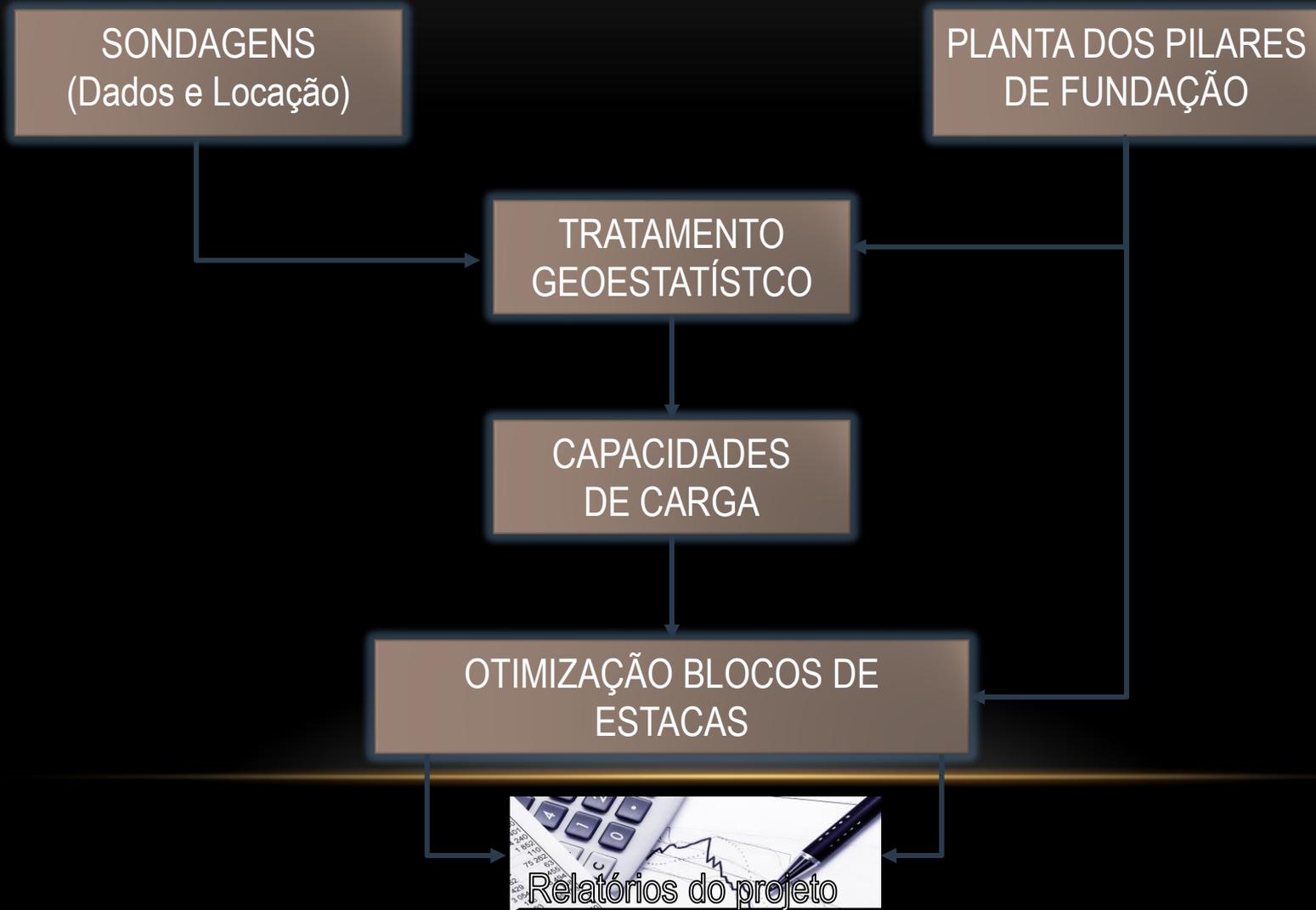
Resultado da KI – com  $D = 11$  m;  $e = 5$  m  
Valor de Corte =  $N = 31$  tf

**$I = 52\%$**

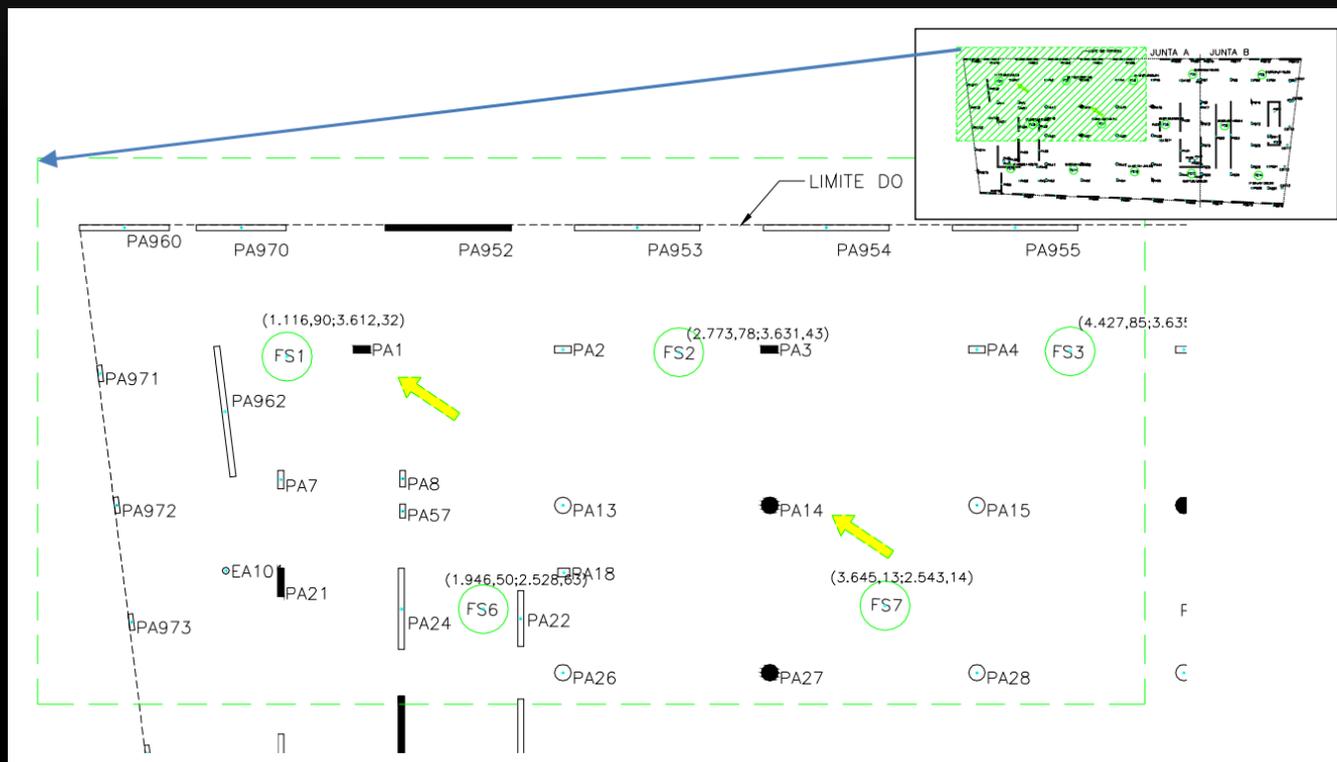
## RESUMO DA PREVISÕES

Variável	IDW	KO	KU	KI
$N = P_{adm}$	31,7 tf	32,1 tf	28,7	31 tf
$I$ (Confiabilidade)	71,2%	-	-	52%
$\sigma =$	-	5,5 tf	1,6	27%

# Metodologia de Otimização do Projeto de Fundação

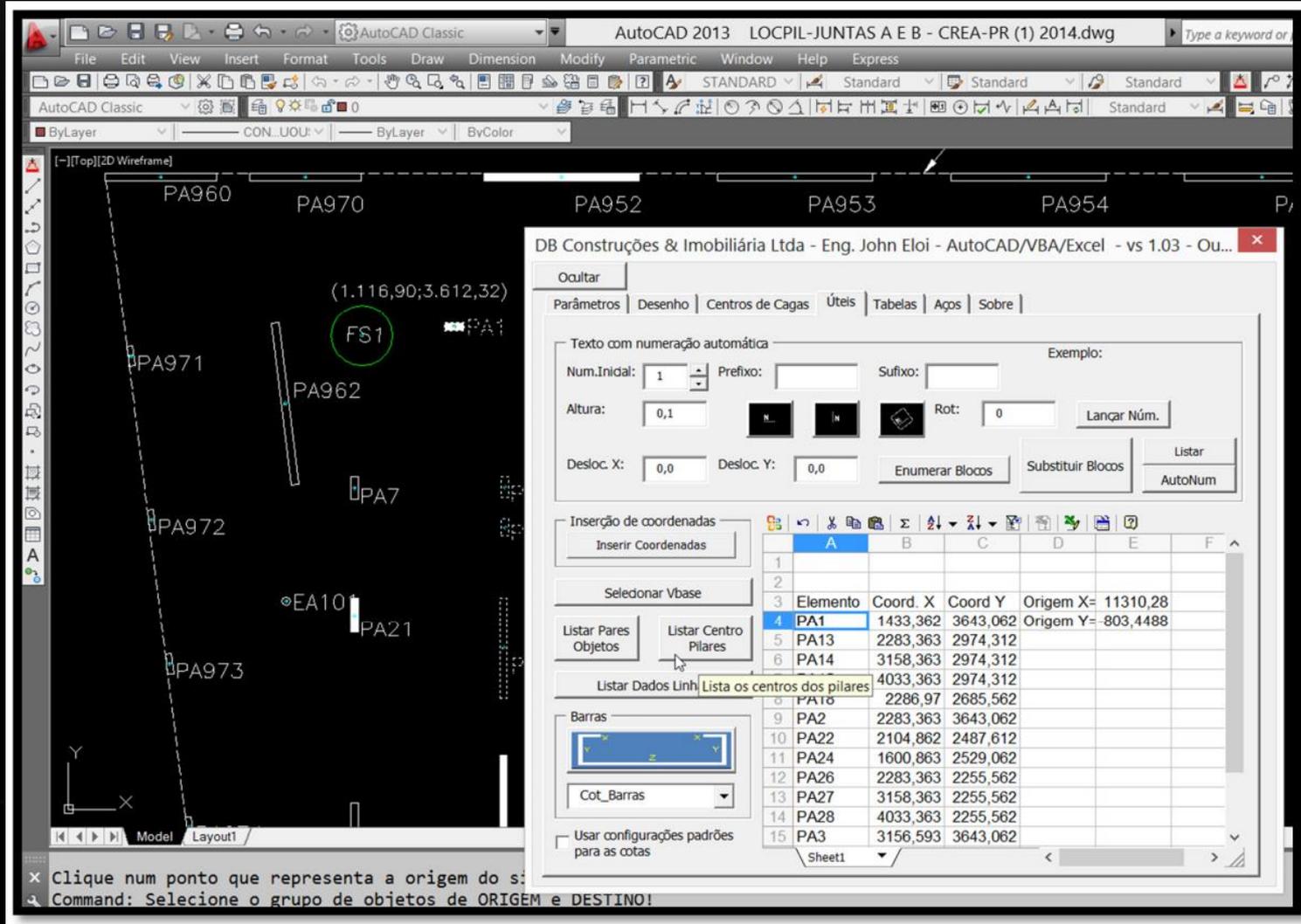


# Exemplo de otimização sobre a obra CREA



Pilares PA1 e PA14 utilizados para estimativas da capacidade de carga da fundação em estacada tipo hélice contínua, com base nas suas localizações espaciais e os dados de sondagem.

# Aplicativo VBA Autocad usado como ferramenta complementar para cálculo e lançamento de fundações



The screenshot displays the AutoCAD 2013 interface with a VBA application window titled "DB Construções & Imobiliária Ltda - Eng. John Eloi - AutoCAD/VBA/Excel - vs 1.03 - Ou...". The application window is divided into several sections:

- Texto com numeração automática:** Fields for "Num.Inicial" (1), "Prefixo", "Sufixo", "Altura" (0,1), "Desloc. X" (0,0), and "Desloc. Y" (0,0). A "Rot" field is set to 0. Buttons include "Lançar Núm.", "Enumerar Blocos", "Substituir Blocos", "Listar", and "AutoNum".
- Inserção de coordenadas:** A button labeled "Inserir Coordenadas".
- Selecionar Vbase:** A button labeled "Selecionar Vbase".
- Listar Pares Objetos:** A button labeled "Listar Pares Objetos".
- Listar Centro Pilares:** A button labeled "Listar Centro Pilares".
- Listar Dados Linh:** A button labeled "Listar Dados Linh".
- Lista os centros dos pilares:** A button labeled "Lista os centros dos pilares".
- Barras:** A section with a "Cot\_Barras" dropdown menu.
- Usar configurações padrões para as cotas:** A checkbox labeled "Usar configurações padrões para as cotas".

The application window also features a data table with the following content:

	A	B	C	D	E	F
1						
2						
3	Elemento	Coord. X	Coord Y	Origem X=	11310,28	
4	PA1	1433,362	3643,062	Origem Y=	-803,4488	
5	PA13	2283,363	2974,312			
6	PA14	3158,363	2974,312			
7	PA16	4033,363	2974,312			
8	PA18	2286,97	2685,562			
9	PA2	2283,363	3643,062			
10	PA22	2104,862	2487,612			
11	PA24	1600,863	2529,062			
12	PA26	2283,363	2255,562			
13	PA27	3158,363	2255,562			
14	PA28	4033,363	2255,562			
15	PA3	3156,593	3643,062			

The AutoCAD interface shows a drawing of a foundation layout with various points labeled (PA960, PA970, PA952, PA953, PA954, PA971, PA962, PA972, PA973, PA7, EA10, PA21). A coordinate pair (1.116,90;3.612,32) is visible. The command line at the bottom displays: "Command: Selecione o grupo de objetos de ORIGEM e DESTINO!".

# Programa CAD Tratamento Geométrico do Projeto (Autocad com automação VBA)

DB Construções & Imobiliária Ltda - Eng. John Eloi - AutoCAD/VBA/Excel - Abril 2011

Ocultar

Parâmetros | Desenho | Centros de Cargas | Úteis | Tabelas | Sobre |

Solo:

Taxa do solo (MPa): 0,6

Cargas (tf)

T 200

Diã. Mínimo (m) - Fuste

Diã. Mín.: 0,60

L mín. (m): 0,00

Geometria:

Comprimento L (m): 4

Fck (MPa): 20

Forma de Elipse

Fator Escala: 100

Diâmetro Fuste Df (m): 0,8

Diâmetro Base Db (m): 2,1

Altura Base Hb (m): 1,15

Volume Base (m³): 2,0261

Caso Elipse:

Lado menor b (m): 2

Lado adicional X (m): 0,1

Lado maior a (m): 2,1

Altura da Base Elipse (m): 1,15

Volume Base (m³): 1,9704


  
 Eng. John Eloi Bezerra, M.Sc.  
 CREA 4932-D/RN  
 E-mail: johneloi@gmail.com  
 Tel.: (61) 8101-1011  
 Fundações - Pavimentação - Estruturas  
 Sondagens - Ensaios de Campo  
 Contêntores - Construções

DB Construções & Imobiliária Ltda - Eng. John Eloi - AutoCAD/VBA/Excel - Abril 2011

Ocultar

Parâmetros | Desenho | Centros de Cargas | Úteis | Tabelas | Sobre |

Contar Blocos | Contar Fustes

	A	B	C	D	E	F	G
1		Elemento	Carga	X	Y	C*X	C*Y
2		1				0	0
3		2				0	0
4		3				0	0
5		4				0	0
6		5				0	0
7		6				0	0
8		7				0	0
9		8				0	0
10		9				0	0
11		10				0	0
12		Xcc = #DIV/0!					
13		Ycc = #DIV/0!					
14		Soma Cargas =	0	Soma Majorada =	0		
15		Fator Majoração =	1,25				

Sheet1

Pegar Elemento | Desenhar CentroCargas | Raio C.Cargas: 5

DB Construções & Imobiliária Ltda - Eng. John Eloi - AutoCAD/VBA/Excel - Abril 2011

Ocultar

Parâmetros | Desenho | Centros de Cargas | Úteis | Tabelas | Sobre |

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								

Sheet1

Capturar Tabela Dados | Captura Textos | Dados Tubulões | Desenhar Tabela

Captura Dim. Pilares | Inserir Centros Pilares | Inserir Blocos de Fundação

DB Construções & Imobiliária Ltda - Eng. John Eloi - AutoCAD/VBA/Excel - Abril 2011

Ocultar

Parâmetros | Desenho | Centros de Cargas | Úteis | Tabelas | Sobre |

Textos

Altura: 0,10

Escala: 1

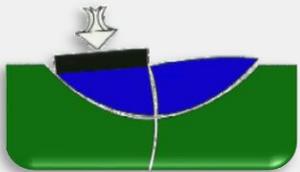
Hatches

Escala: 100

Fator de Largura Tub

Escala: 2,5


  
 Eng. John Eloi Bezerra, M.Sc.  
 CREA 4932-D/RN  
 E-mail: johneloi@gmail.com  
 Tel.: (61) 8101-1011  
 Fundações - Pavimentação - Estruturas  
 Sondagens - Ensaios de Campo  
 Contêntores - Construções



DB Construções & Imobiliária Ltda - Eng. John Eloi - AutoCAD/VBA/Excel - Abril 2011

Ocultar

Parâmetros | Desenho | Centros de Cargas | Úteis | Tabelas | Sobre |

Texto com numeração automática

Num.Inicial: 1 | Prefixo: | Sufixo: | Exemplo:

Altura: 0,1 | Rot: 0 | Lancar Núm.

Inserção de coordenadas

Inserir Coordenadas

Selecionar Vbase

Listar Pares Objetos | Listar Centro Pilares

Listar Dados Linhas

Barras

Cot\_Barras

Usar configurações padrões para as cotas

Sheet1

DB Construções & Imobiliária Ltda - Eng. John Eloi - AutoCAD/VBA/Excel - Abril 2011

Ocultar

Parâmetros | Desenho | Centros de Cargas | Úteis | Tabelas | Sobre |

CADFundações - DB Construções & Imobiliária Ltda.

-----

Sistema de auxílio ao projeto de fundações e de produtividade.

Desenvolvido por John Eloi Bezerra.

John Eloi Bezerra:

-----

Professor Universitário - UFG - Universidade Federal de Goiás  
 Engenheiro Civil - UFRN - Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
 Mestre em Geotecnia - UNB - Universidade de Brasília  
 Doutorando em Geotecnia - UNB

-----

Áreas de Pesquisa:

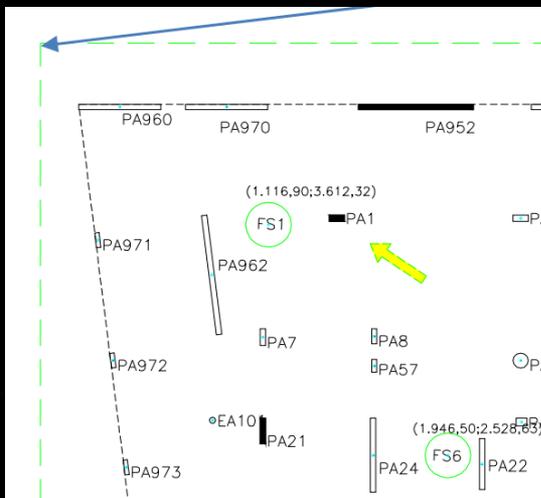
- Fundações;
- Obras de Terra;
- Métodos Numéricos Aplicados à Geotecnia e Estruturas;
- Desenvolvimento de Sistemas para Engenharia Civil;

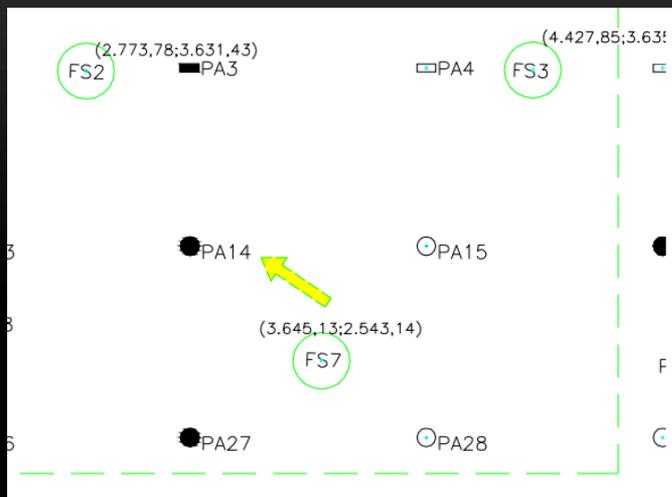

Tabela 4.5. Tipos de configurações possíveis para a geoplanilha desenvolvida – diâmetro ( $\emptyset$ ) em centímetros e c

Tipos de Configurações de Estacas						
Tipo =	1	2	3	4	5	6
$\emptyset$ =	40	40	40	50	50	50
L =	6	8	12	6	8	12

# Exemplo de otimização sobre a obra CREA PA1



AVALIAÇÃO DAS CAPACIDADES DE CARGA NA POSIÇÃO DE UM PILAR ESPECÍFICO										
Pilar:	Coord X	Coord Y	Coord Z	EXECUTAR PREVISÃO DA CAPACIDADE DE CARGA PARA TODOS OS FUROS E CONFIGURAÇÕES DAS ESTACAS NO PILAR						
<b>PA1</b>	14,33	36,43	19,58							
N <sub>méd</sub> =	13,2	21,7	55,7	16,9	27,9	71,8	20,8	34,6	88,9	
N <sub>mín</sub> =	10,1	14,4	33,0	12,8	18,3	42,1	15,5	22,4	51,5	
N <sub>máx</sub> =	18,5	35,3	87,9	23,4	46,2	113,6	28,4	58,0	140,7	
Ni_IDW =	9,7	14,1	57,8	12,2	18,0	75,2	14,8	22,1	93,7	
Furo	Ni-T1	Ni-T2	Ni-T3	Ni-T4	Ni-T5	Ni-T6	Ni-T7	Ni-T8	Ni-T9	Distância
✓ 1	10,2	14,7	57,9	12,8	18,8	75,3	15,5	23,1	94,0	3,18
2	10,3	14,4	50,2	13,2	18,3	65,2	16,2	22,4	81,2	13,41
3	13,3	16,9	50,4	17,1	21,5	65,5	21,0	26,2	81,6	29,95
4	11,9	18,6	34,8	15,0	23,8	44,5	18,1	29,2	54,5	44,69
5	13,5	17,5	33,0	17,2	22,2	42,1	21,1	27,0	51,5	61,78
6	15,3	24,2	76,2	20,2	31,3	98,9	25,4	38,8	123,1	12,27
7	18,5	32,3	87,9	23,4	42,3	113,6	28,4	52,9	140,7	24,70
8	17,7	24,4	56,6	22,6	31,1	73,1	27,7	38,1	90,5	38,32
9	15,8	28,3	38,1	20,0	36,8	48,2	24,3	45,9	58,6	53,79
10	10,7	22,4	67,4	13,5	29,2	87,6	16,4	36,4	109,1	22,15
11	12,8	35,3	82,3	16,6	46,2	105,8	20,6	58,0	130,5	27,21
12	13,3	21,4	70,0	17,0	27,4	90,5	20,8	33,7	112,1	38,07
13	12,1	18,4	36,7	15,7	23,8	47,0	19,5	29,5	57,6	50,20
14	10,1	14,4	37,5	13,0	18,4	48,5	16,1	22,5	60,0	65,44
$\sigma$ =	2,7	6,6	18,6	3,5	8,8	24,3	4,3	11,3	30,4	Dist.
Furo Prox	1 Estudo dos valores previstos de N para o furo mais próximo do elemento Pilar									3,18
N <sub>f</sub> =	10,2	14,7	57,9	12,8	18,8	75,3	15,5	23,1	94,0	
N <sub>idw</sub> /N <sub>f</sub> :	95,4%	95,7%	99,8%	95,5%	95,7%	99,8%	95,6%	95,8%	99,7%	
N <sub>idw</sub> /N <sub>mín</sub> :	95,9%	97,6%	175,1%	95,5%	98,2%	178,6%	95,6%	98,8%	182,0%	
N <sub>idw</sub> /N <sub>méd</sub> :	73,2%	64,9%	103,9%	72,2%	64,4%	104,6%	71,3%	64,0%	105,4%	



# Exemplo de otimização sobre a obra CREA PA14

Pilar:	Coord X	Coord Y	Coord Z	EXECUTAR PREVISÃO DA CAPACIDADE DE CARGA PARA TODOS OS FUROS E CONFIGURAÇÕES DAS ESTACAS NO PILAR						
<b>PA14</b>	31,58	29,74	18,46							
Nméd =	13,2	21,7	55,7	16,9	27,9	71,8	20,8	34,6	88,9	
Nmín =	10,1	14,4	33,0	12,8	18,3	42,1	15,5	22,4	51,5	
Nmáx =	18,5	35,3	87,9	23,4	46,2	113,6	28,4	58,0	140,7	
Ni_IDW=	10,0	14,1	46,8	12,8	18,4	60,5	15,6	20,6	81,2	
Furo	Ni-T1	Ni-T2	Ni-T3	Ni-T4	Ni-T5	Ni-T6	Ni-T7	Ni-T8	Ni-T9	Distância
1	10,2	14,7	57,9	12,8	18,8	75,3	15,5	23,1	94,0	21,3
2	10,3	14,4	50,2	13,2	18,3	65,2	16,2	22,4	81,2	7,6
3	13,3	16,9	50,4	17,1	21,5	65,5	21,0	26,2	81,6	14,3
4	11,9	18,6	34,8	15,0	23,8	44,5	18,1	29,2	54,5	28,6
5	13,5	17,5	33,0	17,2	22,2	42,1	21,1	27,0	51,5	45,2
6	15,3	24,2	76,2	20,2	31,3	98,9	25,4	38,8	123,1	12,9
7	18,5	32,3	87,9	23,4	42,3	113,6	28,4	52,9	140,7	6,5
8	17,7	24,4	56,6	22,6	31,1	73,1	27,7	38,1	90,5	19,8
9	15,8	28,3	38,1	20,0	36,8	48,2	24,3	45,9	58,6	35,6
10	10,7	22,4	67,4	13,5	29,2	87,6	16,4	36,4	109,1	23,3
11	12,8	35,3	82,3	16,6	46,2	105,8	20,6	58,0	130,5	15,9
12	13,3	21,4	70,0	17,0	27,4	90,5	20,8	33,7	112,1	20,9
13	12,1	18,4	36,7	15,7	23,8	47,0	19,5	29,5	57,6	31,8
14	10,1	14,4	37,5	13,0	18,4	48,5	16,1	22,5	60,0	46,9
$\sigma =$	2,7	6,6	18,6	3,5	8,8	24,3	4,3	11,3	30,4	Dist.
<b>Furo Prox</b>	<b>7 Estudo dos valores previstos de N para o furo mais próximo do elemento Pilar</b>									6,5
Nf =	18,5	32,3	87,9	23,4	42,3	113,6	28,4	52,9	140,7	
N <sub>idw</sub> /Nf:	54,2%	43,6%	53,2%	54,6%	43,4%	53,2%	54,9%	38,9%	57,7%	
N <sub>idw</sub> /Nmín:	99,4%	98,0%	141,6%	99,7%	100,2%	143,6%	100,5%	92,2%	157,7%	
N <sub>idw</sub> /Nmed:	75,8%	65,2%	84,1%	75,4%	65,7%	84,2%	75,0%	59,7%	91,3%	



## Previsões IDW vs Método Sondagem Próxima

Tabela 4.6. Razão entre valor de capacidade de carga estimada via IDW ( $N_{idw}$  com  $I = 95\%$ ) e via furo de sondagem mais próximo ( $N_f$ ).

RAZÃO ENTRE VALORES $N_{idw}$ e $N_f$										
Tipo =	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\emptyset =$	40	40	40	50	50	50	60	60	60	
$L =$	6	8	12	6	8	12	6	8	12	
Pilar	Ni-T1	Ni-T2	Ni-T3	Ni-T4	Ni-T5	Ni-T6	Ni-T7	Ni-T8	Ni-T9	
PA1	95,4%	95,7%	99,8%	95,5%	95,7%	99,8%	95,6%	95,8%	99,7%	
PA14	54,2%	43,6%	53,2%	54,6%	43,4%	53,2%	54,9%	38,9%	57,7%	
PA16	75,1%	70,8%	83,1%	75,1%	70,8%	83,1%	75,0%	70,9%	83,2%	
PA21	55,2%	51,8%	51,0%	50,3%	51,8%	51,0%	49,8%	51,8%	51,0%	
PA27	82,5%	73,6%	80,5%	83,1%	73,5%	80,5%	83,7%	73,4%	80,5%	
PA3	79,4%	85,3%	74,9%	74,3%	85,4%	74,8%	74,2%	85,4%	74,8%	
PA33	78,5%	75,3%	79,8%	79,0%	75,3%	79,8%	79,5%	80,3%	79,7%	
PA55	84,6%	79,5%	76,5%	84,6%	79,5%	76,4%	89,7%	79,5%	76,4%	
PA952	79,2%	81,5%	70,8%	79,6%	81,3%	70,6%	80,1%	81,4%	70,5%	
PA966	72,3%	64,4%	63,5%	67,2%	59,5%	63,7%	67,4%	59,5%	63,9%	
PA975	76,4%	74,1%	78,4%	76,7%	79,1%	78,4%	77,1%	79,1%	78,3%	
PB10	82,3%	89,7%	88,2%	82,2%	90,4%	93,2%	82,0%	91,0%	92,7%	
PB12	78,9%	84,4%	89,6%	79,2%	84,2%	90,1%	79,5%	83,6%	90,2%	
PB971	79,8%	90,4%	90,3%	79,5%	90,7%	90,4%	79,2%	91,0%	90,4%	
PB973	83,7%	89,6%	89,1%	83,7%	89,6%	89,1%	78,6%	89,7%	89,1%	
PB975	74,5%	85,7%	74,6%	74,4%	85,8%	74,5%	69,3%	91,0%	69,4%	

# Previsão das capacidades de carga nas locações dos pilares (I=95%)

AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE CARGA DAS FUNDAÇÕES NA LOCAÇÃO DOS PILARES														
			<input checked="" type="checkbox"/> Prever valor N para probabilidade de 95%							EXECUTAR AVALIAÇÃO ESPECIAL DA CAPACIDADE DE CARGA VERTICAL				
			Tipos de Configurações de Estacas											
			Tipo =	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
			$\phi =$	40	40	40	50	50	50	60	60	60		
			$L =$	6	8	12	6	8	12	6	8	12		
Qtde Pilar:			32	18,46	$Z_e =$	24,46	26,46	30,46	24,46	26,46	30,46	24,46	26,46	30,46
Pilar	X	Y	Zt	Ni-T1	Ni-T2	Ni-T3	Ni-T4	Ni-T5	Ni-T6	Ni-T7	Ni-T8	Ni-T9		
PA1	14,33	36,43	19,58	9,7	14,1	57,8	12,2	18,0	75,2	14,8	22,1	93,7		
PA14	31,58	29,74	18,46	10,0	14,1	46,8	12,8	18,4	60,5	15,6	20,6	81,2		
PA16	49,08	29,74	18,32	13,3	17,3	47,1	16,9	22,0	60,8	20,8	27,0	75,3		
PA21	10,91	26,43	19,03	8,5	12,5	38,9	10,1	16,2	50,5	12,6	20,1	62,8		
PA27	31,58	22,56	18,30	15,3	23,8	70,8	19,4	31,1	91,5	23,8	38,9	113,4		
PA3	31,57	36,43	18,67	8,1	12,3	37,6	9,8	15,6	48,8	12,0	19,1	60,7		
PA33	16,01	18,74	18,62	8,4	16,9	53,8	10,7	21,9	69,8	13,0	29,2	87,0		
PA55	49,08	11,33	17,87	11,2	17,0	53,5	14,4	21,8	69,2	18,7	26,8	85,6		
PA952	17,99	41,66	19,33	8,0	12,0	41,0	10,2	15,3	53,2	12,4	18,8	66,2		
PA966	33,16	7,17	17,59	9,2	22,7	52,3	11,1	27,5	67,4	13,9	34,5	83,4		
PA975	5,97	13,46	18,60	8,2	16,6	52,8	10,4	23,1	68,6	12,6	28,8	85,5		
PB10	73,56	30,93	18,78	11,1	15,7	29,1	14,2	20,1	39,2	17,3	24,6	47,7		
PB12	61,25	25,56	18,87	12,4	23,9	34,1	15,8	31,0	43,4	19,3	38,4	52,9		
PB971	68,28	41,66	18,70	10,8	15,8	29,8	13,7	20,1	38,0	16,7	24,6	46,6		
PB973	83,07	41,66	18,74	11,3	15,7	29,4	14,4	19,9	37,5	16,6	24,3	45,9		
PB975	71,25	5,75	18,12	7,5	12,4	28,0	9,7	15,8	36,1	11,2	20,5	41,7		



## Projeto otimizado via IDW com $I=95\%$

Tabela 4.9. Relatório gerado pelo programa de dimensionamento otimizado das fundações dos pilares, como resultado da otimização discreta – ( $N_{idw} - I = 95\%$ ).

										Dados							
Solução	Elemento	Efi	Pc,má	Pc,mí	Fz (t)	Mx (t.m)	My (t.m)	Soluçã	Dia. Estaca (m)	Le (m)	Configuraç	Soma de Nest	Contar de Elemento	Soma de Volume (m³)	Soma de Aço (kg)		
B1_EST_50_L_6	PA975	3,5E-01	5,0	5,0	5	-2	0	OK	0,5	6	4	1	1	1,18	57,5		
B1_EST_50_L_6 Total												1	1	1,18	57,5		
B12_EST_60_L_12	PA14	3,6E-06	70,1	68,7	833	8	2	OK	0,6	12	9	12	1	40,72	1206		
B12_EST_60_L_12 Total																	
B15_EST_60_L_12	PA33	1,2E-06	82,5	41,3	929	-307	-3	C									
B15_EST_60_L_12 Total																	
B2_EST_40_L_12	PA1	1,7E-02	48,0	24,0	72	-12	-3	C									
	PA952	1,7E-02	30,0	20,0	50	-2	-5	C									
	PA966	1,3E-02	30,0	18,0	48	-1	6	C									
B2_EST_40_L_12 Total																	
B2_EST_40_L_8	PB12	3,0E-02	22,5	0,5	23	-11	-3	C									
B2_EST_40_L_8 Total																	
B2_EST_50_L_12	PA55	6,8E-03	47,1	35,9	83	-7	-4	C									
B2_EST_50_L_12 Total																	
B3_EST_40_L_12	PA3	4,4E-03	35,2	26,2	92	-9	0	C									
B3_EST_40_L_12 Total																	
B3_T_EST_40_L_12	PA27	4,3E-03	64,9	43,0	167	-8	8	C									
B3_T_EST_40_L_12 Total																	
B3_T_EST_60_L_12	PB10	1,1E-03	48,1	46,9	142	0	1	C									
	PB971	6,3E-04	45,2	2,5	82	-9	-32	C									
	PB973	9,1E-04	45,9	31,3	117	-1	11	C									
B3_T_EST_60_L_12 Total																	
B4_EST_60_L_12	PB975	2,5E-04	41,0	21,0	124	6	-24	C									
B4_EST_60_L_12 Total																	
B7_EST_60_L_12	PA21	3,6E-05	64,3	59,1	432	13	1	C									
B7_EST_60_L_12 Total																	
B9_EST_60_L_12	PA16	1,2E-05	72,9	68,7	637	16	3	C									
B9_EST_60_L_12 Total																	
Total Geral															73	216,0	6587,5

### RESUMO GERAL DAS ESTACAS E QUANTITATIVOS

		Dados		
Dia. Estaca (m)	Le (m)	Soma de Nest	Soma de Volume (m³)	Soma de Aço (kg)
0,4	8	2	2,0	73,0
	12	12	18,1	660,0
<b>0,4 Total</b>		<b>14</b>	<b>20,1</b>	<b>733,0</b>
0,5	6	1	1,2	57,5
	12	2	4,7	169,0
<b>0,5 Total</b>		<b>3</b>	<b>5,9</b>	<b>226,5</b>
0,6	12	56	190,0	5628,0
<b>0,6 Total</b>		<b>56</b>	<b>190,0</b>	<b>5628,0</b>
<b>Total Geral</b>		<b>73</b>	<b>216,0</b>	<b>6587,5</b>

Volume Concreto/Escavação = 216 m³  
Nest = 73

# Projeto otimizado via dados sondagem mais desfavorável

Tabela 4.12. Relatório gerado pelo programa de dimensionamento otimizado das fundações dos pilares, como resultado da otimização discreta – caso de uso de capacidade de carga mínimas globais -  $N_{min}$ .

Solução	Elemento	Efi	Pc,máx	Pc,mín	Fz (t)	Mx (t.m)	My (t.m)	Solução?	Dia. Estaca (m)	Le (m)	Configuração	Soma de Nest	Contar de Elemento	Soma de Volume (m³)	Soma de Aço (kg)	
B1_EST_50_I_6	PA975	2,8E-01	5,0	5,0	5	-2	0	OK	0,5	6	4	1	1	1,18	57,5	
B1_EST_50_I_6 Total													1	1	1,18	57,5
B16_EST_60_I_12	PA14	1,3E-06	52,5	51,6	833	8	2	OK	0,6	12	9	16	1	54,29	1608	
B16_EST_60_I_12 Total													16	1	54,29	1608
B2_EST_40_I_12	PA952	2,1E-02	30,0	20,0	50	-2	-5	OK	0,4	12	3	2	1	3,02	110	
	PA966	2,0E-02	30,0	18,0	48	-1	6	OK	0,4	12	3	2	1	3,02	110	
	PB12	9,6E-03	22,5	0,5	23	-11	-3	OK	0,4	12	3	2	1	3,02	110	
B2_EST_40_I_12 Total																
B2_EST_60_I_12	PA3	4,9E-03	52,0	40,0	92	-9	0	OK								
B2_EST_60_I_12 Total																
B20_EST_LIN_40_I_12	PA16	2,7E-06	33,5	30,2	637	16	3	OK								
B20_EST_LIN_40_I_12 Total																
B20_EST_LIN_60_I_12	PA33	4,9E-07	52,2	40,7	929	-307	-3	OK								
B20_EST_LIN_60_I_12 Total																
B3_EST_40_I_12	PA1	3,9E-03	30,0	18,0	72	-12	-3	OK								
B3_EST_40_I_12 Total																
B3_EST_60_I_12	PB975	8,6E-04	49,3	33,3	124	6	-24	OK								
B3_EST_60_I_12 Total																
B3_T_EST_40_I_12	PA55	4,5E-03	32,4	18,4	83	-7	-4	OK								
B3_T_EST_40_I_12 Total																
B3_T_EST_60_I_12	PB10	9,9E-04	48,1	46,9	142	0	1	OK								
	PB971	5,7E-04	52,0	9,0	82	-9	-32	OK								
	PB973	8,1E-04	47,5	34,1	117	-1	11	OK								
B3_T_EST_60_I_12 Total																
B6_EST_40_I_12	PA27	2,9E-04	32,5	23,2	167	-8	8	OK								
B6_EST_40_I_12 Total																
B9_EST_60_I_12	PA21	1,2E-05	49,6	46,4	432	13	1	OK								
B9_EST_60_I_12 Total																
Total Geral																

## RESUMO GERAL DAS ESTACAS E QUANTITATIVOS

		Dados		
Dia. Estaca (m)	Le (m)	Soma de Nest	Soma de Volume (m³)	Soma de Aço (kg)
0,4	12	38	57,3	2090,0
<b>0,4 Total</b>		<b>38</b>	<b>57,3</b>	<b>2090,0</b>
0,5	6	1	1,2	57,5
<b>0,5 Total</b>		<b>1</b>	<b>1,2</b>	<b>57,5</b>
0,6	12	59	200,2	5929,5
<b>0,6 Total</b>		<b>59</b>	<b>200,2</b>	<b>5929,5</b>
<b>Total Geral</b>		<b>98</b>	<b>258,7</b>	<b>8077,0</b>

Volume Concreto/Escavação = 258 m³ (22%+)

Nest = 98 (34%+)

## Projeto otimizado via dados sondagem mais próxima de cada pilar

Tabela 4.14. Relatório gerado pelo programa de dimensionamento otimizado das fundações dos pilares, como resultado da otimização discreta – caso de uso de capacidade de carga estimada exclusivamente com os dados do furo de sondagem mais próximo de cada pilar.

													Dados			
Solução	Elemento	Efi	Pc,máx	Pc,mín	Fz (t)	Mx (t.m)	My (t.m)	Solução?	Dia. Estaca (m)	Le (m)	Config.	Soma de Nest	Tot. Elemento	Soma de Volume (m³)	Soma de Aço (kg)	
B1_EST_50_L_6	PA975	2,7E-01	5,0	5,0	5	-2	0	OK	0,5	6	4	1	1	1,18	57,5	
<b>B1_EST_50_L_6 Total</b>												<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1,18</b>	<b>57,5</b>	
B12_EST_60_L_12	PA33	3,0E-06	103,2	51,6	929	-307	-3	OK	0,6	12	9	12	1	40,72	1206	
<b>B12_EST_60_L_12 Total</b>												<b>12</b>	<b>1</b>	<b>40,72</b>	<b>1206</b>	
B2_EST_40_L_12	PA1	1,7E-02	48,0	24,0	72	-12	-3	OK	0,4	12	3	2	1	3,02	110	
	PA952	1,2E-02	30,0	20,0	50	-2	-5									
<b>B2_EST_40_L_12 Total</b>																
B2_EST_40_L_8	PA966	4,2E-02	30,0	18,0	48	-1	6									
<b>B2_EST_40_L_8 Total</b>																
B2_EST_50_L_12	PA3	7,9E-03	53,2	38,8	92	-9	0									
	PA55	5,2E-03	47,1	35,9	83	-7	-4									
<b>B2_EST_50_L_12 Total</b>																
B2_EST_50_L_6	PB12	2,6E-02	20,3	2,7	23	-11	-3									
<b>B2_EST_50_L_6 Total</b>																
B3_T_EST_40_L_12	PA27	3,4E-03	64,9	43,0	167	-8	8									
<b>B3_T_EST_40_L_12 Total</b>																
B3_T_EST_60_L_12	PB10	9,9E-04	48,1	46,9	142	0	1									
	PB971	5,7E-04	52,0	9,0	82	-9	-32									
	PB973	8,1E-04	47,5	34,1	117	-1	11									
	PB975	7,4E-04	59,8	28,1	124	6	-24									
<b>B3_T_EST_60_L_12 Total</b>																
B6_EST_40_L_12	PA21	3,2E-04	76,6	67,4	432	13	1									
<b>B6_EST_40_L_12 Total</b>																
B6_EST_60_L_12	PA14	6,6E-05	140,9	136,7	833	8	2									
<b>B6_EST_60_L_12 Total</b>																
B9_EST_50_L_12	PA16	2,7E-05	73,3	68,2	637	16	3									
<b>B9_EST_50_L_12 Total</b>																
<b>Total Geral</b>												<b>61</b>	<b>16</b>	<b>157,6</b>		

RESUMO GERAL DAS ESTACAS E QUANTITATIVOS					
		Dados			
Dia. Estaca (m)	Le (m)	Soma de Nest	Soma de Volume (m³)	Soma de Aço (kg)	
0,4	8	2	2,0	73,0	
	12	13	19,6	715,0	
<b>0,4 Total</b>		<b>15</b>	<b>21,6</b>	<b>788,0</b>	
0,5	6	3	3,5	172,5	
	12	13	30,6	1098,5	
<b>0,5 Total</b>		<b>16</b>	<b>34,2</b>	<b>1271,0</b>	
0,6	12	30	101,8	3015,0	
<b>0,6 Total</b>		<b>30</b>	<b>101,8</b>	<b>3015,0</b>	
<b>Total Geral</b>		<b>61</b>	<b>157,6</b>	<b>4074,0</b>	

Volume Concreto/Escavação = 157 m³ (27% -)

Nest = 61 (16% -)

1. Introdução

2. Revisão

2.1 Aplicações

3. Métodos

4. Resultados

5. Conclusões

6. Referências

# 5. Conclusões

# Conclusões

- O estudo abordou uma **revisão bibliográfica** sobre os conceitos e tipos de fundações, seus mecanismos de comportamento e teorias para a previsão da resistência geotécnica destas estruturas, aliadas à possibilidade de aferição da confiabilidade das previsões;
- Através das análises geoestatísticas, a **estimativa da capacidade de carga das fundações pode ser aperfeiçoada** através da modelagem das amostras de sondagem em função das suas posições espaciais e dos seus valores medidos;
- Como **produto da pesquisa**, um conjunto de sistemas computacionais foi desenvolvido para a aplicação da geoestatística ao projeto de fundações profundas;
- **A variografia é uma ferramenta essencial** para o entendimento da variabilidade espacial das amostras e para se determinar a abordagem do uso dos dados de sondagem ao projeto de fundação;

# Conclusões

- **Uma nova proposta de uso do método IDW** foi desenvolvido a fim de se medir o grau da confiabilidade das previsões das fundações, incorporando maior racionalidade das previsões;
- **A Krigagem é um método de interpolação confiável para o estudo de variáveis espaciais, mas exige um tempo computacional** e de análise do engenheiro significativo. A Krigagem Universal deve ser empregada quando da presença de deriva da VR;
- **É necessária experiência do engenheiro quanto ao fenômeno espacial** estudado quando da modelagem do variograma. A busca da melhor função teórica de ajuste do variograma foi automatizada no sistema elaborado;
- **Um programa foi desenvolvido** especialmente para projetos de pequeno e médio porte, com limitação da quantidade de furos de sondagem;

# Conclusões

- O método IDW pode ser empregado com facilidade às rotinas de projeto de fundações profundas e demanda baixo tempo computacional;
- Ferramentas gráficas para visualização das espacializações foram desenvolvidas, assim como rotinas para desenho assistido por computador (CAD);
- O sistema desenvolvido pode ser empregado para a espacialização de outros parâmetros do solo;
- Um algoritmo de otimização do projeto de fundação foi apresentado e discutido na prática para uma obra real, com sua locação de sondagem e planta de cargas dos pilares de fundação;
- O uso de técnicas de previsão via áreas de influência das sondagem pode representar riscos ao projeto, gerando previsões com alta probabilidade de falha;

# Sugestões para futuras pesquisas

- A implementação de técnicas de **simulação geoestatísticas** a fim de manter a mesma distribuição de probabilidade amostral nas estimativas espaciais;
- Sugere-se a **adoção da técnica da co-krigagem**, a qual pode levar em consideração o efeito de outras variáveis secundárias com amostragem e que se associam com a variável principal a ser estimada;
- O uso de **algoritmos eficazes** para o tratamento de dados e solução de sistemas lineares a fim de se viabilizar o uso de planilhas eletrônicas para a análise de conjuntos de sondagens de maior porte;
- **A verificação do uso de redes neurais para a simulação espacial** da capacidade de carga e sua eficácia frente os métodos convencionais de interpolação.

# 6.Referências

# REFERÊNCIAS

- ABMS/ABEF, (1998). Fundações: Teoria e Prática. Pini, São Paulo, SP, 2 ed., 751p.
- ANDRIOTTI, J. L. S. (2003). Fundamentos de Estatística e Geoestatística. Porto Alegre: Unisinos. ISBN 85-7431-171-5, 165p.
- ALMEIDA, A. S.; BETTINI, C. Curso de Geoestatística Aplicada. Rio de Janeiro, UFRJ, 1994. Apostila.
- ANJOS, G. J. M. Estudo experimental do comportamento de fundações escavadas em solos Tropicais. 341p., 210x297mm. Tese de Doutorado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia, 2006. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental
- Bowles, J.E. (1988). Foundation Analysis and Design, 4th edition, McGraw Hill, Inc.
- ARMSTRONG, M. (1983). Coal Geostatistics. Cahier du Centre de Morphologie Mathématique. 100 P.
- ASSIS, A.P., ESPÓSITO, T.J., GARDONI, M.G. & SILVA, P.D.E.A. (1999). Métodos Estatísticos e Probabilísticos em Geotecnia, Apostila, Publicação G.AP-003C/99. Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- BANERJEE, S., CARLIN, C. P., GELFAND, A. E. (Eds.), 2004. Hierarchical Modeling and Analysis for Spatial Data. Monographs on Statistics and Applied Probability. Chapman & Hall/CRC, Boca Raton, Florida, p. 472.
- BASARIR, H; KUMRAL.M; KARPUZ,C.; TUTLUOGLU, L. Geostatistical modeling of spatial variability of SPT data for a borax stockpile site. Engineering Geology Journal, 114 (2010) 154–163.
- BEZERRA, J.E. e CUNHA, R.P. 2002. Avaliação de métodos simplificados de previsão do comportamento de grupos de estacas. XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, São Paulo, V.3, p.1333-1344
- BEZERRA, J.E.; SOUZA, N.M; ASSIS, A.P (2011). Implementação numérica do método IDW para interpolação de dados georeferenciados de ensaios SPT via Planilhas Eletrônicas. VI INFOGEO – VI INFOGEO – Co-evento – II Geocentro, Brasília.
- BURLAND, J.B. (1995). Keynote Address: 19th Italian National Conf. On Soil Mechanics, Pavia.
- BURROUGH, P. (1987). Principles of geographical information systems for land resources assessment. Oxford, Clarendon Press
- CÂMARA, G.; FREITAS, U.M.; CORDEIRO, J.P.C. Towards an Algebra of Geographical Fields. In: VII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE COMPUTAÇÃO GRÁFICA E PROCESSAMENTO DE IMAGENS. Anais, Curitiba, SBC, p. 205-212, 1994. (disponível na webpage <http://www.dpi.inpe.br/gilberto>).
- CAMARGO, E.C.G (?) .Geoestatística: Fundamentos E Aplicações. Disponível em: [HTTP://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis\\_ambiente/5geoest.pdf](HTTP://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis_ambiente/5geoest.pdf). Acesso em: 28 jun. 2010.
- CLANCY, P. and Randolph, M.F. (1996). Simple design tools for piled raft foundations. Geotechnique Vol. 46, Nº 2, 313-328.
- CHOW, H. S. C.. Analyses of Piled Rafts containing Piles with Different Lengths and Diametres. 2007. Tese (Doutorado em Civil Engineering) - The University of Sydney.

# REFERÊNCIAS

- CODUTO, D. P., (2001). Foundation Design – Principles and practices. Prentice Hall 796.
- CRESSIE, N. A. C., 1993. Statistics for Spatial Data, revised edition. 68. John Wiley & Sons, New York, p. 416.
- CUNHA, R.P., (1996). Apostila do Curso de Fundações – Mestrado. Programa de Pós Graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília, 455p.
- CUNHA,R.P.; Poulos, H.G. And Small, J.C. (2001). Investigations of design alternatives for a piled raft case history". J. of Geot. And Geoenv. Engineering, Vol 127, Nº 8, p.1-6.
- DAVID, M.(1988). Handbook of Applied Advanced Geostatistical Ore Reserve Estimation - Developments in Geomathematics 6. Elsevier, Amsterdam. 216 p.
- DÉCOURT, L. (1995). Prediction of Load Settlement Relationships for Foundations on the Basis of the SPT-T. Ciclo de Conferências Internacionais Leonardo Zeevaert. México. p. 87-103.
- DEUTSCH, C. V., JOURNEL, A. G., 1998. GSLIB: Geostatistical Software and User's Guide, 2nd Edition. Oxford University Press, New York, p. 384.
- FOLLE, D. 2002. O estudo geoestatístico de sondagens spt para geração de mapas auxiliares em obras de engenharia. Dissertação de mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Porto Alegre/RS, Brasil, 217p.
- FOLLE, D. 2009. Análise e aplicações da geoestatística no contexto geológico-geotécnico urbano. Tese de doutorado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Porto Alegre/RS, Brasil, 212 p.
- GELFAND, A. E; DIGGLE, P.J.; FUENTES, M.; GUTTORP, P. (2010) Handbook of Spatial Statistics, Chapman and Hall, CRC Press, Boca Raton, 616 p.
- GOOVAERTS, P., (1997). Geostatistics for Natural Resources Evaluation. Oxford Univ. Press, New York, 512 p.
- GOOVAERTS, P. (1999). Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives. Geoderma, 89, 1–45.
- HENGL, T. (2009). A Practical Guide to Geostatistical Mapping. ISBN 978-90-9024981-0 291 p. Disponível em [http://spatial-analyst.net/book/system/files/Hengl\\_2009\\_GEOSTATE2c1w.pdf](http://spatial-analyst.net/book/system/files/Hengl_2009_GEOSTATE2c1w.pdf)
- ISAACS, E. H., SRIVASTAVA, R. M., 1989. Applied Geostatistics. Oxford University Press, New York, p. 542.
- LANCASTER P.; SALKAUSKAS K. Curve and Surface Fitting: An Introduction. London, Academic Press, 1986.
- LANDIM, P. M. B., STURARO, J. R.; & RIEDEL, P. S. (2000) - O emprego da técnica geoestatística da krigagem indicativa em Geotecnia Ambiental: Revista Solos e Rochas, 23(3):157-164
- LANDIM, P.M. Análise estatística de dados geológicos. 2. ed. rev. e ampl. - Sao Paulo: Editora UNESP, 2003.
- LIMA, B.S. Otimização de Fundações Estaqueadas [Distrito Federal] 2007 xiv, 118 p., 297 mm (ENC/FT/UNB, Mestre, Geotecnia, 2007). Dissertação de Mestrado - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

# REFERÊNCIAS

- MATHERON, G. (1963). Principles of geostatistics. *Economic Geology*, 58, 1246–1266.
- MATHCAD 14.0 (2007). Parametric Technology Corporation – User’s Guide.
- MATLAB 7.1, The MathWorks Inc., Natick, MA, User Guide. 2010.
- MICROSOFT EXCEL 2007 (2010). Microsoft Corporation – User’s Guide.
- MILITITSKY, J., Schnaid, F. (1995). Uso do SPT em Fundações – Possibilidades e Limitações, *Avaliação Crítica. XXVII Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural*. Vol. 6, 125-138.
- MONTEIRO, R. C (2003). Estimativa espaço-temporal da superfície potenciométrica do sistema aquífero guarani na cidade de Ribeirão Preto (SP) - Brasil. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente). Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 212 p.
- OMRE, H. (1987). Bayesian kriging - merging observations and qualified guesses in kriging. *Mathematical Geology*, 19, 25–39.
- POTYONDY, J. G. Skin friction between cohesive granular soils and construction materials, *Geotechnique*, v.11, n.4, p. 339-353, 1961.
- POULOS, H. G. & Davis, E. H. (1980). *Pile Foundation Analysis and Design*. John Wiley & Sons, New York, United States of America, 397p.
- POULOS, H. G. and Davis, E. H. (1980). “Pile foundation analysis and design”. John Wiley and Sons. New York, N.Y.
- POULOS, H.G (2001). “Piled raft foundations: design and applications”. *Geotechnique*, Vol 51, Nº 2, 95-113.
- RANDOLPH, M.F. (1994). “Design methods for pile groups and piled rafts”. XII ICSMFE, New Delhi, Índia.
- RANDOLPH, M.F. and Clancy, P. (1993). “ Efficient design of piled rafts”. *Proc. of 2nd Int. Geot. Sem. on deep Foundations on Bored and Auger Piles*, Ghent, 199-130.
- RANDOLPH, M.F. and Wroth, C.P. (1978). “ Analysis of deformation of vertically loaded piles” . *J. Geot. End. Div., ASCE*, 104 (12), 1465-1488.
- ROCHA, M. M.; YAMAMOTO, J.K.; FONTELES, H.R.N. (2009). Cokrigagem Ordinária versus Krigagem com Deriva Externa: Aplicações para a Avaliação do Nível Potenciométrico em um Aquífero Livre. *Geol. USP Sér. Cient., São Paulo*, v. 9, n. 1, p. 73-84.
- SALES, M. M., (2000). *Análise do Comportamento de Sapatas Estaqueadas*. Tese de Doutorado, Publicação G.TD/002A, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 229 p.
- SALES M. M. ; LIMA, B.S. ; ALMEIDA, S. R. M. ; FARIAS, M. M. . Automatic optimization of piled raft design. *Computers and Geotechnics*, 2010.
- SCHNAID, F. (2000). *Ensaio de Campo e suas Aplicações à Engenharia de Fundações*. Oficina de Textos, São Paulo, SP, 189 p.
- SARMA, D.D. (2009) *Geostatistics with Applications In Earth Sciences*. Ed. Springer, 2nd Edition, New Delhi, India. ISBN 978-1-4020-9 379-1 (HB) / ISBN 978- 1-4020-9380-7 (e-book).
- STURARO, J.R. (1994) - Mapeamento geoestatístico de propriedades geológico-geotécnicas obtidas em sondagens de simples reconhecimento. Tese de

# REFERÊNCIAS

- STURARO, J.R. (1994) - Mapeamento geoestatístico de propriedades geológico-geotécnicas obtidas em sondagens de simples reconhecimento. Tese de Doutorado em Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos - USP, São Carlos, 183 p.
- SOUTHCOTT, P.H. And Small, J.C. (1996). Finite layer analysis of vertically loaded piled and piles groups. Computers and Geotechnics, Vol. 18, Nº 1, p.47-63.
- SOARES, A (2006). Geoestatística para as ciências da terra e do ambiente. IST Press, 2ª Edição, Lisboa, 214 p.
- SURFER 6.0 (1995) – User’s guide. Contouring and 3D Surface Mapping for Scientists and Engineers: Golden Software, Inc.
- VESIC, A. S. Ultimate loads and settlements of deep foundation in sand, Bearing Capacity and Settlement of Foundations. Symposium held at Duke university, Durham, North Carolina, 1965.
- WACKERNAGEL, H., (2003). Multivariate geostatistics: an introduction with applications, 2nd Edition. Springer-Verlag, p. 381.
- WALLER, L.A; GOTWAY, C.A (2004). Applied spatial statistics for public health data. John Wiley & Sons, New York, 491 p.



# OBRIGADO PELA ATENÇÃO E PRESENÇA

Agradecimentos:

