

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
MESTRADO EM ENGENHARIA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE MINERAÇÃO E GEOLOGIA

APLICAÇÃO DA GEOESTATÍSTICA NA AVALIAÇÃO DO
COMPORTAMENTO DOS CORPOS AURÍFEROS NA REGIÃO DO VALE DO
PIANCÓ - PB.

ALEXANDRE DA GAMA FERNANDES VIEIRA

CAMPINA GRANDE - PB

1997

ALEXANDRE DA GAMA FERNANDES VIEIRA

APLICAÇÃO DA GEOESTATÍSTICA NA AVALIAÇÃO DO
COMPORTAMENTO DOS CORPOS AURÍFEROS NA REGIÃO DO VALE DO
PIANCÓ - PB.

Dissertação apresentada ao curso de
Mestrado em Engenharia de Minas da
Universidade Federal da Paraíba, em
cumprimento às exigências para
obtenção do Grau de Mestre.

Orientador : TUMKUR RAJARAO GOPINATH

Campina Grande, Pb
1997



V658a Vieira, Alexandre da Gama Fernandes
 Aplicacao da geoestatistica na avaliacao do
 comportamento dos corpos auriferos na regio do Vale do
 Pianco - PB / Alexandre da Gama Fernandes Vieira. - Campina
 Grande, 1997.
 163 f. : il.

 Dissertacao (Mestrado em Engenharia de Minas) -
 Universidade Federal da Paraiba, Centro de Ciencias e
 Tecnologia.

 1. Mineralogia (Ouro) 2. Dissertacao I. Gopinath, Tumkur
 Rajaroo, Dr. II. Universidade Federal da Paraiba - Campina
 Grande (PB)

CDU 549.283(043)

PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DO
ALUNO
ALEXANDRE DA GAMA FERNANDES VIEIRA

TÍTULO: "Aplicação da Geoestatística na Avaliação do Comportamento
dos Corpos Auríferos na região do Vale do Piancó-PB"

Aprovada em 22/ 12/ 1997

COMISSÃO EXAMINADORA:

ASSINATURA:

DR. TUMKUR RAJARAO GOPINATH



DR. DORIVAL DE CARVALHO PINTO



DR. AARÃO DE ANDRADE LIMA



CAMPINA GRANDE, 22 DE DEZEMBRO DE 1997

DEDICATÓRIA

Está tese é dedicada a DEUS,
Meus pais José Fernandes Vieira Jr.
E Maria Bernadete Gama Vieira,
minha esposa Mary Carla
Guimarães Lima, meus Filhos
Alexandre da Gama Fernandes
Vieira Junior e Marina Guimarães
Vieira.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Professor Tumkur Rajarao Gopinath, Ph.D., pela honestidade, paciência, dedicação e sabedoria que me fez conduzir esta dissertação.

Ao Departamento de Mineração e Geologia, nas pessoas professor Aarão coordenador de mestrado, professor José Avelino chefe de departamento, professor Elísio Vice-chefe de departamento e as secretárias Eleonora e Carmelo pelo atendimento sempre cordial.

A dissertação beneficiou-se muito com as frequentes discussões e sugestões feitas pelo professor Eudes Alves de Sousa na elaboração da dissertação.

A Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais, CDRM-PB, na pessoa do geólogo Afonso Ligório Fernandes de Brito, pela presteza de atender a nossa pesquisa.

A CAPES, pelas concessões da bolsa de estudos e auxílio à pesquisa.

Aos colegas do curso de Engenharia de Minas, que direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta dissertação.

Aos meus avôs Basílio Coelho (in memorian) e Mariana Gama (in memorian), José Fernandes Vieira e Maria Procópio Vieira (in memorian).

Ao meu tio Pedro Luis Gama Coelho (in memorian), sua Esposa Maria do Socorro Coelho (in memorian) e seus Filhos Juliana Coelho, Lucas Coelho (in memorian) e Tiago Coelho.

Aos meus irmãos Adrianna da Gama F. Vieira, Lucianna da Gama F. Vieira, José Fernandes Vieira Neto e Waleska da Gama F. Vieira.

A todos os Tios e Amigos, em atenção ao Engenheiro de Minas José Mario Coelho e Maria Zinha pelas suas orações.

RESUMO

VIEIRA, Alexandre da Gama Fernandes. Aplicação da Geoestatística na Avaliação do Comportamento dos Corpos Auríferos na Região do Vale do Piancó - PB. Campina Grande - PB, 1997. 150 p. (Dissertação) Mestrado em Engenharia de Minas. Universidade Federal da Paraíba.

A ocorrência de ouro em Cachoeiras de Minas situada no extremo sudoeste da Paraíba foi descoberta em 1864 seguida por exploração nas regiões auríferas de Pernambuco e Paraíba. O ouro concentra-se principalmente em filões de quartzo concordantes com a foliação geral das rochas encaixantes. Os filões são constituídos por quartzo branco, freqüentemente fraturado e impregnado por óxido de ferro. A amostragem sistemática realizada em forma de canal e de "chip sample" abrangeu todo veio de Farias e do Covico, principais veios portadores de metal.

Com o objetivo de analisar a continuidade na mineralização e homogenizar os dados amostrais para as estimativas, foram utilizadas as técnicas de geoestatística com as suas ferramentas. O modelamento de variogramas foram feitas considerando os efeitos de teores extremos nas amostras analisadas neste estudo. A eliminação de algumas amostras de teores altos resultou em modelos mais apropriados. Os estudos variográficos revelou a presença de estruturas na mineralização nos veios de quartzo, com o efeito pepita variando de 1,3 a 1,7, variância de dispersão de 1,5 a 2,4 e o alcance situando entre 110 e 185 m. Na validação cruzada de dados observou-se que a média estimada ficou próxima a média amostral, entretanto a diferença entre as variâncias observadas e estimadas atingiu um valor significativo. Os

modelos de variogramas elaborados mostram a influência de estruturas deformacionais e forma de veios na distribuição de metal.

Modelamento de variogramas de ouro no solo associado aos veios demonstrou a presença de estruturas com efeito pepita de 3,2 ppb, variância de 2,5 e 1.500 m de alcance. A distribuição do metal no solo é relacionada diretamente aos veios de quartzo. Os teores estimados de ouro no solo correspondem os teores amostrais mas há diferença significativa entre variância estimada e observada.

Os valores elevados de variância estimada são causados pelas as variações extremos de teores amostrais. A krigagem dos pontos é influenciada pelos teores altos resultando em a estimação exagerada de variância e teor estimado. A aplicação de co-krigagem poderá diminuir a influência de teores altos e reduzir a variância estimada de minério.

ABSTRACT

VIEIRA, Alexandre da Gama Fernandes. Aplicação da Geoestatística na Avaliação do Comportamento dos Corpos Auríferos na Região do Vale do Piancó - PB. Campina Grande - PB, 1997. 150 p. (Dissertação) Mestrado em Engenharia de Minas. Universidade Federal da Paraíba.

The gold deposit in cachoeira de Minas region situated in the southeastern part of Paraíba was discovered in 1864. The gold occurs in quartz lodes which occur parallel to the strike of the country rocks. The veins are composed of white colored fractured quartz impregnated with iron oxides. Systematic channel and chip samplings were done along the two principal quartz veins known in the region as Farias and Covico veins.

Geostatistical techniques were used to detect continuity in mineralization of gold and as well as for normalizing the data for estimating purposes. The variogram modeling was carried out taking into account the assays with very high concentrations. Elimination of some of the outliers helped in obtaining the reasonably good models. Presence of structures was observed in the variogram with nugget effect varying from 1.3 to 1.7, dispersion variance from 1.5 to 2.4 and the range falling in between 110m and 185m. In the cross validation and kriging the estimated average assay is very close to observed average assay but there was a strong difference in the estimated and observed variance. The variographic models are greatly influenced by faulting and pinching and swelling of the quartz veins.

Variogram modeling of the gold in the soil associated with the veins also show well defined structures with nugget effect of 3.2, variance of 2.5 and range of 1,500m. Gold distribution in the soil is influenced by respective veins. Estimated teors are very close to the observed teors but a strong difference in estimated and observed teors do coour.

The high estimated variance is caused by high variations in the gold content. The point kriging is biased by assays of high teors resulting in exagerated estimates. The co-kriging possibly can reduce the bias and offer good estimates for ore reserves estimativa.

ÍNDICE

	Pag.
RESUMO	
ABSTRACT	
1. INTRODUÇÃO	23
2. OBJETIVOS	28
3. JUSTIFICATIVA	29
4. REVISÃO DA LITERATURA	30
5. PREPARAÇÃO DOS DADOS	34
6. MODELAMENTO DO VARIOGRAMA	38
6.1 Generalidades	38
6.2 Modelamento do Variograma nos Veios de Quartzo de Cachoeiras de Minas	42
6.2.1 Área do Farias	43
6.2.1.1 Amostras com Zeros e Extremos	45
6.2.1.2 Amostras com Zeros e Sem Extremos	56
6.2.1.3 Valores sem Zeros e Sem Extremos	59
6.2.1.4 Valores sem Zeros e com Extremos	69
6.2.2 Área do Covico	74
6.2.2.1 Amostras com Zeros e Extremos	79
6.2.2.2 Amostras com Zeros e sem Extremos	83

6.2.2.3	Valores sem Zeros e sem Extremos	93
6.2.2.4	Valores sem Zeros e com Extremos	102
6.3	MODELAMENTO DO VARIOGRAMA NAS AMOSTRAS DE SOLO DE CACHOEIRAS DE MINAS	110
6.3.1	Região de Cachoeiras de Minas	111
6.3.2	Área do Farias	121
6.3.3	Área do Covico	133
7	DISCUSSÃO	144
8	CONCLUSÕES	158
9	BIBLIOGRAFIA	160

LISTA DE TABELA

TABELA 1 - Classificação das amostras segundo os teores, veio do Farias	46
TABELA 2 - Parâmetros da estatística básica de amostras com zero e extremos - veio do Farias	46
TABELA 3 - Parâmetros de variograma de amostras com zero e extremos com distância entre pares de 28,00 m e 25,00 m - veio do Farias	52
TABELA 4 - Parâmetros estatísticos da validação dos dados ("cross validation") de amostras com zero e extremos com h=28,00 m e h=25,00 m - veio do Farias	52
TABELA 5 - Parâmetros dos intervalos de confiança de amostras com zero e extremos com h=28,00 m e h=25,00 m - veio do Farias	53
TABELA 6 - Parâmetros da estatística básica de amostras com zero e sem extremos - veio do Farias	53
TABELA 7 - Parâmetros de variograma de amostras com zero e sem extremos com distância entre pares de 25,00 m - veio do Farias.....	61
TABELA 8 - Parâmetros estatísticos da validação dos dados ("cross validation") de amostras com zero e sem extremos com h= 25,00 m - veio do Farias	61
TABELA 9 - Parâmetros dos intervalos de confiança de amostras com zero e sem extremos com h= 25,00 m - veio do Farias	62
TABELA 10 - Parâmetros da estatística básica de amostras sem zero e sem extremos - veio do Farias	62
TABELA 11 - Parâmetros de variograma de amostras sem zero e sem extremos com distância entre pares de 34,50 m - veio do Farias	67
TABELA 12 - Parâmetros estatísticos da validação dos dados ("cross validation") de amostras sem zero e sem extremos com h = 34,50 m - veio do Farias	67

TABELA 13 - Parâmetros dos intervalos de confiança amostras sem zero e sem extremos com $h = 34,50$ m	
- veio do Farias	70
TABELA 14 - Parâmetros da estatística básica amostras sem zero e com extremos - veio do Farias	70
TABELA 15 - Parâmetros de variograma de amostras sem zero e com extremos com distância entre pares de $35,00$ m	
- veio do Farias	75
TABELA 16 - Parâmetros estatísticos da validação dos dados ("cross validation") de amostras sem zero e com extremos com $h = 35,00$ m - veio do Farias	75
TABELA 17 - Parâmetros dos intervalos de confiança de amostras sem zero e com extremos com $h = 35,00$ m	
- veio do Farias	77
TABELA 18 - Classificação das amostras segundo os teores, veio do Covico	78
TABELA 19 - Parâmetros da estatística básica de amostras com zero e extremos - veio do Covico.....	78
TABELA 20 - Parâmetros de variograma de amostras com zero e extremos com distância entre pares de $24,00$ m	
- veio do Covico	84
TABELA 21 - Parâmetros estatísticos da validação dos dados ("cross validation") de amostras com zero e extremos com $h = 24,00$ m - veio do Covico	84
TABELA 22 - Parâmetros dos intervalos de confiança amostras com zero e extremos com $h = 24,00$ m	
- veio do Covico	86
TABELA 23 - Parâmetros da estatística básica de amostras com zero e sem extremos - veio do Covico.....	86
TABELA 24 - Parâmetros de variograma de amostras com zero e sem extremos com distância entre pares de $29,00$ m	
- veio do Covico.....	92
TABELA 25 - Parâmetros estatísticos da validação dos dados ("cross validation") de amostras com zero e sem extremos com $h = 29,00$ m - veio do Covico.....	92

TABELA 26 - Parâmetros dos intervalos de confiança de amostras com zero e sem extremos com $h = 29,00$ m - veio do Covico	94
TABELA 27 - Parâmetros da estatística básica de amostras sem zero e sem extremos - veio do Covico.....	95
TABELA 28 - Parâmetros de variograma de amostras sem zero e sem extremos com distância entre pares de $30,50$ m - veio do Covico	95
TABELA 29 - Parâmetros estatísticos da validação dos dados ("cross validation") de amostras sem zero e sem extremos com $h = 29,00$ m - veio do Covico	101
TABELA 30 - Parâmetros dos intervalos de confiança de amostras sem zero e sem extremos com $h = 29,00$ m - veio do Covico	101
TABELA 31 - Parâmetros da estatística básica de amostras sem zero e com extremos - veio do Covico	103
TABELA 32 - Parâmetros de variograma de amostras sem zero e com extremos com distância entre pares de $27,00$ m - veio do Covico	103
TABELA 33 - Parâmetros estatísticos da validação dos dados ("cross validation") de amostras sem zero e com extremos com $h = 27,00$ m - veio do Covico	109
TABELA 34 - Parâmetros dos intervalos de confiança de amostras sem zero e com extremos com $h = 27,00$ m - veio do Covico	109
TABELA 35 - Parâmetros da estatística básica com amostras de solo completo	112
TABELA 36 - Parâmetros de variograma com distância entre pares de amostras de $232,54$ m - solo completo	112
TABELA 37 - Parâmetros estatísticos da validação dos dados ("cross validation") com $h = 232,54$ m - solo completo	117
TABELA 38 - Parâmetros de variograma com distância entre pares de amostras de $250,00$ m - solo completo	117

TABELA 39 - Parâmetros estatísticos da validação dos dados ("cross validation") com $h = 250,00$ m - solo completo	119
TABELA 40 - Parâmetros dos intervalos de confiança com $h = 250,00$ m - solo completo	119
TABELA 41 - Parâmetros de variograma com distância entre pares de amostras de $125,00$ m - solo completo	122
TABELA 42 - Parâmetros estatísticos da validação dos dados ("cross validation") com $h = 125,00$ m - solo completo.....	122
TABELA 43 - Parâmetros dos intervalos de confiança com $h = 125,00$ m - solo completo	123
TABELA 44 - Parâmetros da estatística básica - solo Farias	124
TABELA 45 - Parâmetros de variograma com distância entre pares de amostras de $89,50$ m - solo Farias	124
TABELA 46 - Parâmetros estatísticos da validação dos dados ("cross validation") com $h = 89,50$ m - solo Farias	130
TABELA 47 - Parâmetros de variograma com distância entre pares de amostras de $94,00$ m - solo Farias	130
TABELA 48 - Parâmetros estatísticos da validação dos dados ("cross validation") com $h = 94,00$ m - solo Farias	132
TABELA 49 - Parâmetros de variograma com alcance de $800,00$ m - solo Farias	132
TABELA 50 - Parâmetros estatísticos da validação dos dados ("cross validation") com alcance de $800,00$ m - solo Farias	134
TABELA 51 - Parâmetros da estatística básica - solo Covico	135
TABELA 52 - Parâmetros de variograma com distância entre pares de amostras de $48,00$ m - solo Covico	135
TABELA 53 - Parâmetros estatísticos da validação dos dados ("cross validation") com $h = 48,00$ m - solo Covico	141
TABELA 54 - Parâmetros de variograma com distância entre pares de amostras de $43,00$ m - solo Covico	141
TABELA 55 - Parâmetros estatísticos da validação dos dados ("cross validation") com $h = 43,00$ - solo Covico	143

TABELA 56 - Quadro de parâmetros estatísticos e variográficos do veio do Farias	145
TABELA 57 - Quadro de parâmetros estatísticos e variográficos do veio do Covico	146
TABELA 58 - Quadro de parâmetros estatísticos e variográficos do solo completo	153
TABELA 59 - Quadro de parâmetros estatísticos e variográficos do modelamento de solo do Farias	155
TABELA 60 - Quadro de parâmetros estatísticos e variográficos do Modelamento de solo do Covico	156

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Localização da área de estudo	24
FIGURA 2 - Modelo transicional	42
FIGURA 3 - Localização dos veios do Farias e Covico com mapa sem escala	44
FIGURA 4 - Histograma de frequência simples amostras com zero e extremos - veio do Farias	47
FIGURA 5 - Curva de probabilidade normal amostras com zero e extremos - veio do Farias	48
FIGURA 6 - Variograma experimental de amostras com zero e extremos com distância entre pares de 37,28 m - veio do Farias	50
FIGURA 7 - Variograma experimental de amostras com zero e extremos com distância entre pares de 28,00 m - veio do Farias	50
FIGURA 8 - Variograma teórico de amostras com zero e extremos com distância entre pares de 28,00 m - veio do Farias	51
FIGURA 9 - Variograma experimental de amostras com zero e extremos com distância entre pares de 25,00 m - veio do Farias	55
FIGURA 10 - Variograma teórico de amostras com zero e extremos com distância entre pares de 25,00 m - veio do Farias	55
FIGURA 11 - Curva de probabilidade normal com amostras sem extremos - veio do Farias	57
FIGURA 12 - Histograma de frequência simples com amostras com zero e sem extremos veio do Farias	58
FIGURA 13 - Variograma experimental de amostras com zero e sem extremos e distância entre pares de 25,00 m - veio do Farias	60
FIGURA 14 - Variograma teórico de amostras com zero e sem extremos e distância entre pares de 25,00 m - veio do Farias	60

FIGURA 15 - Histograma de frequência simples de amostras sem zero e sem extremos - veio do Farias	64
FIGURA 16 - Curva de probabilidade normal de amostras sem zero e sem extremos - veio do Farias	65
FIGURA 17 - Variograma experimental de amostras sem zero e sem extremos com distância entre pares de amostra de 37,15 m - veio do Farias	66
FIGURA 18 - Variograma experimental de amostras sem zero e sem extremos com distância entre pares de amostras de 34,50 m - veio do Farias	66
FIGURA 19 - Variograma teórico de amostras sem zero e sem extremos com distância entre pares de amostra de 34,50 m - veio do Farias	68
FIGURA 20 - Histograma de frequência simples de amostras sem zero e com extremos - veio do Farias	71
FIGURA 21 - Curva de probabilidade normal de amostras sem zero e com extremos - veio do Farias	72
FIGURA 22 - Variograma experimental de amostras sem zero e com extremos e distância entre pares de amostra de 37,15 m - veio do Farias	73
FIGURA 23 - Variograma experimental de amostras sem zero e com extremos e distância entre pares de amostra de 35,00 m - veio do Farias	73
FIGURA 24 - Variograma teórico de amostras sem zero e com extremos e distância entre pares de amostra de 35,00 m - veio do Farias	76
FIGURA 25 - Histograma de frequência simples de amostras com zero e extremos - veio do Covico	80
FIGURA 26 - Curva de probabilidade normal de amostras com zero e extremos - veio do Covico	81
FIGURA 27 - Variograma experimental de amostras com zero e extremos com distância entre pares de amostras de 42,61 m - veio do Covico	82
FIGURA 28 - Variograma experimental amostras com zero e com extremos com distância entre pares de amostras de 24,00 m - veio do Covico	82

FIGURA 29 - Variograma teórico de amostras com zero e com extremos e distância entre pares de amostras de 24,00 m - veio do Covico	85
FIGURA 30 - Histograma de frequência simples de amostras com zero e sem extremos - veio do Covico.....	87
FIGURA 31 - Curva de probabilidade normal de amostras com zero e sem extremos - veio do Covico	88
FIGURA 32 - Variograma experimental de amostras com zero e sem extremos e distância entre pares de amostras de 42,61 m - veio do Covico	90
FIGURA 33 - Variograma experimental de amostras com zero e sem extremos e distância entre pares de 29,00 m - veio do Covico	90
FIGURA 34 - Variograma teórico de amostras com zero e sem extremos e distância entre pares de amostras de 29,00 m - veio do Covico	91
FIGURA 35 - Histograma de frequência simples de amostra sem zero e sem extremo - veio do Covico	96
FIGURA 36 - Curva de probabilidade normal de amostra sem zero e sem extremo - veio do Covico	97
FIGURA 37 - Variograma experimental de amostras sem zero e sem extremos com distância entre pares de amostras de 41,15 m - veio do Covico	98
FIGURA 38 - Variograma experimental de amostras sem zero e sem extremos com distância entre pares de amostras de 29,00 m - veio do Covico	98
FIGURA 39 - Variograma teórico de amostras sem zero e sem extremos com distância entre pares de amostras de 29,00 m - veio do Covico	100
FIGURA 40 - Histograma de frequência simples de amostra sem zero e com extremo - veio do Covico	104
FIGURA 41 - Curva de probabilidade normal de amostra sem zero e com extremo - veio do Covico	105
FIGURA 42 - Variograma experimental de amostras sem zero e com extremos com distância entre pares de amostras de 41,54 m - veio do Covico	106

FIGURA 43 - Variograma experimental de amostras sem zero e com extremos e distância entre pares de amostras de 27,00 m - veio do Covico	106
FIGURA 44 - Variograma teórico de amostras sem zero e com extremos com distância entre pares de amostras de 27,00 m - veio do Covico	108
FIGURA 45 - Histograma de frequência simples - solo completo	113
FIGURA 46 - Curva de probabilidade normal - solo completo	114
FIGURA 47 - Variograma experimental com distância entre pares de amostras de 232,24 m - solo completo	115
FIGURA 48 - Variograma teórico com distância entre pares de amostras de 232,24 m - solo completo	115
FIGURA 49 - Variograma experimental com distância entre pares de amostras de 250,00 m - solo Completo	118
FIGURA 50 - Variograma teórico com distância entre pares de amostras de 250,00 m - solo Completo	118
FIGURA 51 - Variograma experimental com distância entre pares de amostras de 125,00 m - solo Completo	120
FIGURA 52 - Variograma teórico com distância entre pares de amostras de 125,00 m - solo Completo	120
FIGURA 53 - Histograma de frequência simples - solo do Farias ...	126
FIGURA 54 - Curva de probabilidade normal - solo do Farias	127
FIGURA 55 - Variograma experimental com distância entre pares de amostras de 217,73 m - solo do Farias	128
FIGURA 56 - Variograma experimental com distância entre pares de amostras de 89,50 m - solo do Farias.....	128
FIGURA 57 - Variograma teórico com distância entre pares de amostras de 89,50 m - solo do Farias.....	129
FIGURA 58 - Variograma experimental com distância entre pares de amostras de 94,00 m - solo do Farias.....	129
FIGURA 59 - Variograma teórico com distância entre pares de amostras de 94,00 m - solo do Farias.....	131
FIGURA 60 - Variograma teórico com alcance de 800,00 m - solo do Farias.....	131
FIGURA 61 - Histograma de frequência simples solo do Covico	136

FIGURA 62 - Curva de probabilidade normal solo do Covico.....	137
FIGURA 63 - Variograma experimental com distância entre pares de amostras de 185,85 m - solo do Covico.....	138
FIGURA 64 - Variograma experimental com distância entre pares de amostras de 48,00 m - solo do Covico	138
FIGURA 65 - Variograma teórico com distância entre pares de amostras de 48,00 m - solo do Covico	140
FIGURA 66 - Variograma experimental com distância entre pares de amostras de 43,00 m - solo do Covico	142
FIGURA 67 - Variograma teórico com distância entre pares de amostras de 43,00 m - solo do Covico	142
FIGURA 68 - Scatter plot de krigagem estimada x teor de ouro - veio do Farias	149
FIGURA 69 - Scatter plot de krigagem estimada x teor de ouro - veio do Covico.....	150

1 - INTRODUÇÃO

Os minerais metálicos da região de Cachoeira de Minas são conhecidos desde 1864, segundo o trabalho de Williamson do ano de 1868 (Oliveira, 1982) sobre as regiões auríferas de Pernambuco e Paraíba, especificamente as ocorrências de ouro aluvionar no Rio das Bruscas. A região situa-se próxima ao povoado de Cachoeira de Minas, ao Norte da cidade de Princesa Isabel, abrangendo parte dos municípios de Princesa Isabel e Manaíra, no extremo Sudoeste do Estado da Paraíba (Figura 1).

A região é pouco conhecida geologicamente, tendo sido alvo de visitas esporádicas por estudiosos que ali estiveram por poucos dias. O mais completo relato sobre as ocorrências de ouro encontra-se em Moraes no ano de 1924 (Oliveira, 1982) que além de mencionar os trabalhos de Williamson discute sobre a geologia do Vale do Rio das Bruscas. Refere-se também ao perfil geológico feito por Crandall, em data não citada.

Várias fases de garimpagem se sucederam, desde aquela época, envolvendo tanto a mineralização primária (veios de quartzo) como também os aluviões. Não existe registro de produção, sabe-se apenas que na década de 1940/50 o garimpo do Farias produziu alguns quilogramas de ouro através da semi-mecanização (hoje abandonadas), que beneficiou veios e filões de quartzo portadores de ouro.

Os primeiros trabalhos para prospecção dos minerais metálicos foram iniciados pela CDRM-PB/SUDENE (Oliveira, 1982) no projeto Ouro do Vale do Piancó, onde se cita a área de Cachoeira de Minas como a mais promissora.

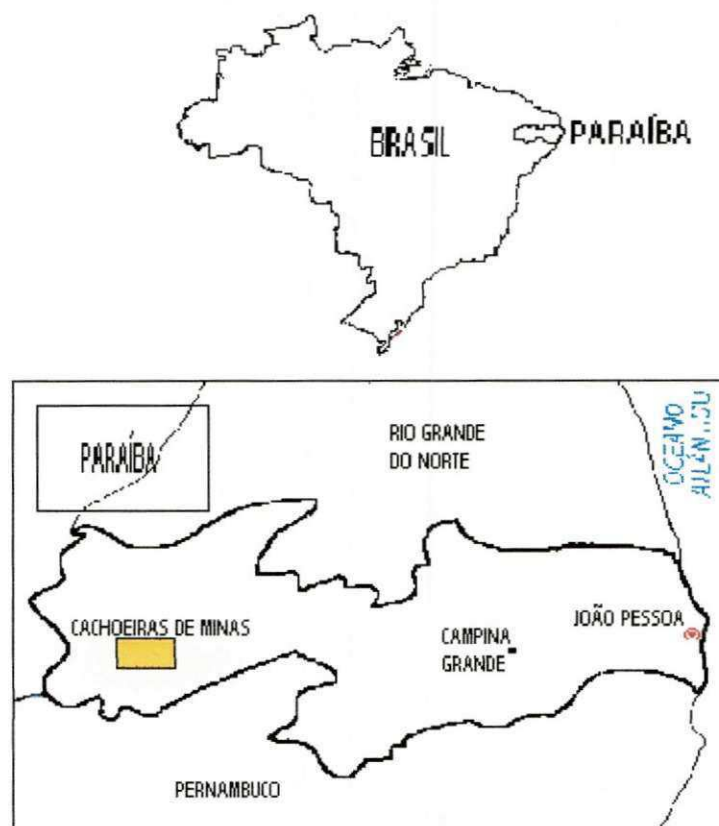


FIGURA 1 - Localização da Área de Estudo

Estudos realizados no Projeto Ouro do Vale do Piancó (Oliveira, 1982) e Pesquisa de Ouro na Região de Cachoeiras de Minas (Silva, 1989) fornecem dados básicos necessários para realizar interpretações sobre a variação de ouro utilizando o método geoestatístico desenvolvido por Matheron em 1957 à 1963 com o "Traité de Geoestatistique Appliquée".

O método geoestatístico foi desenvolvido para minimizar as possibilidades de sobrestimar ou subestimar um jazimento mineral em relação a teores e reservas, fazendo que uma jazida seja delineada com seus diversos teores, diminuindo assim os riscos na lavra.

Nas últimas duas décadas a geoestatística tornou-se cada vez mais utilizada dentro da indústria mineira, devido ser uma ciência que consegue atender a grande exigência de se obter uma quantificação dos riscos oriundos do aumento dos custos de produção. Entretanto, existe uma diferença fundamental entre a geoestatística e a estatística clássica. Na estatística clássica, as conclusões são feitas a partir das amostras sobre a população sem considerar a natureza da população em questão e são caracterizadas sempre por amostras independentes. Além disso as amostras são tratadas como sendo independentes no seu conjunto, isto é, obtêm-se uma amostra que não é afetada em consequência pela vizinha. Por sua vez na geoestatística não se é necessário que as amostras sejam independentes, ou ao contrário, este método assume que amostras sejam correlacionadas e contínuas umas com as outras espacialmente.

Uma variável que se apresente com correlação espacial é definida como variável regionalizada. A teoria das variáveis regionalizadas forma a base da geoestatística. O ponto chave da teoria das variáveis regionalizadas é o processo geológico que operou na formação das jazidas, considerado como processo aleatório. Assim, o teor num ponto qualquer é considerado como um resultado desse processo. Esta

interpretação probabilística do processo natural como um processo aleatório torna-se necessária para resolver problemas relacionados a estimativa de teor de uma jazida. Tal interpretação simplesmente é uma conceitualização da realidade e permitirá solucionar problemas práticos. Variáveis como teor de minério, espessura de uma formação geológica, altitude são alguns dos exemplos de variáveis regionalizadas. Na teoria de Matheron tais variáveis poderão ser chamadas variáveis aleatórias em parte, mais o termo regionalizada é utilizado para indicar que as variáveis são correlacionadas espacialmente até certo grau.

O teor de minério de um depósito mineral é determinado nos locais das coletas de amostras, e esses pontos onde foram feitas amostragens são limitados dentro de um campo geométrico pré - definido. Este campo geométrico pode ser compreendido em parte ou pelo todo do depósito mineral. A escolha do local onde serão definidas as dimensões do campo geométrico não é arbitrário, sua escolha depende da caracterização geológica do depósito mineral.

Nos casos dos minerais heterogêneos, onde as variáveis aleatórias se apresentam com uma continuidade mais ou menos estável em sua variação espacial, pode ser expressa através de uma flutuação mais ou menos tendenciosa em relação aos valores das amostras vizinhas. Nos casos dos minerais erráticos, esta tendência é pouco definida e não pode ser confirmada. Neste caso dizemos que estamos na presença de um efeito pepita. Em outros casos, onde os valores amostrados não possuem nenhuma dependência entre eles, estando estes valores ocasionados ao acaso, dizemos que os valores estão representados por uma aleatoriedade, ou seja, estaríamos envolvidos com uma variável aleatória. Levando em consideração que os fatores naturais não podem ser tratados como fenômenos aleatórios, surgiu a necessidade da geoestatística de encontrar novas ferramentas que possam suprir tal deficiência, surgindo assim o variograma e a krigagem.

Há necessidade de se obter uma função que os dados se apresentam com uma aparente aleatoriedade, mesmo assim existindo uma correlação entre os valores tomados em dois pontos do espaço. Esta relação expresso na dimensão e na correlação pode ser analiticamente e estatisticamente capturada em uma função conhecida como "Função Variograma" ou simplesmente "Variograma".

A krigagem se efetua através dos mesmos dados fragmentados onde será capaz de estimar com precisão, todas as predições ou estimativas feitas para os cálculos das estimativas de reservas.

Estas duas ferramentas, o variograma e a krigagem, estão diretamente ligadas a amostragem do depósito, que proporcionará diminuição no erro da estimativa dependendo das características estruturais do depósito. Podendo ser citado o exemplo dos depósitos de ouro em veios, em que as variáveis regionalizadas se apresentam de forma irregular e descontínua, necessitando maior quantidade de informações sobre o depósito para diminuir o erro cometido nas estimativas.

Estimativas obtidas por métodos convencionais de avaliação revelam que o teor médio amostrado de uma parte do depósito representa a média dos teores de todo depósito sem poder atribuir um nível de confiança a este teor médio. Com as ferramentas utilizadas pela geoestatística - variograma e krigagem- é possível fazer um melhor modelamento da jazida e se consegue ter uma definição do teor médio mais realista, como também a determinação do nível de confiança dentro da qual o teor verdadeiro se encontra. Os estudos geoestatísticos desta natureza tornam os depósitos minerais considerados anteriormente não viáveis economicamente em depósitos viáveis em termos de riscos envolvidos na exploração.

2 - OBJETIVOS

1. Estudar o comportamento de teor de ouro nos veios de quartzo na região de Cachoeiras de Minas através da geoestatística.
2. Elaborar variogramas experimentais e teóricos de ouro, nos veios e analisar efeitos de valores extremos no modelamento de variogramas.
3. Através de krigagem e validação cruzada fazer estimativa dos teores e validar os teores amostrais.
4. Pesquisar o comportamento de ouro no solo associado aos veios.

3 - JUSTIFICATIVA

Nos tempos atuais para se realizar um investimento seguro nos grandes empreendimentos mineiros, se faz necessário estudos aprofundados, onde os riscos inerentes da mineração se tornem minimizados.

A geoestatística é um método de estimação de reserva mineral e apresenta-se com o objetivo de colocar em evidência os riscos da mineração, através das mais diversas ferramentas disponíveis.

A aplicação da geoestatística nos depósitos auríferos irregulares na região de Cachoeira de Minas se torna necessário já que os depósitos são dispersos e disseminados nos veios.

Até o presente momento não se foi realizado nenhum estudo aprofundado de geoestatística na região aurífera da província da Borborema. Os resultados são bastante significativos para o entendimento dos corpos mineralizados encontrados nesta região. Este trabalho propõe o desenvolvimento de métodos geoestatísticos utilizando suas ferramentas.

4 - REVISÃO DA LITERATURA

A Geoestatística é uma ciência relativamente recente e sua teoria foi desenvolvida por um engenheiro francês George Matheron, entre 1957 e 1962 a partir da teoria das distribuições e pelos trabalhos empíricos de avaliação de depósitos minerais desenvolvidos por D. G. Krige (1954) na África do Sul. Refere-se a aplicação da teoria das variáveis regionalizadas na resolução de problemas de estimação com um alto grau de precisão na geologia e na mineração, utilizando algumas ferramentas básicas como o variograma e a krigagem. Os primeiros trabalhos que fundamentaram a geoestatística estão expressos em dois volumes *Traité de Geostatistics*, por Matheron (1962, 1963). Carlier (1964), Serra (1967) e Marechal (1970) estão entre os primeiros a aplicar a geoestatística para resolver problemas referentes a mineração na comunidade acadêmica.

O primeiro livro texto publicado em Russo foi no ano de 1968 (segundo M. David, 1977) e só após nove anos surgiu o primeiro livro em inglês, publicado em 1977 por M. David. Todas as técnicas de geoestatística e suas aplicações são bem detalhadas no livro de Isaaks e Srivastava (1989).

A utilização da geoestatística em projetos minerais, atribuem-se a diversos autores como A. Journel e Ch. Huijbregts, em uma jazida de chumbo-zinco de Salafossa (1974), com o objetivo de demonstrar a importância do variograma como ferramenta auxiliar na caracterização de certas feições geológicas de um depósito mineral.

Ajustes de modelos teóricos a variogramas experimentais em teores de óleo em areias betuminosas foi demonstrado por P. A. Dowd em 1977, caracterizados ou não pela presença de patamar e pelo

comportamento na origem a partir dos dados experimentais. Os modelos escolhidos para o ajuste ficou entre o modelo esférico e o exponencial, onde a partir das propriedades teóricas dos mesmos optou-se pelo variograma esférico na confecção do variograma teórico.

A. Journel e Ch. Huijbregts (1978), descreveram num estudo de anisotropia em jazidas de ferro do tipo itabirítico na Mauritânia-Libéria-Guiné (Africa Ocidental) como a estatística elementar pode refletir a existência de populações diferentes e mostrar como o variograma pode refletir as hipóteses geológicas existentes.

Clark (1979), construiu variogramas experimentais em distintas direções para a análise da anisotropia e ajuste de modelos lineares, numa jazida estratiforme de ferro. Trata-se de um problema em duas dimensões e pede-se construir variogramas em distintas direções. Em um outro exemplo em um veio de cassiterita, Clark mostrou a importância do intervalo de amostragem na interpretação dos variogramas experimentais.

O assunto de obter medidas práticas de incerteza a partir de variância de krigagem é amplamente discutido nos Trabalhos de Crozel & David, 1985; Buxton, 1989; Dowd, 1989.

A variância de krigagem é função de configuração de amostras e o variograma, respectivamente. A única relação entre variância de krigagem e os dados observa-se no variograma cuja natureza é mais global do que local na sua definição (Henley, 1987).

É conhecido de que as informações geológicas não são muito precisas devido problemas inerentes. Segundo Bardossy et al (1989) a combinação de informação geológica imprecisa com os resultados de krigagem resultam em uma estimativa da reserva mais aceitável e se encaixa bem as condições geológicas observadas.

O método de estimação de reservas sofrem bastante por influência de controle geológicos. No caso de ouro de origem epitermal o sistema de falhamentos e fraturas controladores de depósito produzem redução de teor no sentido perpendicular a falha e com o teor sendo constante ao longo da falha (Champigny & Armstrong, 1989). Com objetivo de achar um método de krigagem aplicável para esta situação Champigny & Armstrong analisaram quatro métodos de krigagem: (1) estimador de krigagem ordinária, (2) krigagem ordinária estimador com domínio delimitador, (3) krigagem lognormal com estimativa na direção da falha através dos modelos esféricos paralela a falha, e (4) krigagem lognormal com estimador na direção da falha através de variograma linear perpendicular a falha e modelo de variograma esférico paralelo a falha. Entre os quatro métodos o de krigagem ordinária(1) e krigagem lognormal (4) oferecem melhor estimativa de teor amostral de ouro de origem epitermal.

Os dados heteroscedásticos nos quais as amostras tendem a se agrupar preferencialmente nas áreas de teores altos, os variogramas tradicionais não são adequados para caracterizar a continuidade espacial (Srivastava & Parker, 1989). No seu lugar variogramas relativos produzem resultados interpretáveis e exatos. Ainda nesses casos correlograma ou variograma relativa é mais apropriado devido o cálculo de medida de dispersão e a variância obtida diretamente do valores amostrais.

Souza (1990) mostra que o variograma é usado para descrever uma correlação espacial entre teores (ou uma outra característica como a espessura de minério) em um depósito mineral. Segundo Garcia (1988) o variograma é uma ferramenta matemática que permite estudar a dispersão natural das variáveis regionalizadas e que em nosso caso representa o grau de continuidade da mineralização.

Segundo Nery (1996), a geoestatística é um ramo da ciência que estuda os fenômenos espaciais ou temporais com algum grau de

correlação. Sendo uma ferramenta auxiliar das geociências, permite tornar a geologia mais objetiva e analítica. Ainda segundo Nery, a geoestatística oferece duas vantagens sobre os métodos convencionais, o de se obter melhor os resultados possíveis de informações a partir das amostras disponíveis e o de permitir avaliar o nível de confiança da estimativa.

Diversos fatores geológicos governam um depósito mineral e tem papel importante no cálculo e/ou estimativa de reserva. O critério de classificação de reserva mineral baseada na variância de krigagem não leva em consideração o risco envolvido na interpretação geológica de limites de jazida mineral (Amorim & Ribeiro, 1996). O trabalho de Amorim e Ribeiro apresenta uma técnica simples através de krigagem indicador ("Indicator kriging") que permite adquirir um "Risk Index" (indicador de risco) baseada na distribuição de amostras bem como características geométricas de jazida mineral. O indicador de risco pode ser aplicado na classificação de reserva mineira e oferece o apoio as decisões práticas para minimizar o risco envolvido na interpretação geológica errônea.

A variância de krigagem como um indicador de incerteza em relação ao valor estimado por krigagem não é reconhecida amplamente. Isso porque primeiro, a variância de krigagem para os blocos não é independente e não há como integrar os dois. A variância de krigagem é independente do valor que está sendo estimado. Para solucionar em parte este problema Adisoma & Hester (1996) elaborou uma técnica chamada "Jack-Knife block kriging". A técnica permite introduzir um novo estimador "Jack Knife" de krigagem e utilizando a variância de "Jack Knife" poderá ser calculada um intervalo de confiança para estimativa de teor-reserva (reserve-grade estimate). A variância de "Jack Knife" representa a verdadeira variabilidade dos dados e ainda o método define o nível de confiança para estimação global de reservas.

5 - PREPARAÇÃO DOS DADOS

O primeiro trabalho técnico realizado na região de Cachoeiras de Minas é creditado ao Engenheiro Inglês E. Williamson, que em 1866 estudou as principais ocorrências de ouro naquela região. Este trabalho foi publicado posteriormente numa monografia conhecida no Brasil em 1904 na Revista do Instituto Archeológico e Geográfico Pernambucano sobre ocorrência de ouro na região. No seu trabalho Williamson descreve os veios conhecidos na época, citando suas principais características geológicas e mineralógicas.

Em 1924 o geólogo Luciano Jacques de Moraes visitou aquela região e reconheceu "in loco" os corpos auríferos lá existentes, publicando seus estudos no trabalho denominado Serras e Montanhas do Nordeste, no mesmo ano.

A fase de estudos mais recentes foi iniciada em 1981 pela CDRM/PB, quando da realização do Projeto Ouro do Vale do Piancó, na qual foi destacado o setor aurífero de Cachoeira de Minas por meio de prospecção geoquímica, prospecção geológica e mapeamento geológico. Neste trabalho salientaram-se os antigos garimpos do Farias e Covico onde a CDRM/PB viria a concentrar seus trabalhos de pesquisa detalhada. Dois anos depois as pesquisas de ouro prosseguiram naquela região, com a execução do Projeto Ouro de Cachoeiras de Minas, pela CDRM/PB, quando foram realizados serviços de semi-detalhe em uma área de 70 Km² e de detalhe na área do antigo garimpo do Farias e em parte da área do garimpo do Covico. A conclusão dos trabalhos de pesquisa na área do garimpo do Covico aconteceu em junho de 1986, com a realização do Projeto Ouro Princesa Isabel, em convênio CDRM/PB e SUDENE.

A área de estudo da dissertação situa-se na porção central da Região de dobramentos do Nordeste ou Província da Borborema

especificamente no domínio transnordestino composta, principalmente, pelos grupos Salgueiros, Cachoeirinhas e Complexos Gnáissico-migmatítico (Almeida, 1967). A província da Borborema é resultante do evento tectono-orogênico, desencadeado no Proterozóico Médio a Superior. O grupo Cachoeirinhas é caracterizado por filitos, metagrauvas, folhelhos, metassilitos, ardósias e metavulcânicas dacíticas. Os principais alinhamentos estruturais possuem direção NE-SW.

A metodologia utilizada para os trabalhos de pesquisa no Projeto Ouro na Região de Cachoeirinhas iniciou-se com a pesquisa e análise bibliográficas, fotointerpretação na escala de 1:25.000, obtidas em 1982 pela Esteio - Engenharia e Aerolevantamentos S. A. para o INCRA, e preparação de mapas bases na escala de 1:10.000. Prosseguindo os trabalhos de pesquisa, elaborou-se a abertura de uma malha topográfica e implantação dos sistemas de coordenadas. No leito do riacho Bruscas, onde este intercepta o veio do Farias, foi colocado um marco com a cota arbitrária de 1000 m e coordenadas 5000N e 5000E. Este marco arbitrário é o ponto de amarração para os demais levantamentos topográficos de detalhes realizados na área, localização das trincheiras e dos locais das amostras, geoquímica de solo e mapeamento geológico detalhado.

Os antigos garimpos foram desobstruídos para a realização de amostragem e mapeamento, e ao longo dos veios aflorantes e mineralizados foram abertas trincheiras manualmente transversais e longitudinais. Todas as escavações foram codificadas, piquetadas, mapeadas na escala de 1:50 e identificadas no sistema de coordenadas. A metodologia utilizada para amostragem é a de amostra de canal sistemática e a amostra do tipo "chip sample" que foi utilizada ao redor da amostragem de canal.

Na prospecção geoquímica por concentrado de bateia, utilizaram-se amostras de 20 kg que depois de bateadas até aproximadamente 100g, foram examinadas com lupa para a contagem. As amostragens foram realizadas ao longo de linhas espaçadas de 500m aproximadamente, com coletas de amostras a cada 20m, resultando em um total de 4.473 (quatro mil quatrocentos e setenta e três) amostras coletadas.

No presente estudo as áreas foram separadas em três partes distintas para análise. As duas áreas são: área do Farias com 83 amostras de trincheiras e a área do Covico com 48 amostras de trincheiras. Na terceira área os dados são obtidos de pesquisa de solo com 571 amostras distribuídas de forma aleatória na área de ocorrência do minério de ouro.

A aplicação da geoestatística na região de Cachoeiras de Minas utilizando as técnicas de variogramas e krigagens é pioneira e caracteriza-se por ser um novo método de detectar o comportamento do minério e estimação de reserva.

Para a realização da análise do variograma é necessário que os valores amostrais apresentem-se de forma espacial, com as coordenadas geográficas de cada amostra definidas com seu respectivo teor na área de estudo. Com este objetivo traçou-se mapas com as coordenadas Norte e Leste nas áreas do Farias, Covico e do dados de solo, assim colocando as amostras com seus teores em duas dimensões.

Com os teores expressos em uma planilha de dados com respectivas coordenadas e teores amostrais, efetuou-se o estudo do variograma e da krigagem, utilizando o Geostatistical Environmental Assessment Software (GEO-EAS). O programa é um software de domínio público e foi desenvolvido pela Enviromental Monitoring Systems Laboratory Office of Research and Development e U. S.

Environmental Protection Agency Las Vegas, Nevada em setembro de 1988.

O GEO-EAS é uma coleção de programas interativos, do qual fazem parte os programas PREVAR, VARIO, STAT1, XVALID, KRIGE, CONREC, POSTPLOT, entre outros, nos quais são tratados todas as análises da geoestatística dos dados com distribuição espacial em duas dimensões. O sistema foi designado para ser executado sob o Disk Operating System (DOS), requerendo um equipamento com 640 Kb de memória RAM (Random Access Memory), com espaço de três megabytes no disco rígido e que possua monitor colorido. O equipamento utilizado para este estudo é um 486-DX2, com um disco Rígido de 540 Megabytes, monitor de quatorze polegadas SVGA, 16 Mb de memória e o sistema operacional utilizado é o DOS do Windows-95.

6 - MODELAMENTO DO VARIOGRAMA

6.1 - Generalidades

O comportamento de uma variável no espaço tem significado fundamental no estudo dos depósitos minerais. A importância da variabilidade pode ser observada quando se trata da estrutura geológica do depósito e das estimativas de reservas, que são de grande importância na exploração dos jazimentos minerais. A noção sobre a variabilidade mostra que estas variáveis fornecem uma base para planejar e desenvolver uma mina, considerando planos de ações compreendidos num determinado intervalo de confiança que permite analisar e quantificar os riscos inerentes a estas avaliações.

O conceito das variáveis regionalizadas, que serve como base da geoestatística, é entendido como uma função que varia num determinado espaço possuindo uma aparente continuidade. A continuidade atribuída às variáveis regionalizadas, caracteriza-se pela tomada de dois pontos amostrais, estando os dois pontos mais próximos tornando-se mais confiáveis. Teores, espessuras de corpos geológicos e profundidades de horizontes geológicos são alguns dos exemplos de variáveis regionalizadas. As características das variáveis regionalizadas são a aleatoriedade e a espacialidade. Na aleatoriedade, observa-se que os atributos podem variar de um ponto a outro no espaço sem dependência entre si. No fator espacial, os atributos, mesmo apresentando variações dentro do espaço, não são inteiramente independentes. As variáveis regionalizadas possuem características qualitativas, ligadas à estrutura natural, que são definidas pela localização, continuidade e anisotropia.

A correlação espacial das variáveis regionalizadas pode ser descrita pelo método da função conhecida como variograma. O variograma é a medida da correlação espacial entre as amostras

contínuas de uma variável regionalizada. O variograma é uma das principais ferramentas básica da geoestatística, por razão de que ele fornece o comportamento de um depósito mineral no espaço. A geoestatística fornece muitas outras ferramentas básicas tais como variância de bloco, estimação de variância e simulação condicional de um depósito mineral (Kim, 1988).

O cálculo do variograma é realizado a partir de uma ou mais variáveis obtidas das amostras de sondagens, solos, trincheiras, sedimentos de correntes, e outros. Há três tipos de variogramas: o variograma observado ou experimental, o variograma teórico e o variograma verdadeiro. O variograma experimental é obtido a partir de um conjunto de amostras em um depósito mineral é caracterizado como o único conhecido. O objetivo básico do variograma experimental é tentar retratar através de estudos variográficos (estrutural), qual é o modelo do variograma teórico que se ajusta ao experimental, de tal modo que se possam obter conclusões em relação ao variograma verdadeiro.

O variograma experimental é expresso pela seguinte fórmula matemática:

$$2\gamma(h) = 1/n(h) \sum_{i=1}^{n(h)} [X(z_i) - X(z_i + h)]^2$$

onde,

- ♦ $n(h)$ total de N^{os} de pares separados por uma distância de vetor h .
- ♦ $X(z_i)$ é a variável regionalizada.
- ♦ $X(z_i + h)$ é o valor da variável no ponto $z_i + h$
- ♦ $2\gamma(h)$ é a variância.

A função $2\gamma(h)$ é dependente do vetor h , ou seja, a distância h entre um ponto x e um outro ponto vizinho $(x + h)$, numa direção ao longo do qual o cálculo do variograma é computado.

O variograma possui as seguintes propriedades:

$$\gamma(h) = \gamma(-h) \text{ (simetria)}$$

$$\gamma(0) = 0, \gamma(h) \geq 0 \text{ (Positividade)}$$

A notação $2\gamma(h)$ é usada para definir o variograma. Uma distinção deve ser feita na diferenciação de variogramas: o variograma é denotado por $2\gamma(h)$, e o semi-variograma por $\gamma(h)$, sendo este mais popularmente conhecido como variograma. O acompanhamento destas duas classificações nesta tese se dará na forma comumente utilizada, ou seja o valor $\gamma(h)$ para definir o variograma.

O variograma teórico é definido por, M. David (1977):

$$2\gamma(h) = E [z(x) - z(x+h)]^2 = 1/V \int_V [z(x) - z(x+h)]^2 dx$$

onde,

V = volume

h = Distância entre pares de amostras

Esta integral é calculada sobre um domínio de um campo finito, envolvendo um infinito número de pares. O cálculo deste variograma obviamente não pode ser feito na prática.

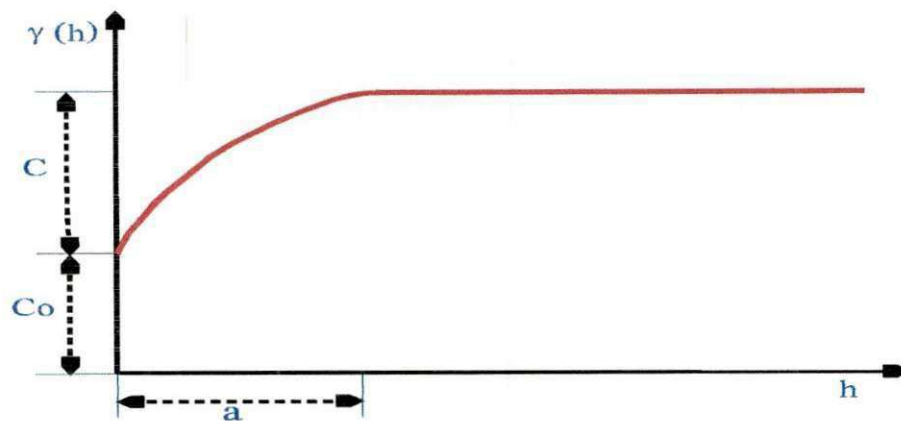
Os modelos teóricos mais práticos que se utilizam na confecção de variogramas são os variogramas esféricos, variograma exponencial e o variograma de Gauss. O variograma esférico é caracterizado por representar feições transitórias, apresentando um crescimento rápido na origem, e seus teores se apresentam correlacionados mesmo sendo independentes. O variograma de Gauss e o exponencial possuem a característica principal de alcançar seu patamar assintoticamente.

As principais características estruturais de modelos transicionais são : efeito pepita (nugget), a variância de dispersão, o seu patamar (sill) e o alcance (range). O efeito pepita representa as variações locais ou a variabilidade microscópica, aparecendo sempre na origem com uma certa descontinuidade (Figura 2). A variância de dispersão representa a variabilidade estrutural do depósito. O patamar corresponde ao valor da variância total da variável em estudo. O alcance define a distância de influência de uma amostra no depósito mineral. Segundo Journel (1978), "variogramas caracterizados pelo valor de patamar e um valor de alcance são conhecidos como fenômenos de transição".

Através da demarcação das coordenadas geográficas de cada amostra e os seus respectivos teores de ouro, elaborou-se uma planilha contendo as coordenadas geográficas e o respectivo teor, que serviu de base para a execução do programa computacional "Geostatistical Environmental Assessment Software" , GEO-EAS). O GEO-EAS é uma coleção interativa de ferramentas de software contendo treze programas, desenvolvidos por Englund e Sparks (1988) para efetuar análise geoestatística em duas dimensões de dados distribuídos espacialmente e contornos de mapas de krigagem. Outras funções encontradas no GEO-EAS incluem preparação de dados, elaboração de mapas, estatística de uma só variável, variogramas, entre outros.

Na análise da estatística básica do teor de ouro das amostras de Cachoeiras de Minas, confeccionado o histograma, o qual demonstrou presença de assimetria positiva, com alto grau de curtose caracterizando o modelo logarítmico. Os modelos logarítmicos de Wijs foram os primeiros a serem estudados exaustivamente em depósito de ouro (D.G.Krige, 1951,

G. Matheron, 1952-1962, Ph Formery e G. Matheron 1963, A. Cartier, 1964). Até 1966 foi o único modelo usado. Este modelo foi abandonado e substituído por uma combinação linear de variogramas esféricos sendo que o mesmo é corretamente estimado (Garcia, 1988).



Onde :
 C - Variância de Dispersão
 C₀ - Efeito Pepita
 C + C₀ = Patamar
 a = Alcance

Figura 2 - Modelo transicional

6.2 - Modelamento do Variograma nos Veios de Quartzo de Cachoeiras de Minas.

No cálculo do variograma experimental de uma variável regionalizada, faz-se necessário eliminar os altos valores existentes, conhecidos como efeito pepita, para alcançar um modelo realístico. A importância das amostras de teores zero, observados nas amostras de Cachoeiras de Minas, na elaboração de variograma é demonstrado neste estudo.

A confecção dos variogramas se procede variando a distância entre os pares de amostras e o ângulo de tolerância para conseguir um modelo apropriado. O variograma esférico é o modelo escolhido para confeccionar a estrutura dos corpos minerais em estudo na região de Cachoeiras de Minas, por apresentar modelos transicionais com patamar, variância de dispersão, efeito pepita e alcance. Durante a confecção do variograma teórico foram realizados os seguintes procedimentos: a partir dos três primeiros pontos do variograma experimental estabeleceu-se uma tangente a curva média original, assim obtendo o valor de efeito pepita no variograma. O segundo procedimento, foi para verificar a estabilização do variograma no seu patamar, onde a fórmula matemática $C_0 + C$ fornece o valor do patamar. No cálculo do alcance utilizou-se a expressão matemática $h = 2/3 a$, onde h é o valor anterior a interseção da tangente no patamar (Journel, 1977).

O modelamento dos variogramas na região de Cachoeiras de Minas foi executado sobre dois tipos de dados obtidos da área de Cachoeiras de Minas:

- I) Veios principais de quartzo mineralizado no ouro (setor Farias metavulcânico e setor Covico metassedimentar);
- II) Ouro no solo do setor de Cachoeiras de Minas.

6.2.1 - Área do Farias

A extensão do veio do Farias, em toda a sua zona de ocorrência, é superior aos 800 m, com a espessura variando de 0,1 m. a 1,4 m (área de estudo). A direção média do veio é de 40° nordeste, com seu mergulho variando entre 60° a 80° para Sudeste e aflorando cerca de 80 m (Figura 3). As discontinuidades observadas do veio podem ser

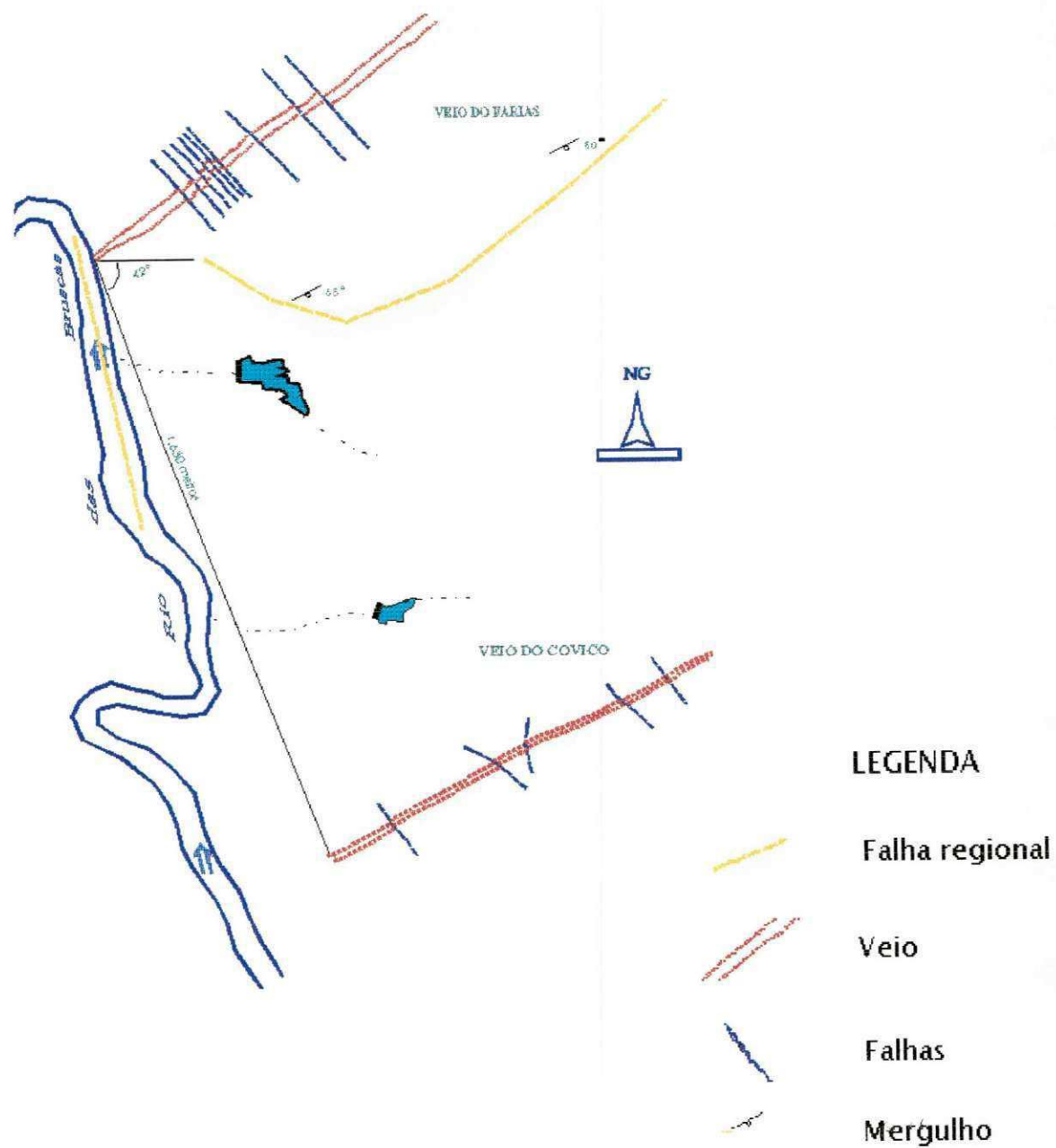


FIGURA 3 - Localização dos veios do Farias e Covico com mapa sem escala.

atribuídas aos falhamentos, cisalhamentos e boudinagem. As amostras foram coletadas a partir de trincheiras abertas no sentido perpendicular e menos freqüentemente paralela ao veio. Foram retiradas 83 amostras de canais ao longo do corpo sendo analisados os teores de ouro. Todas as amostras foram localizadas em mapas topográficos, na escala 1:1.000 com os locais de amostragens plotados a partir de um linha base (Silva, 1989).

As amostras foram divididas em 4 classes baseadas na variação do teor de ouro no quartzo (Tabela 1). As classes resultaram por causa de inclusão e/ou eliminação de zeros e valores extremos durante a confecção dos variogramas. O efeito de inclusão e/ou eliminação de teores zeros e extremos nos variogramas e na captação de estruturas de depósito foi pesquisado detalhadamente.

6.2.1.1 - Amostras com Zeros e Extremos

Na análise estatística de 83 amostras pesquisadas nos quais há 18 amostras de teor zero, constatou-se que a média do teor é de 10,7 g/t com a variância de 482,15 (Tabela 2). O coeficiente de variação de 204,95% é relativamente alto, mas normal em minerais erráticos como o ouro (Koch e Link, 1971). O histograma de freqüência apresenta varias modas (multi-modal), com alguns espaçamentos entre as modas devido a ausências das amostras desses teores; a sua assimetria é positiva (logarítmica) de valor 3,00 e a curtose bastante elevada com valor 12,23, caracterizando como leptocúrtica (curtose > 3) (Figura 4). Na curva de probabilidade normal nota-se agrupamentos das amostras até o valor acima de 40 g/t, onde 4 valores extremos, que podem ser considerados como um possível efeito pepita, são bem marcantes (Figura 5).

TABELA 1 - Classificação das amostras segundo os teores, veio do Farias.

DESCRIÇÃO	FAIXA (g/t)	COMENTÁRIOS
I - Todos os dados	$0 \leq \text{TEOR} \leq 111,34$	- Todos os teores abaixo de 111,34 g/ton.
II - Sem efeito pepita	$0 \leq \text{TEOR} \leq 46,60$	- Todos os teores abaixo de 46,60 g/ton.
III - Todos os valores sem teores zero	$0 < \text{TEOR} \leq 111,34$	- Todos os teores abaixo de 111,34 g/ton. e acima de zero.
IV - Sem o Efeito pepita e sem zero	$0 < \text{TEOR} \leq 46,60$	- Teores sem o efeito pepita e acima de zero.

TABELA 2 - Parâmetros da estatística básica de amostras com zero e extremos - *Veio do Farias*

Teores	Média	Variância	Coefficiente de Variação	Assimetria	Curtose	Nº de Amostras
$0 \leq \text{teor} \leq 115$	10,71	482,15	204,95	3,00	12,25	83

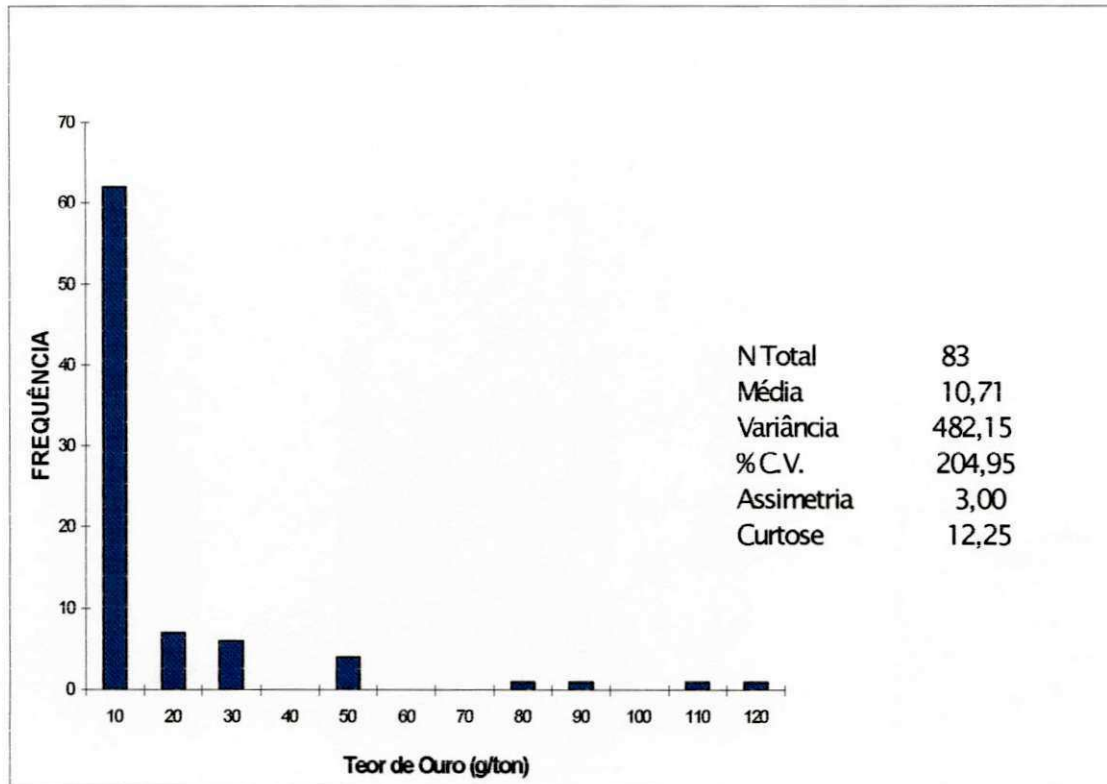


FIGURA 4 - Histograma de frequência simples amostras com zero e extremos - veio do Farias

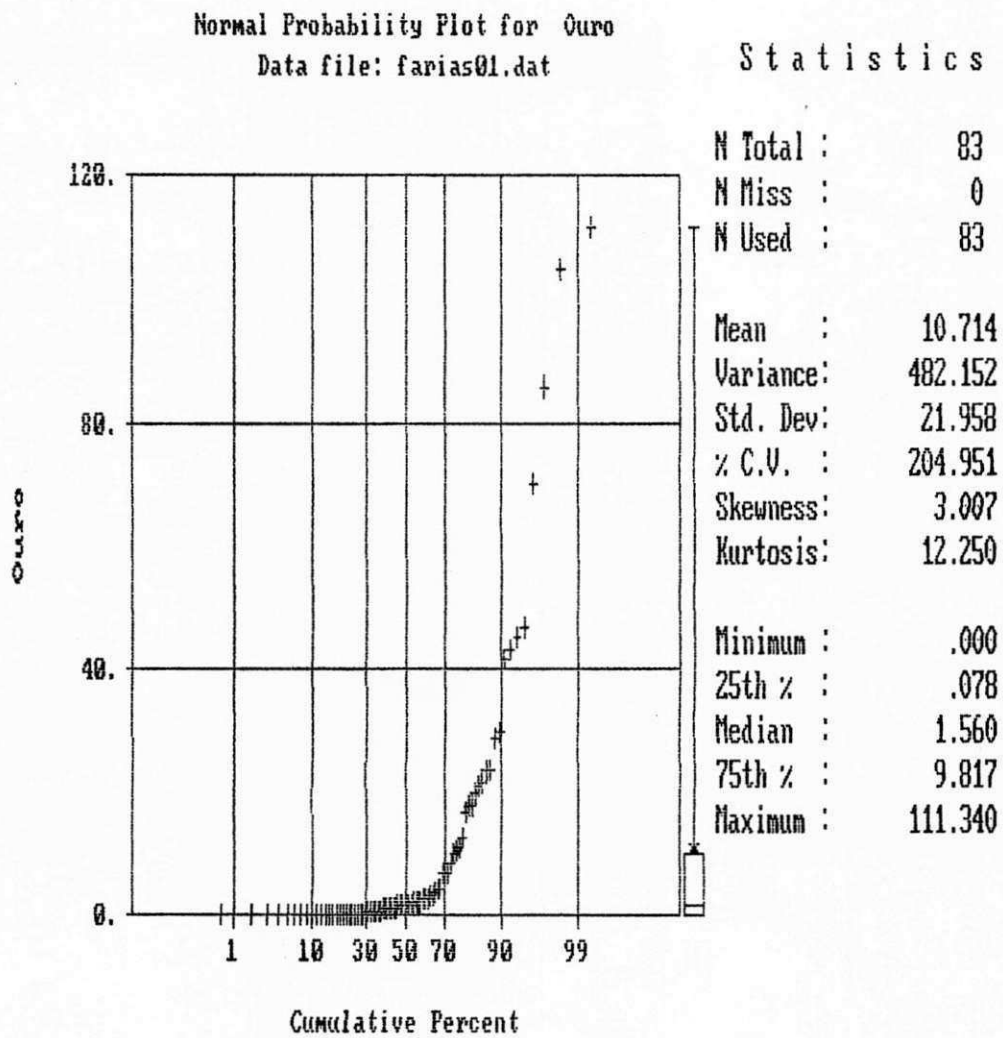
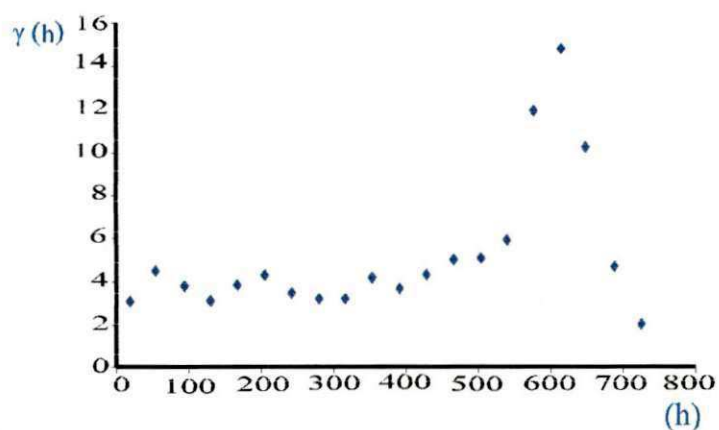


FIGURA 5 - Curva de probabilidade normal amostras com zero e extremos
- veio do Farias

O primeiro variograma experimental é elaborado com ângulo de tolerância de 90° com a distância entre os pares de amostras definidos em 37,28 m, para observar o comportamento do variograma médio e a presença de estrutura. O variograma apresenta uma estrutura pouco definida com um alto grau de efeito buraco (hole effect), conhecido como "dentes de serra". (Figura 6)

Para melhorar a estrutura, um segundo variograma experimental é confeccionado com ângulo de tolerância de 30° , direção de 165° e distância entre os pares de amostras de 28 m (Figura 7). A largura do veio é pequena e aflora numa direção constante de 165° . Optou-se por uma direção de 165° e ângulo de tolerância de 30° para o variograma, o que resultou na inclusão de maior números de pares de amostras no cálculo de variograma. A presença de uma estrutura torna evidente, mesmo assim não pode ser considerada como um variograma definitivo (Figura 8). No cálculo do alcance o resultado encontrado foi igual a 70 m e a tangente resultante dos primeiros pontos indicam um efeito pepita igual a 2,50 e a variância de dispersão 1,80 (Tabela 3). Foi ajustado um variograma teórico a partir da estrutura encontrada, utilizando os valores de alcance, efeito pepita e variância de dispersão.

O variograma teórico foi analisado pela validação dos dados observados. Os valores encontrados na validação são a média estimada de 7,35 g/t e variância de 64,81, assim ficando abaixo da média amostral de 10,71 g/t e variância amostral de 482,15. A diferença entre as médias dos teores observados e estimados é representada pela média do erro de 3,35 e a variância do erro que alcançou 503,73 (Tabela 4). Num intervalo de confiança de 95% o resultado encontrado do z-score igual a 1,776, é pouco abaixo do valor tabelado 1,96, demonstrando que a média observada não pode ser considerada igual a média esperada com muita confiança (Tabela 5).



Distância entre Pares : 37,28 m

Número de Pares : 3403

Direção : $0,0^{\circ}$

Ângulo de Tolcrância : 90°

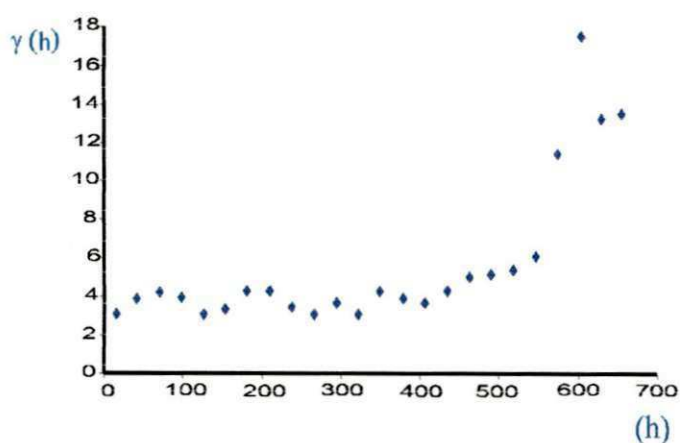
Teor Mínimo : 0,0 g/ton

Teor Máximo : 111,34 g/ton

Média : 10,71 g/ton

Variância : 476,34

FIGURA 6 - Variograma experimental de amostras com zero e extremos com distância entre pares de 37,28 m - Veio do Farias



Distância entre Pares : 28,00 m

Número de Pares : 3302

Direção : 165°

Ângulo de Tolcrância : 30°

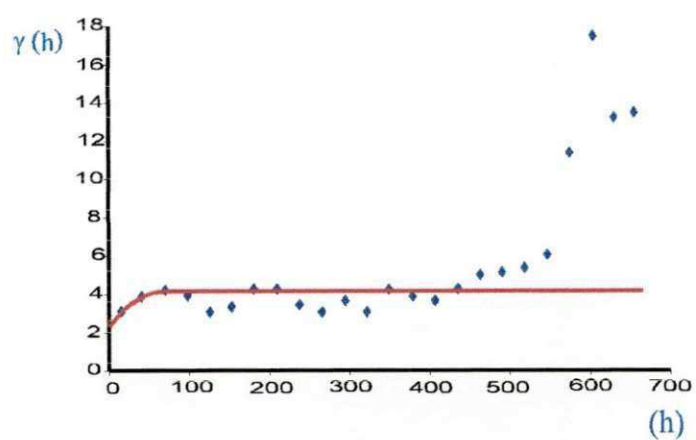
Teor Mínimo : 0,0 g/ton

Teor Máximo : 111,34 g/ton

Média : 10,71 g/ton

Variância : 476,34

FIGURA 7 - Variograma experimental de amostras com zero e extremos com distância entre pares de amostras de 28,00 m - veio do Farias



Distância entre Pares : 28,00 m
Número de Pares : 3302
Direção : 165°
Ângulo de Tolerância : 30°

Teor Mínimo : 0,0 g/ton
Teor Máximo : 111,34 g/ton
Média : 10,71 g/ton
Variância : 476,34

FIGURA 8 - Variograma teórico de amostras com zero e extremos com distância entre pares de 28,00 m - veio do Farias

TABELA 3 - Parâmetros de variograma de amostras com zero e extremos com distância entre pares de 28,00 m e 25,00 m - veio do Farias.

Teores	Co (Efeito Pepita)	C1 (Variância)	A (Alcance)	Co+C1 (Patamar)	Co/C	Nº Amostras	Distância entre pares de amostras
$0 \leq \text{teor} \leq 115$	2,5	1,8	70,0	4,3	0,58	83	28,00
$0 \leq \text{teor} \leq 115$	3,0	1,0	112,50	4,0	0,75	83	25,00

TABELA 4 - Parâmetros estatísticos da validação dos dados ("cross validation") de amostras com zero e extremos com h=28,00 m e h=25,00 m - veio do Farias .

Distância entre pares de amostras	Média Observada	Variância Observada	Média Estimada	Variância Estimada	Média Erro	Variância Erro	Média de Variância de Krigagem
h = 28 m	10,71	481,80	7,35	64,80	-3,35	503,73	3,33
h = 25 m	10,71	481,80	10,62	44,48	0,88	464,35	3,49

TABELA 5 - Parâmetros dos intervalos de confiança de amostras com zero e extremos com $h=28,00$ m e $h=25,00$ m - veio do Farias

Distância entre pares de amostras	z-score	Intervalo de Confiança 95%	Intervalo de Confiança 99%
$h = 28$ m	1,776	1,96	2,57
$h = 25$ m	0,32	1,96	2,57

TABELA 6 - Parâmetros da estatística básica de amostras com zero e sem extremos - veio do Farias

Teores	Média	Variância	C. V. %	Assimetria	Curtose	N ^o de Amostras
$0 \leq \text{teor} \leq 50$	6,54	128,64	173,22	2,14	6,91	79

O ouro sendo um minério errático, a sua lavra é efetuada com teor de corte definido em 0,3 g/t (Nery, 1996). A análise resultou com a média e a variância do erro amostral elevados. Para reduzir a média do erro, variância do erro e a variância de krigagem ao nível de confiança de 95%, foi necessário modelar o variograma experimental considerando os efeitos causados pelos valores extremos (efeito pepita), a distância entre os pares de amostras, o ângulo de direção da estrutura (anisotropia) e o ângulo de tolerância. Para que um modelo teórico de variograma seja aceitável é necessário diminuir a variância do erro (503,73) e aproximá-lo quanto mais possível à média de variância de krigagem (3,49). A aproximação dessas duas variáveis demonstra que está sendo conseguido um modelo teórico adequado.

No terceiro variograma experimental foi mantido o número de amostras, a direção e o ângulo de tolerância constante, variando somente a distância entre os pares de 28,0 m para 25,0 m (Figura 9). O variograma demonstra a presença de uma outra estrutura muito semelhante ao anterior ($h=28$ m) e mais uniforme, cujos resultados levam a concluir que esta nova estrutura com a distância entre pares de 25,0 m é relativamente melhor do que $h=28$ m. O variograma teórico calculado a partir desse modelo tem efeito pepita de 3,0, variância de dispersão de 1,0 e o alcance de 112,50 m (Figura 10). A média estimada de 10,62 g/t é próxima da média amostral de 10,71 g/t e a variância estimada e a variância do erro diminuíram para 44,48 e 464,35 respectivamente (Tabela 4). A média de variância de krigagem de 3,49, é maior que o do variograma anterior (3,33), contudo a diferença entre a variância do erro e a média de variância de krigagem reduziu-se, sendo assim um bom indicativo para a escolha final do variograma.

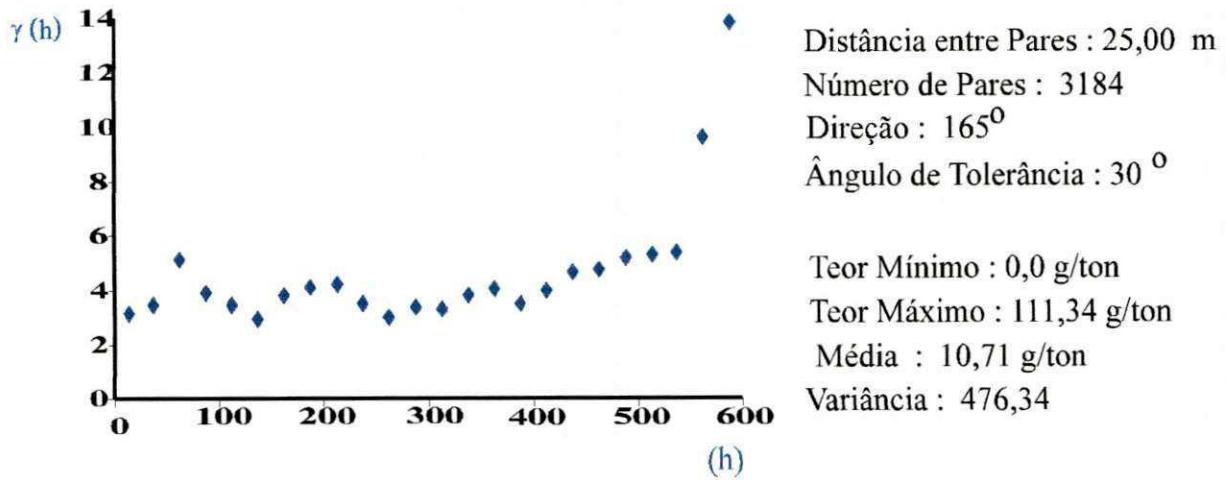


FIGURA 9 - Variograma experimental de amostras com zero e extremos com distância entre pares de 25,00 m - veio do Farias

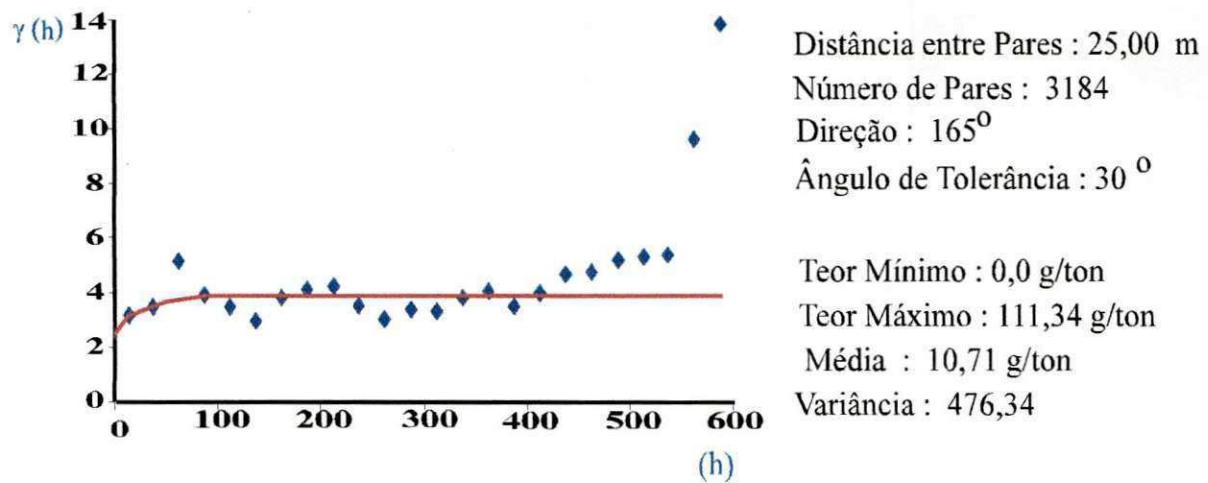


FIGURA 10 - Variograma teórico de amostras com zero e extremos com distância entre pares de 25,00 m - veio do Farias

6.2.1.2 - Amostras com Zeros e sem Extremos

Na segunda fase das análises os valores que apresentaram teores elevados caracterizado como efeito pepita ou extremos, são eliminados para a confecção do variograma teórico, o que não foi considerado na primeira fase. O objetivo é conseguir um variograma que apresente uma estrutura mais aprimorada, diminuindo as diferenças entre a variância do erro e a variância de krigagem, que num modelo aceitável tendem a aproximar na sua grandeza.

A elaboração do variograma teórico foi feito com a retirada de quatro amostras de teores extremos que podem ser observadas na curva de probabilidade normal (Figura 11). Nos parâmetros estatísticos calculados a partir de 79 amostras, nas quais há 18 amostras com teor zero, constatou-se a média amostral de 6,54 g/t com variância de 127,01. Esta variância é menor do que aquela obtida a partir de amostras com extremos. O coeficiente de variação de 173,22 demonstra alta irregularidade na distribuição do teor no veio do Farias, embora sendo menor do que daquele com valores extremos. A assimetria permanece positiva com valor de 2,14 e curtose com valor de 6,91, demonstrando ainda que os valores de curtose e assimetria apresentam-se menores do que os variogramas anteriores (Tabela 6). Observa-se que o histograma de frequência simples é multi-modal com distribuição logarítmica e um valor de curtose maior que 3, resultando numa distribuição leptocúrtica (Figura 12).

O primeiro variograma experimental com extremos é muito semelhante ao variograma sem extremos quando o ângulo de tolerância é de 90° e a distância entre os pares de amostras é igual a 37,28 m (Figura 4). O variograma não mostra estrutura bem definida, mas observa-se um alto grau de efeito buraco (hole effect) conhecido como "dentes de serra".

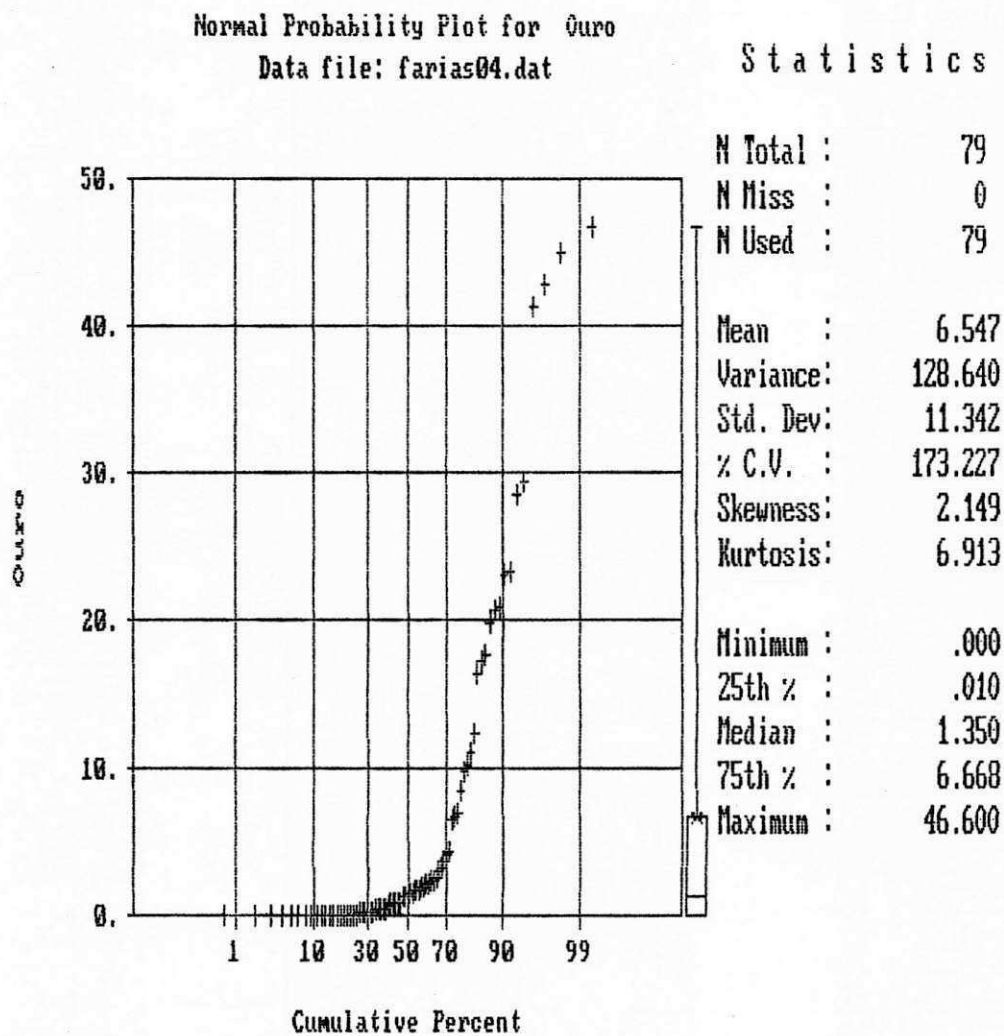


FIGURA 11 - Curva de probabilidade normal com amostras sem extremos
- veio do Farias

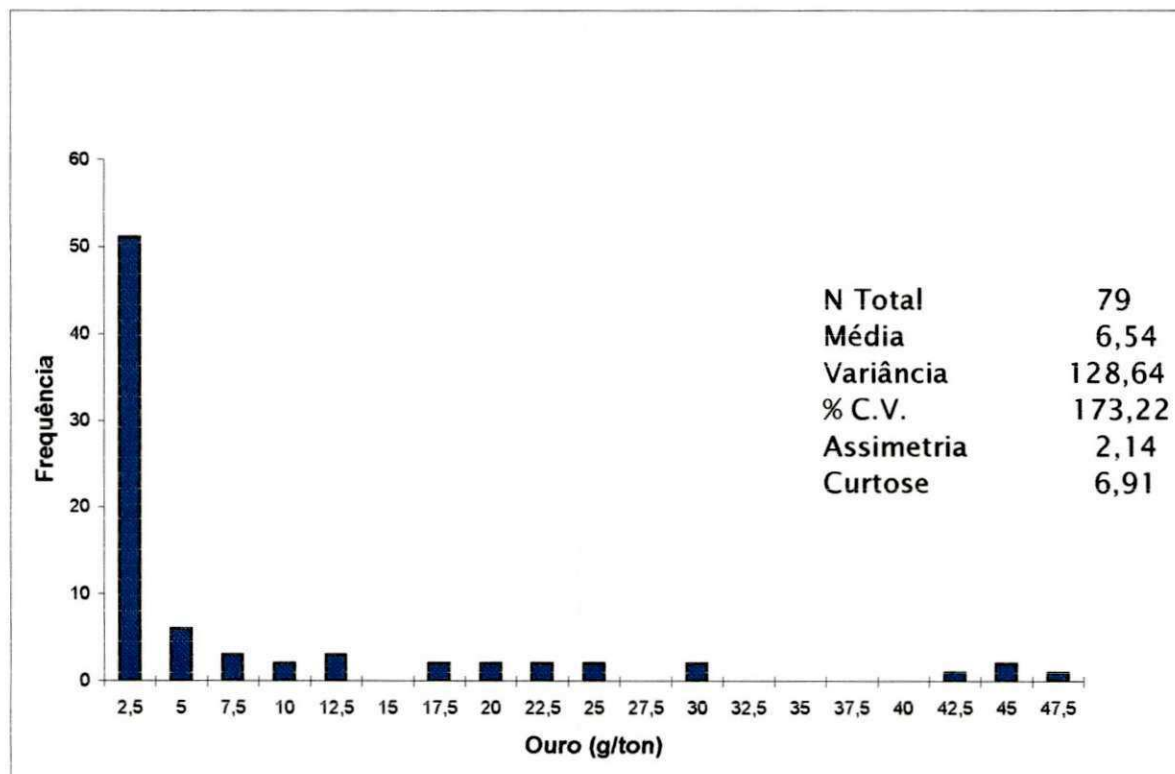


FIGURA 12 - Histograma de frequência simples com amostras com zero e sem extremos - *veio do Farias*.

O segundo variograma experimental é elaborado com ângulo de tolerância de 30°, direção de 165° e distância entre os pares de amostras de 25 m (Figura 13). A presença de uma estrutura foi observada com o variograma teórico apresentando efeito de pepita de 1,7 e variância de dispersão de 1,5. No cálculo do alcance o resultado encontrado foi igual a 100,00 m (Tabela 7). O variograma teórico foi confeccionado a partir dos dados obtidos do variograma experimental (Figura 14).

A validação dos dados observados através de variograma teórico resultou nos seguintes parâmetros: média estimada de 6,82 g/t com variância de 26,86 o que é bastante próxima da média amostral de 6,54 g/t e variância igual a 128,64. A diferença entre as médias amostrais e esperada é praticamente nula com a média do erro caindo para 0,281 g/t e variância do erro diminuindo para 123,21 (Tabela 8). Observa-se que a média amostral equipara-se à média estimada, contudo a variância da média estimada se reduziu substancialmente em relação aos variogramas anteriores. A diferença entre a variância de krigagem, cujo valor é 2,22, e a variância do erro (123,21), diminuiu sensivelmente neste novo modelo de variograma teórico encontrado, implicando numa melhor estrutura variográfica quando se retiram os valores extremos conhecidos como efeito pepita. O resultado encontrado do z-score é igual a 0,162 que é abaixo do valor crítico 1,96 no intervalo de confiança de 95%, comprovando que a diferença entre as médias observadas e esperadas não é significativa (Tabela 9).

6.2.1.3 – Valores sem Zeros e sem Extremos

Com o objetivo de descobrir os efeitos de eliminação de amostras com teor zero e com teores extremos sobre variogramas desenvolvidos, foram realizadas análise variográficas excluindo tais amostras. As

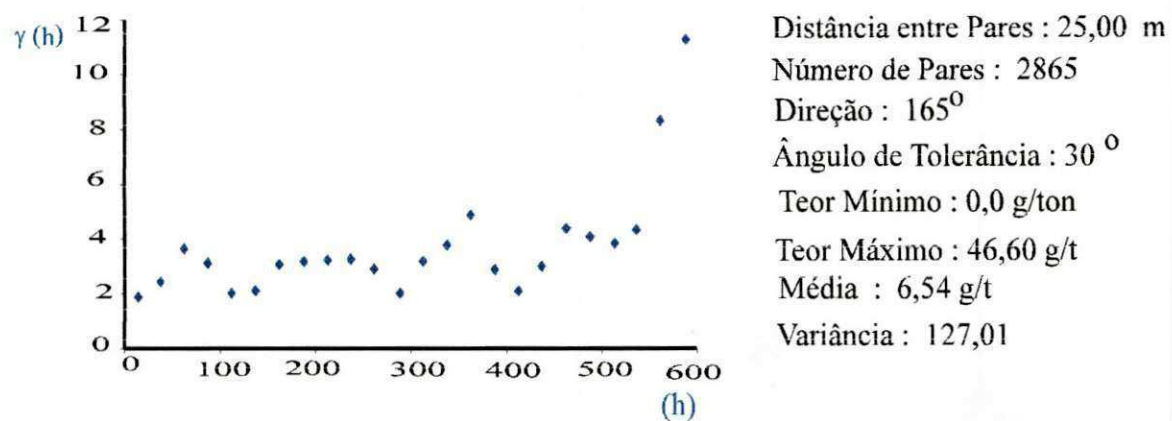


FIGURA 13 - Variograma experimental de amostras com zero e sem extremos e distância entre pares de 25,00 m - veio do Farias

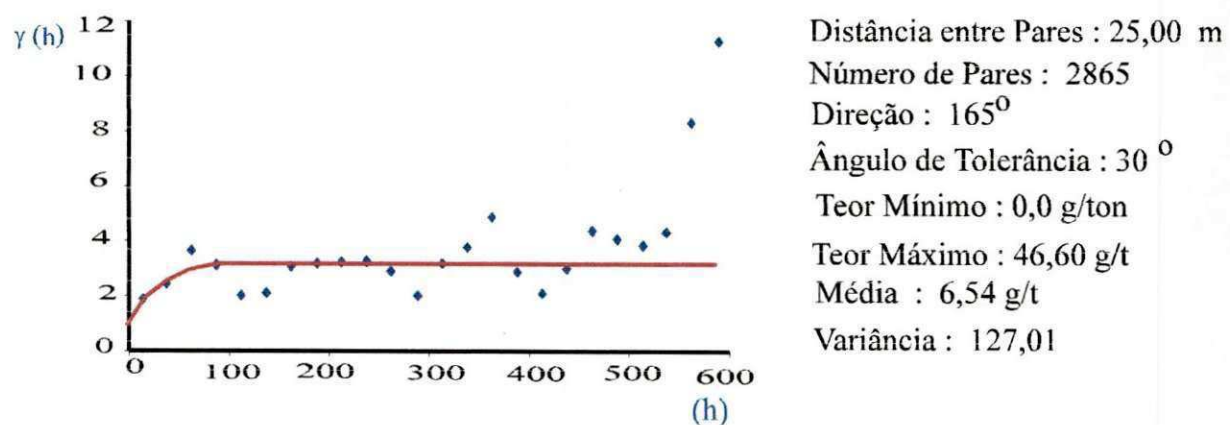


FIGURA 14 - Variograma teórico de amostras com zero e sem extremos e distância entre pares de 25,00 m - veio do Farias

TABELA 7 - Parâmetros de variograma de amostras com zero e sem extremos com distância entre pares de 25,00 m - veio do Farias

Teores	Co (Efeito Pepita)	C1 (Variância)	A (Alcance)	Co+C1 (Patamar)	Co/C	Nº Amostras	Distância entre pares de amostras
$0 \leq \text{teor} \leq 50$	1,7	1,5	100,0	3,2	0,53	79	25,00

TABELA 8 - Parâmetros estatísticos da validação dos dados ("cross validation") de amostras com zero e sem extremos com $h = 25,00$ m - veio do Farias

Distância entre pares de amostras	Média Observada	Variância Observada	Média Estimada	Variância Estimado	Média Erro	Variância Erro	Média de Variância de Krigagem
$h = 25,00$ m	6,54	128,59	6,82	26,83	0,281	123,21	2,22

TABELA 9 - Parâmetros dos intervalos de confiança de amostras com zero e sem extremos com $h = 25,00$ m - veio do Farias

Distância entre pares de amostras	z-score	Intervalo de Confiança 95%	Intervalo de Confiança 99%
$h = 25,00$ m	0,162	1,96	2,57

TABELA 10 - Parâmetros da estatística básica de amostras sem zero e sem extremos - veio do Farias

Teores	Média	Variância	C. V. %	Assimetria	Curtose	Número de Amostras
$0 < \text{teor} < 50$	8,47	150,57	144,71	1,77	5,27	61

eliminações de 18 valores com teores zeros e 4 amostras de valores extremos resultou numa média do teor observado na estatística básica de 8,47 g/t e variância de 150,57. O coeficiente de variação apresenta-se com valor de 144,71 %, elevado para as condições impostas, mas bem abaixo do que com os valores com zero e sem extremos. A assimetria apresenta-se positiva com valor 1,77 e a curtose com valor de 5,28. (Tabela 10). O histograma de frequência simples é multimodal, com assimetria positiva deslocado para a direita (Figura 15). Na curva de probabilidade normal nota-se uma grande concentração de pontos até próximo das 30 g/t (Figura 16). A natureza da curva acumulada e do histograma é pouco diferente em relação às anteriores. Mas como se espera, a média do teor aumenta devido a exclusão dos valores zeros.

O modelamento dos variogramas prosseguiu com os mesmos passos descritos anteriormente. O primeiro variograma elaborado utilizou o ângulo de tolerância de 90° e distância entre os pares de amostras igual a 37,15 m, e como nos variogramas anteriores, as características permanecem as mesmas com a estrutura variográfica pouco definida (Figura 17).

Foram efetuados modelamentos variando a distância entre os pares de amostras, direção e o ângulo de tolerância. O variograma experimental da Figura 18 é confeccionado com ângulo de tolerância de 30°, direção de 165 ° e distância entre os pares de amostras de 34,50 m. A estrutura do variograma experimental contém o efeito pepita de 1,3 e variância de dispersão de 0,9. Isso resultou no valor do alcance de 150,00 m (Tabela 11). O variograma teórico foi ajustado a partir destes dados obtidos do variograma experimental (Figura 19).

A tabela 12 contém os dados obtidos de teores observados e estimados a partir da validação. As médias observadas (8,48 g/t) e estimadas (8,34 g/t) aproximam mais da variância amostral (150,57) é

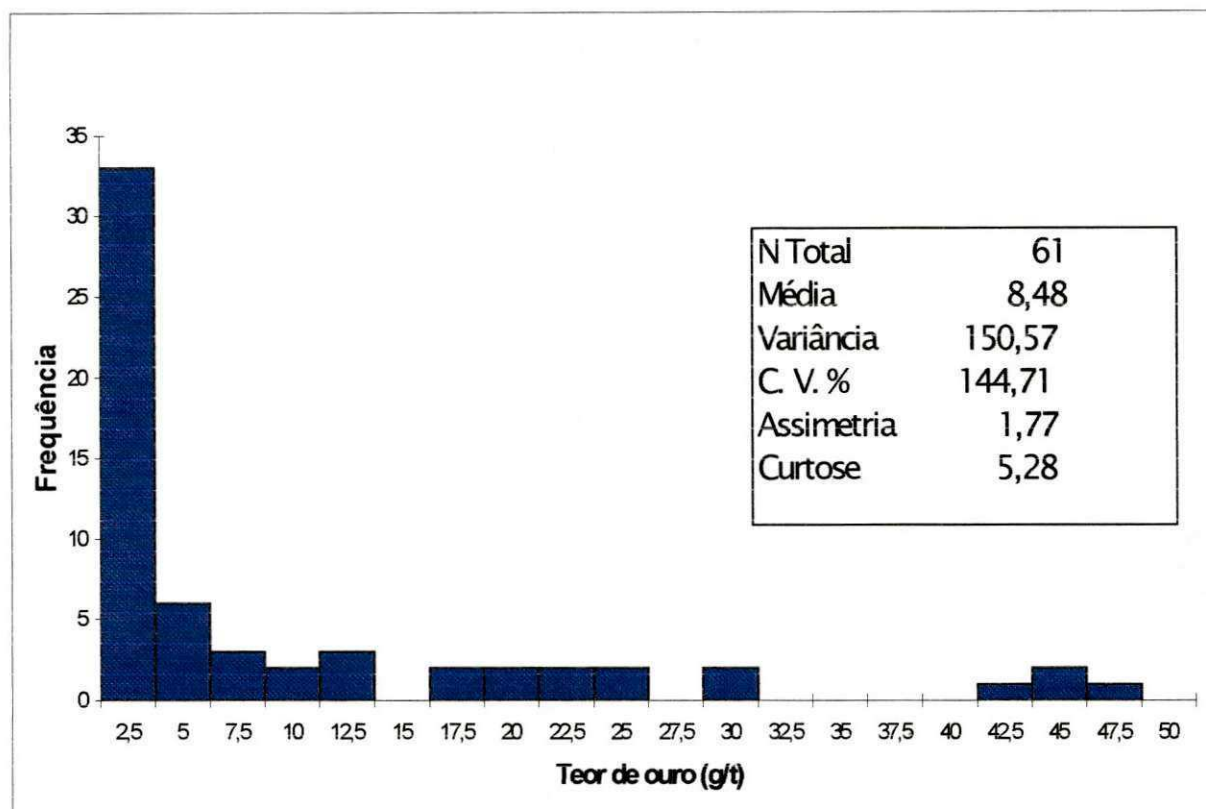


FIGURA 15 - Histograma de frequência simples de amostras sem zero e sem extremos - veio do Farias.

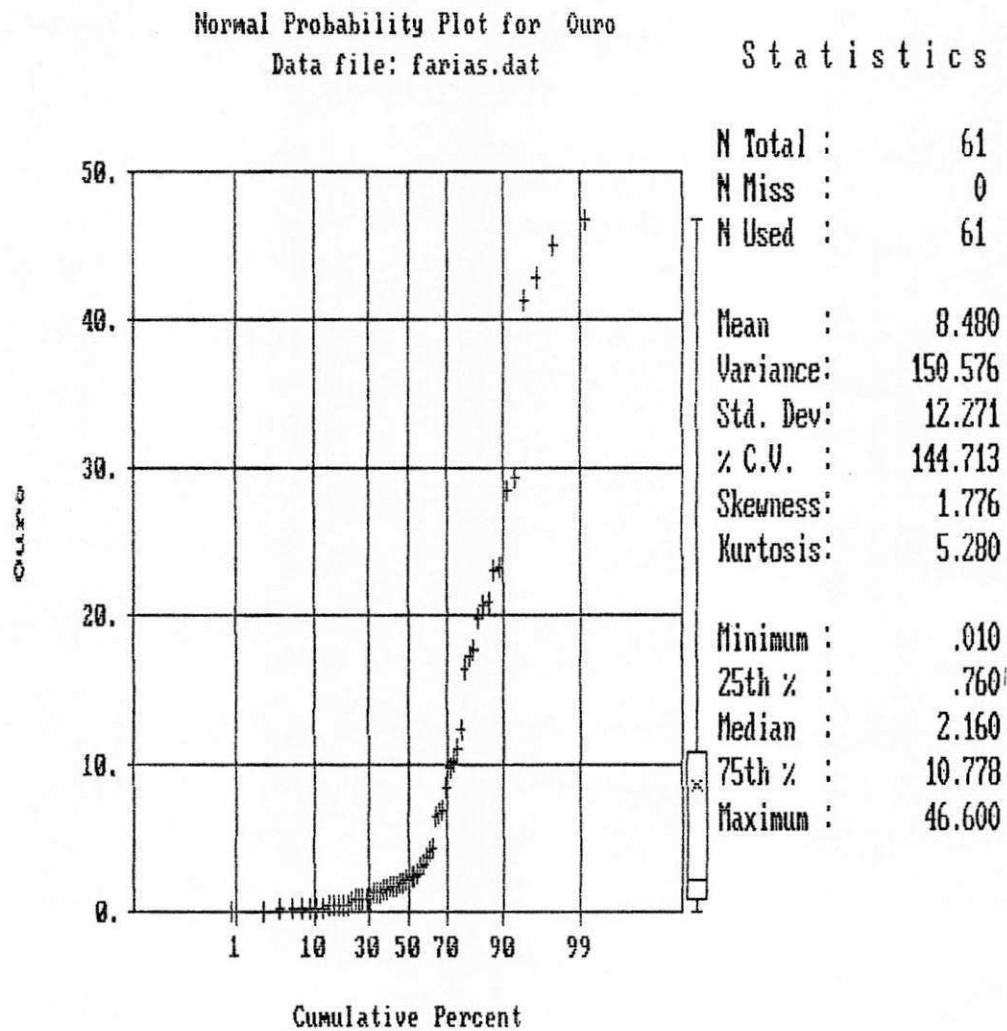
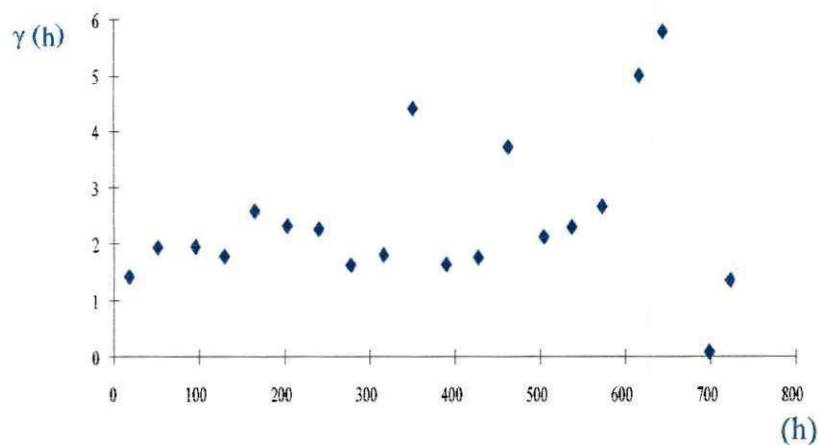
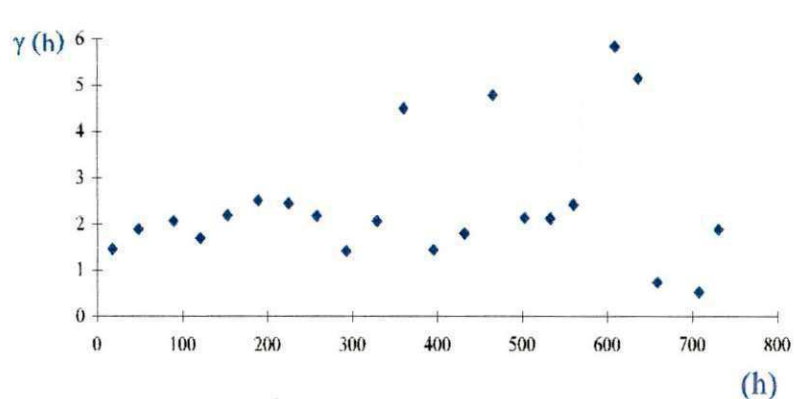


FIGURA 16 - Curva de probabilidade normal com amostras sem zero e sem extremos - veio do Farias



Distância entre Pares : 37,15 m
 Número de Pares : 1830
 Direção : 0°
 Ângulo de Tolerância : 90°
 Teor Mínimo : 0,01 g/ton
 Teor Máximo : 46,60 g/t
 Média : 8,48 g/t
 Variância : 148,11

FIGURA 17 - Variograma experimental de amostras sem zero e sem extremos com distância entre pares de amostras de 37,15 m - *Veio do Farias*



Distância entre Pares : 34,50 m
 Número de Pares : 1770
 Direção : 165°
 Ângulo de Tolerância : 30°
 Teor Mínimo : 0,01 g/ton
 Teor Máximo : 46,60 g/t
 Média : 8,48 g/t
 Variância : 148,11

FIGURA 18 - Variograma experimental de amostras sem zero e sem extremos com distância entre pares de amostras de 34,50 m - *Veio do Farias*

TABELA 11 - Parâmetros de variograma de amostras sem zero e sem extremos com distância entre pares de 34,50 m - veio do Farias

Teores	Co (Efeito Pepita)	C1 (Variância)	A (Alcance)	Co+C1 (Sill)	Co/C	Nº Amostras	Distância entre pares de amostras
0 < teor < 50	1,3	0,9	150,0	2,2	0,59	61	34,50

TABELA 12 - Parâmetros estatísticos da validação dos dados ("cross validation") de amostras sem zero e sem extremos com h = 34,50 m - veio do Farias.

Distância entre pares de amostras	Média Observada	Variância Observada	Média Estimada	Variância Estimada	Média Erro	Variância Erro	Média de Variância de Krigagem
h = 34,50 m	8,48	150,55	8,34	25,20	-0,137	129,00	1,60

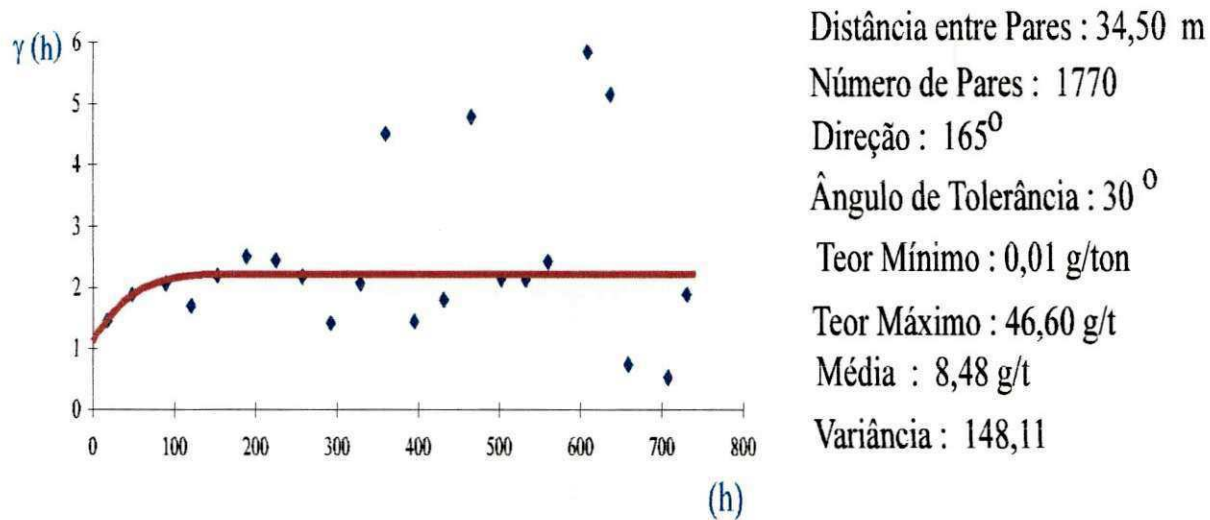


FIGURA 19 - Variograma teórico de amostras sem zero e sem extremos com distância entre pares de amostras de 34,50 m - *veio do Farias*

muito maior que a variância estimada (25,28). Portanto o erro médio é menor (0,137) mas a variância do erro permanece alta (129,00) e há uma redução na média de variância de krigagem (Tabela 12). Nota-se um pequeno aumento na variância do erro e na média de variância de krigagem em relação ao variograma com zero e sem extremos. O z-score é de 0,060, implicando numa aceitação em um nível de confiança acima de 95% comprovando que a diferença entre as médias observadas e esperadas não é significativa (Tabela 13).

6.2.1.4 - Valores sem Zeros e com Extremos

Continuando com o objetivo de aperfeiçoar o variograma, foram excluídas 18 amostras com teor zero num total de 83. A média do teor de ouro obtida das 65 amostras é de 13,68 g/t com variância de 576,53. O coeficiente de variação é relativamente alto (175,51%) com assimetria positiva de valor 2,60 e curtose igual a 9,61 (Tabela 14). Todos estes valores obtidos do variograma são elevados em relação aqueles calculados anteriormente sem zeros e sem extremos. O histograma de frequência simples é multi-modal, com modelo logarítmico de assimetria positiva e leptocúrtica (Figura 20). Na curva de probabilidade normal observam-se novos agrupamentos de amostras com valor acima de 0,1g/t (Figura 21).

A confecção do variograma experimental é feita com a retirada de 21,68% das amostras de teores zeros. O primeiro variograma utilizou os seguintes parâmetros: ângulo de tolerância de 90°, direção de 0° e distância entre pares de 37,15 m. Este variograma, como os anteriores, não se definiu nitidamente, isso é, não conseguiu mostrar a estrutura variográfica existente (Figura 22). No segundo variograma utilizou-se para os estudos variográficos o ângulo de tolerância de 30°, a direção de 165° e distância entre pares de 35,00 m (Figura 23). A estrutura do

TABELA 13 – Parâmetros dos intervalos de confiança amostras sem zero e sem extremos com $h = 34,50$ m - veio do Farias

Distância entre pares de amostras	z-score	Intervalo de Confiança 95%	Intervalo de Confiança 99%
$h = 34,50$	0,060	1,96	2,57

TABELA 14 – Parâmetros da estatística básica amostras sem zero e com extremos - veio do Farias

Teores	Média	Variância	Coeficiente de Variação	Assimetria	Curtose	Número de Amostras
$0 < \text{teor} < 115$	13,68	576,53	175,51	2,60	9,61	65

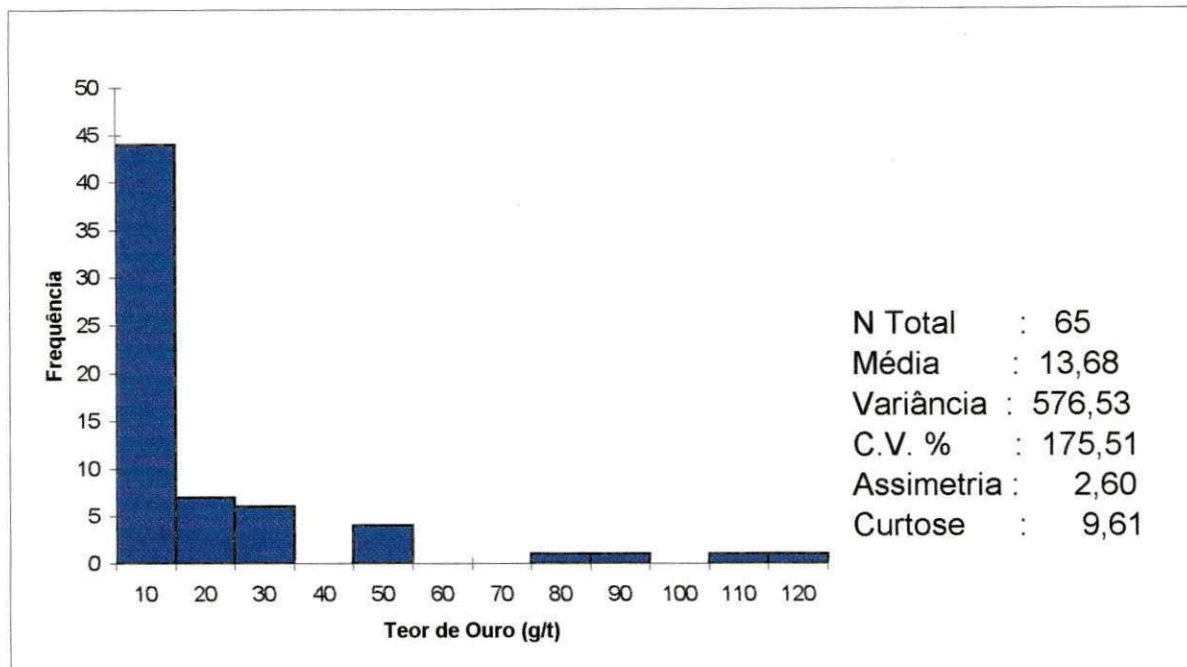


FIGURA 20 - Histograma de frequência simples de amostras sem zero e com extremos - *Veio do Farias*.

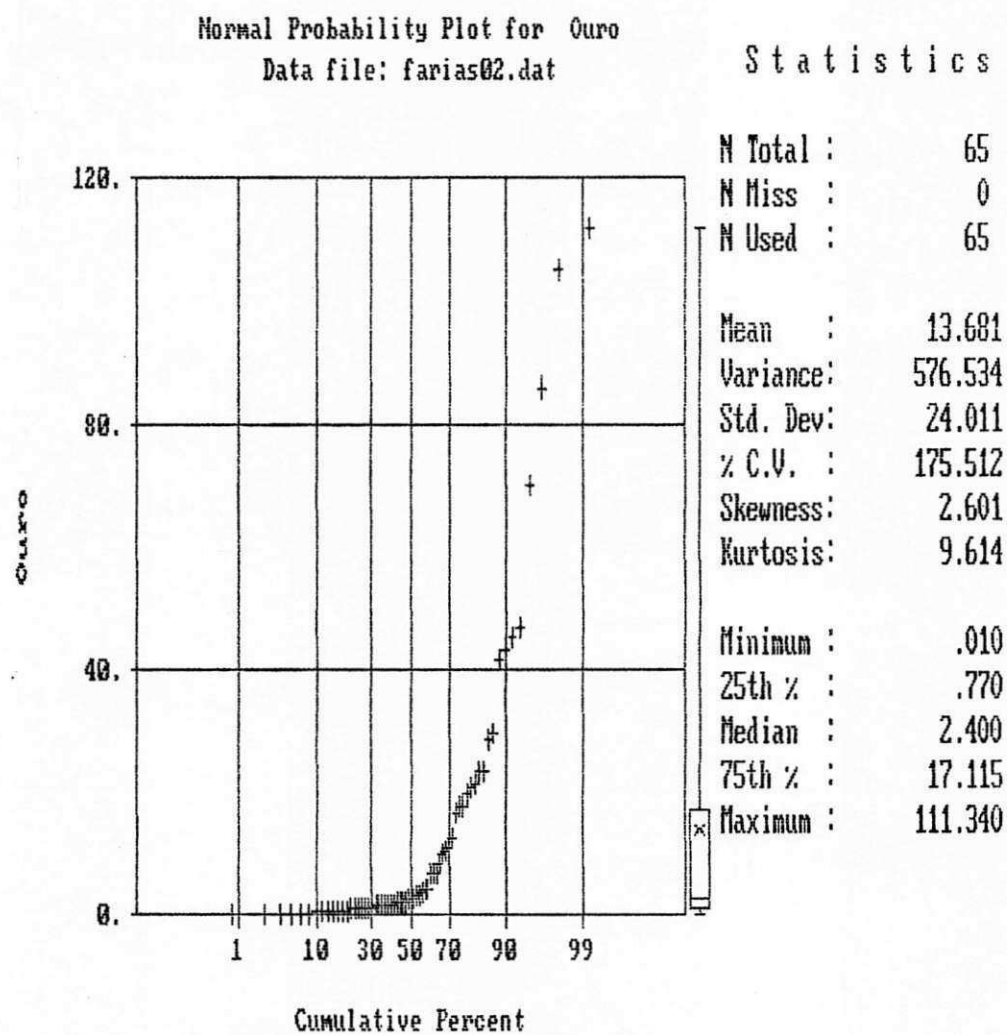


FIGURA 21 - Curva de probabilidade normal de amostras sem zero e com extremos - veio do Farias

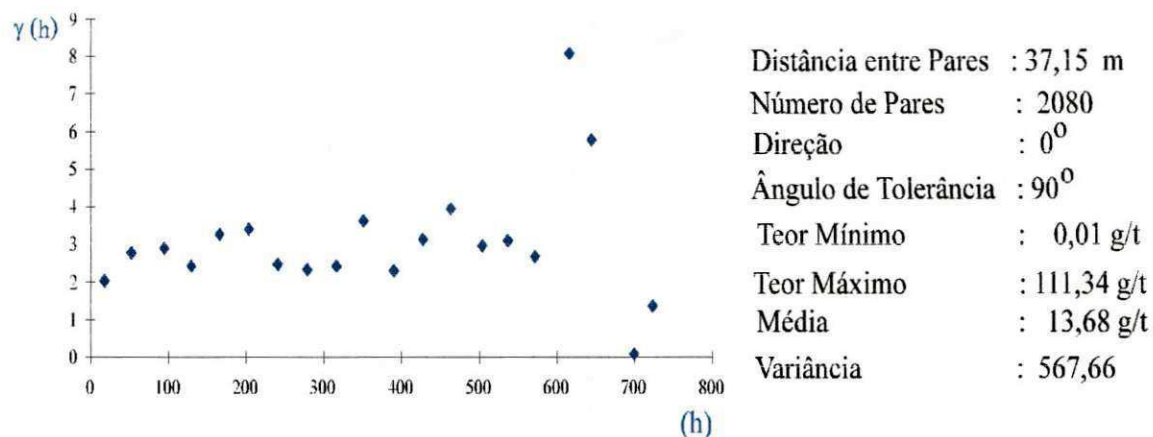


FIGURA 22 - Variograma experimental de amostras sem zero e com extremos e distância entre pares de amostra de 37,15 m - veio do Farias

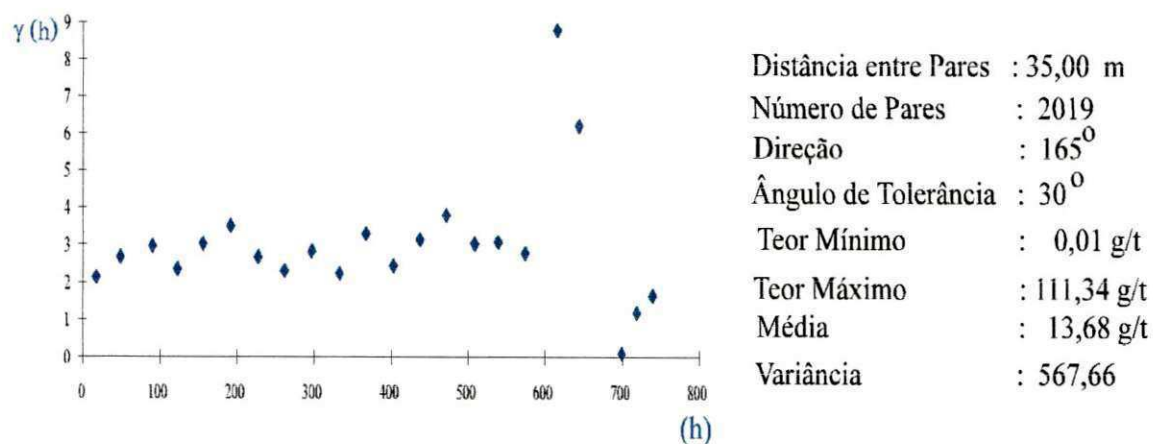


FIGURA 23 - Variograma experimental de amostras sem zero e com extremos e distância entre pares de amostra de 35,00 m - veio do Farias

depósito é fracamente definida em relação aos outros modelos anteriores. O variograma teórico ajustado, é o modelo esférico, com efeito pepita de 1,50, patamar de 2,0 e alcance calculado igual a 150 m (Tabela 15 e Figura 24).

Analisando o variograma pela validação dos teores amostrados, observa-se que a média estimada é de 12,93 g/t com variância de 85,13. A média estimada fica abaixo da média amostral de 13,68 g/t e variância de 576,48. A média do erro é de 0,744, com variância do erro de 475,32 e a média de variância de krigagem de 2,22, demonstra um aumento na média do erro e na média de variância de krigagem (Tabela 16). O z-score encontrado é igual a 0,422 abaixo do valor de tabela 1,96 de intervalo de confiança 95%, onde a diferença entre a média observada e esperada não é significativa (Tabela 17).

6.2.2 - Área do Covico

O veio do Covico apresenta uma extensão média de 800,00 m na área de estudo apresentando-se muito descontínuo, fraturado e deslocado pelos falhamentos, cisalhamentos e boudinagem. A espessura varia de 0,2 m a 1,0 m e sua direção geral é de 50° Nordeste e mergulho em torno de 50° Sudeste. As maiorias das amostras foram coletadas a partir de trincheiras abertas no sentido perpendicular ao veio e com menos frequência paralela ao veio. Como no veio do Farias, as amostras foram localizadas em mapas topográficos e geológico na escala de 1: 1.000 a partir de uma linha base. (Silva, 1989).

As amostras do veio do Covico foram classificadas em 4 classes baseada na variação do teor de ouro no quartzo, utilizando a metodologia aplicada do veio do Farias (Tabela 18). As classes

TABELA 15 - Parâmetros de variograma de amostras sem zero e com extremos com distância entre pares de 35,00 m - veio do Farias

Teores	Co (Efeito Pepita)	C1 (Variância)	A (Alcance)	Co+C1 (Sill)	Co/C	Nº Amostras	Distância entre pares de amostras
0 < teor < 115	1,8	1,2	133,33	3,0	0,60	65	35,00

TABELA 16 - Parâmetros estatísticos da validação dos dados ("cross validation") de amostras sem zero e com extremos com h = 35,00 m - veio do Farias

Distância entre pares de amostras	Média Observada	Variância Observada	Média Estimada	Variância Estimada	Média Erro	Variância Erro	Média de Variância de Krigagem
35,00 m	13,68	576,48	12,93	97,81	-0,74	475,32	2,22

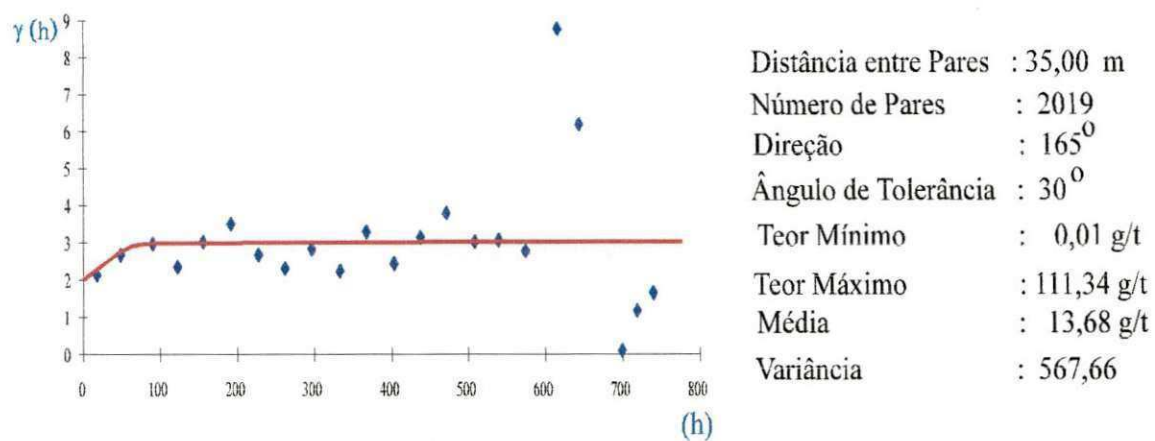


FIGURA 24 - Variograma teórico de amostras sem zero e com extremos e distância entre pares de amostra de 35,00 - veio do Farias

TABELA 17 – Parâmetros dos intervalos de confiança de amostras sem zero e com extremos com $h = 35,00$ m – *Veio do Farias*

Variogramas	z-score	Intervalo de Confiança 95%	Intervalo de Confiança 99%
$0 < \text{teor} < 115$	0,422	1,96	2,57

TABELA 18 - Classificação das amostras segundo os teores, veio do Covico.

DESCRIÇÃO	FAIXA (g/t)	COMENTÁRIOS
I - Todos os dados	$0 \leq \text{TEOR} \leq 34,63$	- Todos os teores abaixo de 34,63 g/ton.
II - Sem efeito pepita	$0 \leq \text{TEOR} \leq 15,99$	- Todos os teores abaixo de 15,99 g/ton.
III - Todos os valores sem teores zero	$0 < \text{TEOR} \leq 34,63$	- Todos os teores abaixo de 34,63 g/ton. e acima de zero.
IV - Sem o Efeito pepita e sem zero	$0 < \text{TEOR} \leq 15,99$	- Teores sem o efeito pepita e acima de zero.

TABELA 19 - Parâmetros da estatística básica de amostras com zero e extremos - *Veio do Covico*

Teores	Média	Variância	Coefficiente de Variação	Assimetria	Curtose	Nº de Amostras
$0 \leq \text{teor} < 50$	2,21	26,50	232,73	4,46	26,12	66

resultaram por causa de inclusão e eliminação de valores extremos e de teores zeros na confecção de variogramas. A inclusão e/ou eliminação de teores zeros e extremos nos variogramas e na captação de estruturas de depósito foi detalhadamente pesquisada.

6.2.2.1 - Amostras com Zeros e Extremos

Num total de 66 amostras no veio do Covico existem 21 amostras que apresentam valores iguais a zero. A média amostral do conjunto de 66 amostras é de 2,21 g/t com variância de 26,50 (Tabela 19). O valor de 232,73 % no coeficiente de variação afirma a condição de distribuição errática, típico do minério de ouro (Koch e Link, 1971). Sua assimetria apresenta-se positiva com valor de 4,46 e curtose bastante acentuada com valor de 26,12. O histograma de frequência é caracterizado por apresentar várias modas (multi-modal), assemelhando-se ao modelo logarítmico de assimetria positiva com seu alto valor de curtose ($curtose > 3$) apresenta-se como leptocúrtica (Figura 25). Na curva de probabilidade normal, observa-se apenas um valor deslocado que pode ser considerado como um valor extremo (efeito pepita)(Figura 26).

O primeiro variograma experimental é elaborado com ângulo de tolerância de 90° e distância entre pares de amostras definidos em 42,61 m para observar o comportamento global do variograma e a presença de estruturas (Figura 27). O variograma apresenta uma estrutura conhecida como efeito buraco (hole effect), também chamado de dentes de serra e a estrutura não é bem definida, assim necessitando de ajustes, principalmente na direção e distância entre os pares de amostras.

Um segundo variograma experimental é confeccionado com um novo ângulo de tolerância de 30°, direção de 135° e distância entre os

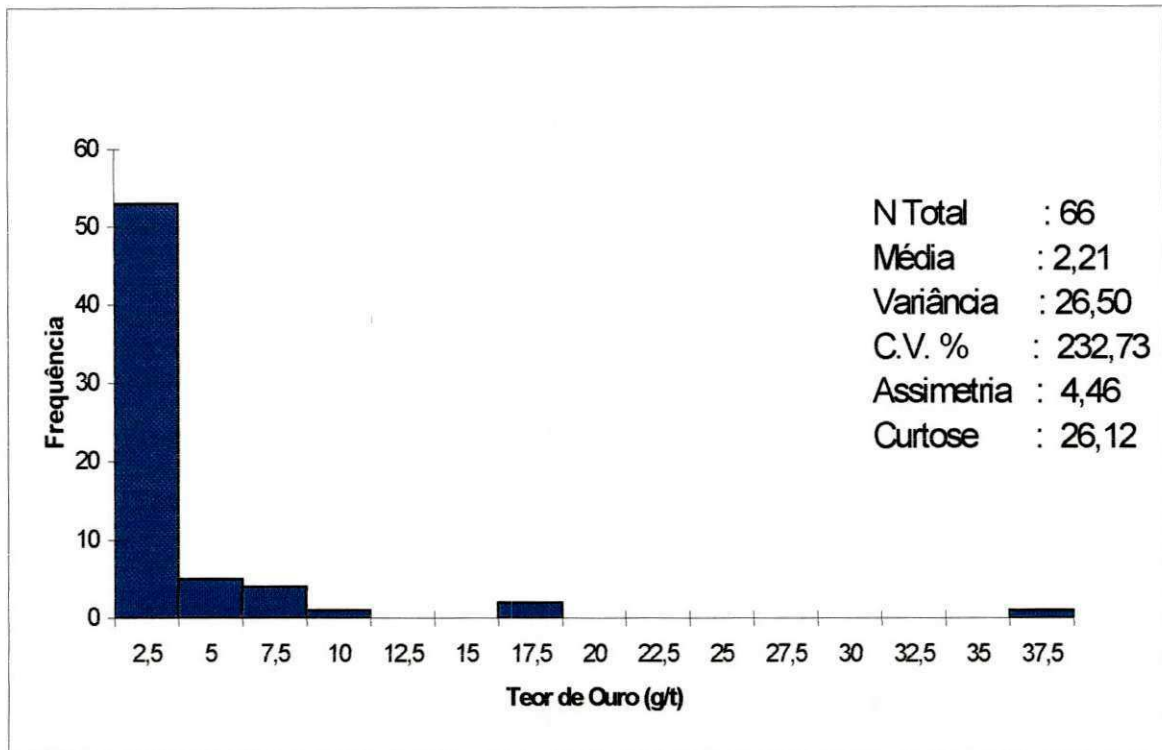


FIGURA 25 - Histograma de frequência simples de amostras com zero e extremos - veio do Covico

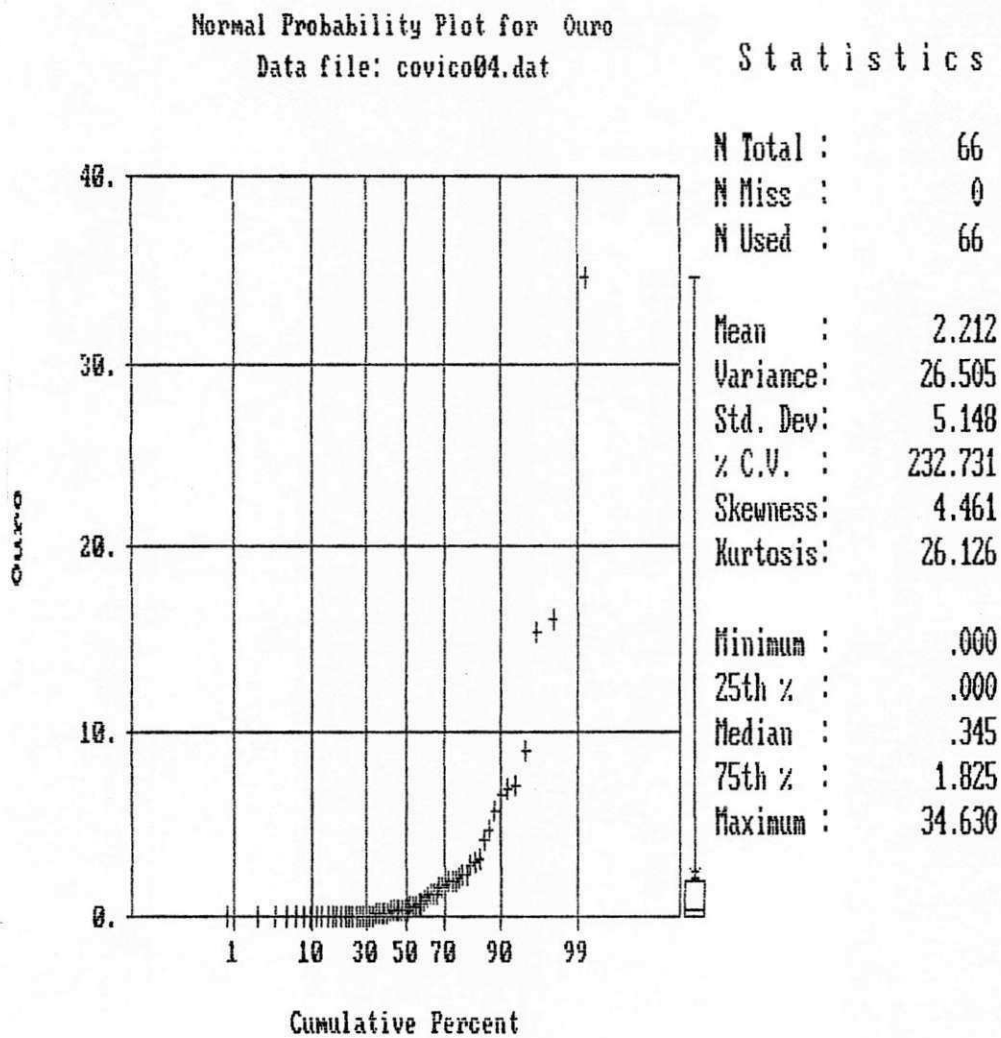
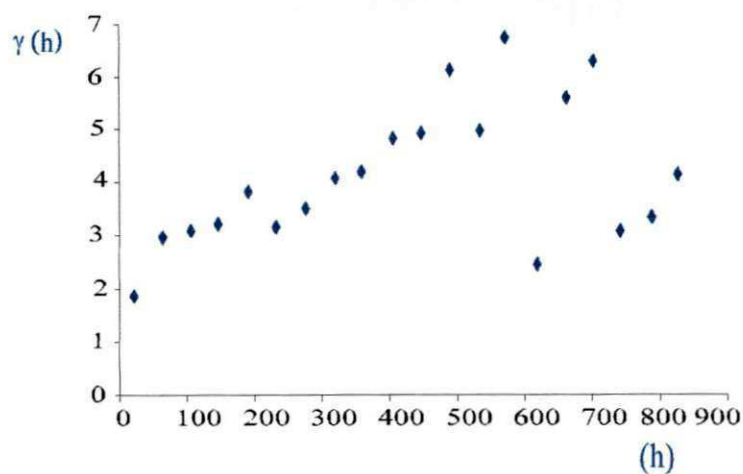


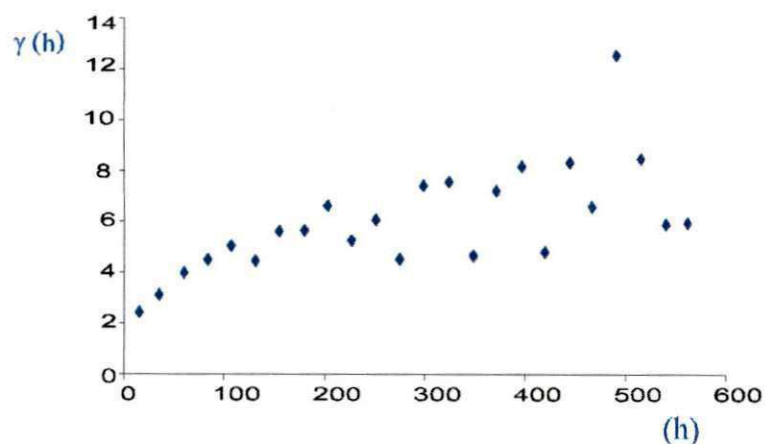
FIGURA 26 - Curva de probabilidade normal de amostras com zero e extremos - veio do Covico



Distância entre Pares : 42,61 m
 Número de Pares : 2145
 Direção : $0,0^{\circ}$
 Ângulo de Tolerância : 90°

Teor Mínimo : 0,0 g/t
 Teor Máximo : 34,63 g/t
 Média : 2,12 g/t
 Variância : 26,104

FIGURA 27 - Variograma experimental de amostras com zero e extremos com distância entre pares de amostras de 42,61 m.
 - veio do Covico



Distância entre Pares : 24,00 m
 Número de Pares : 1822
 Direção : 135°
 Ângulo de Tolerância : 30°

Teor Mínimo : 0,0 g/t
 Teor Máximo : 34,63 g/t
 Média : 2,21 g/t
 Variância : 26,10

FIGURA 28 - Variograma experimental de amostras com zero e com extremos com distância entre pares de amostras de 24,00 m.
 - veio do Covico

pares de amostras de 24,00 m (Figura 28). A presença de uma nova estrutura é observada, e a partir desta nova estrutura confeccionou-se o variograma teórico. Os efeitos transicionais apresentaram efeito pepita de 1,90 , variância 3,8 e o alcance de 175,00 m (Tabela 20). O variograma teórico foi ajustado a partir destes dados obtidos (Figura 29).

A análise do variograma teórico, resultou na validação dos dados observados. Nos valores obtidos observa-se a média estimada com valor de 2,33 g/t e variância de 8,38, situando-se um pouco acima da média amostral de 2,21 g/t, variância igual a 26,41 (Tabela 21). A diferença entre os teores observados e os teores estimados pode ser observada pela média do erro que apresenta valor de 0,126 g/t com variância de 21,94 e média de variância de krigagem de 1,68. Como foi citado anteriormente, a escolha do variograma teórico bem ajustado fica evidente quando a média da variância do erro se aproximar da média de variância de krigagem. Dentro do intervalo de confiança de 95% o resultado encontrado do z-score é igual a 0,071 bem abaixo do valor tabelado 1,96 aceitando a hipótese nula, onde a média observada é igual a média esperada (Tabela 22).

6.2.2.2 - Amostras com Zeros e sem Extremos

Nesta fase da análise será estudado o efeito pepita provocado pelos valores extremos. No veio do Covico foi constatada apenas uma amostra com teor extremo, que pode ser bem caracterizada no histograma de frequência relativa e na curva de probabilidade normal (Figura 30 e 31). Eliminando este valor extremo, confeccionou-se o variograma teórico obtendo-se assim o melhor modelamento variográfico para o veio do Covico. O histograma de frequência é caracterizado por apresentar várias modas (multi-modal),

TABELA 20 – Parâmetros de variograma de amostras com zero e extremos com distância entre pares de amostras de 24,00 m – Veio do Covico

Teores	Co (Efeito Pepita)	C1 (Variância)	A (Alcance)	Co+C1 (Patamar)	Co/C	Nº Amostras	Distância entre pares de amostras
$0 \leq \text{teor} \leq 50$	1,9	3,8	175	5,7	0,33	66	24,00

TABELA 21 – Parâmetros estatísticos da validação dos dados (cross-validation) de amostras com zero e extremos com $h = 24,00$ m – *Veio do Covico*

Distância entre pares de amostras	Média Observada	Variância Observada	Média Estimada	Variância Estimada	Média Erro	Variância Erro	Média de Variância de Krigagem
$h=24$ m	2,21	26,41	2,33	8,38	0,126	21,94	1,68

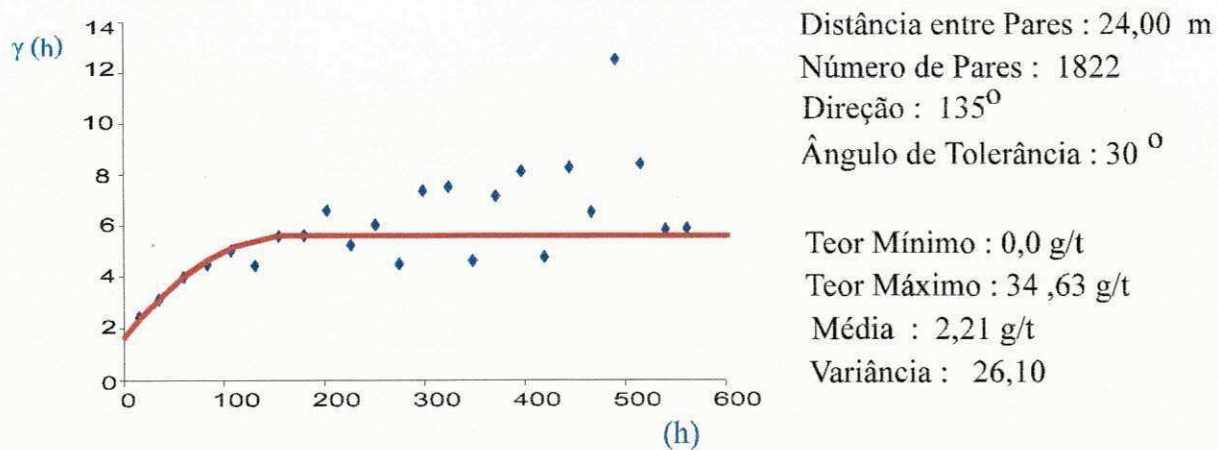


Figura 29 - Variograma teórico de amostras com zero e com extremos e distância entre pares de amostras de 24,00 m - veio do Covico

TABELA 22 - Parâmetros dos intervalos de confiança amostras com zero e extremos com $h = 24,00$ m - *Veio do Covico*

Distância entre pares de amostras	z-score	Intervalo de Confiança 95%	Intervalo de Confiança 99%
$h = 24$ m	0,071	1,96	2,57

TABELA 23 - Parâmetros da estatística básica de amostras com zero e sem extremos - *Veio do Covico*

Teores	Média	Variância	Coefficiente de Variação	Assimetria	Curtose	N ^o de Amostras
$0 \leq \text{teor} \leq 30$	1,71	10,24	186,81	2,97	12,37	65

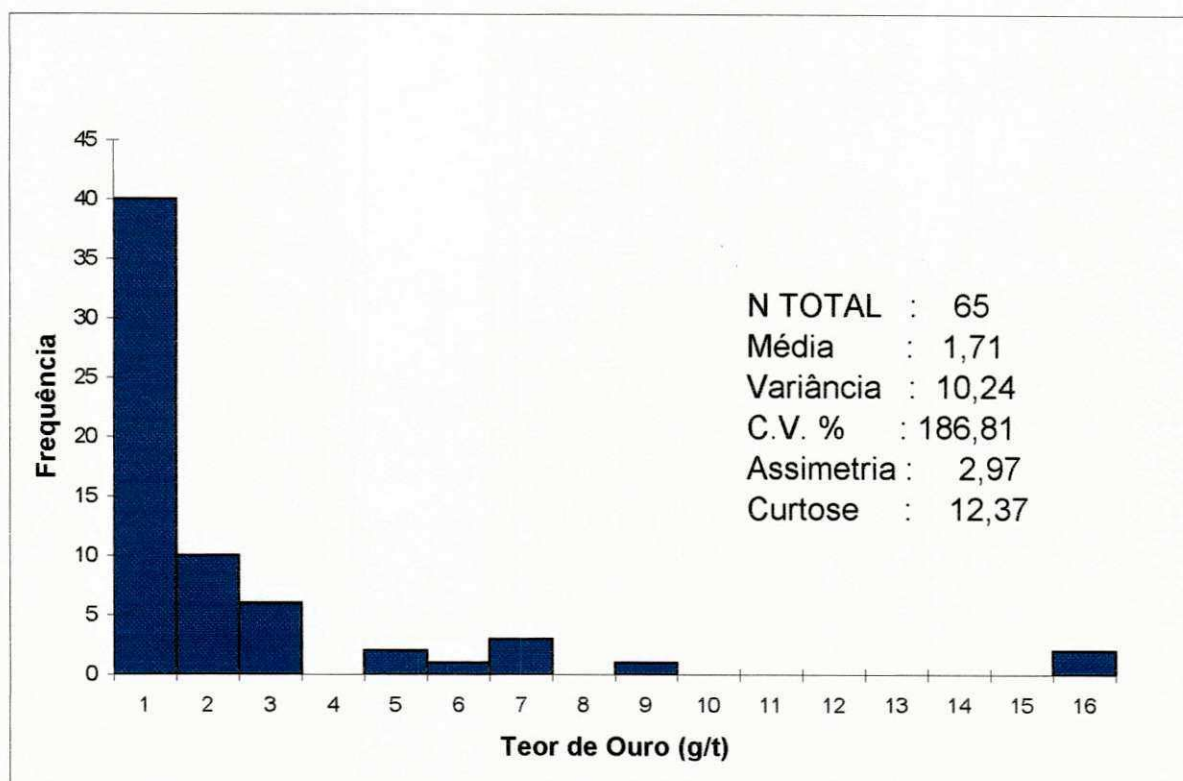


FIGURA 30 - Histograma de frequência simples de amostras com zero e sem extremos - veio do Covico

assemelhando-se ao modelo logarítmico de assimetria positiva com seu alto valor de curtose ($\text{curtose} > 3$) apresenta-se como leptocúrtica.

A retirada do valor extremo resultou num total de 65 amostras, onde 21 valores são de teor zero. A média amostral ficou em 1,71 g/t e variância de 10,24. O coeficiente de variação de 186,81 mostra a alta irregularidade na distribuição do teor. A assimetria apresenta-se positiva sendo igual a 2,97 e sua curtose é igual a 12,37, sendo caracterizada como leptocúrtica (Tabela 23).

O variograma foi elaborado com ângulo de tolerância de 90° , direção de 0° e distância entre pares de amostras de 42,61 m (Figura 32). Como nos casos anteriores, este primeiro variograma objetiva a caracterização das estruturas em todas as direções não caracterizando necessariamente o variograma teórico a ser escolhido. Neste variograma há presença do efeito buraco (hole effect) e não demonstra uma estrutura variográfica bem definida. Para obter um variograma teórico ajustado é necessário a elaboração de outros variogramas experimentais (Figura 33).

No segundo variograma experimental foram considerados ângulo de tolerância de 30° , direção de 135° e distância entre pares de amostras de 29,00 m, o que resultou num variograma com estrutura (Figura 34). O variograma teórico resultou num efeito pepita de 1,20, variância de dispersão de 2,40 e o alcance calculado de 185 m (Tabela 24).

Na validação dos dados amostrais através do variograma teórico calculado, encontra-se a média estimada de 1,80 g/t com variância de 3,54, bastante próxima da média amostral (1,71 g/t), sendo a variância amostral bem mais elevada (10,24). A média do erro entre as amostras é de 0,095 com variância deste erro de 7,52 e a variância de krigagem igual a 1,88 (Tabela 25). A diferença entre a média de variância de

Normal Probability Plot for Ouro
Data file: covico02.dat

Statistics

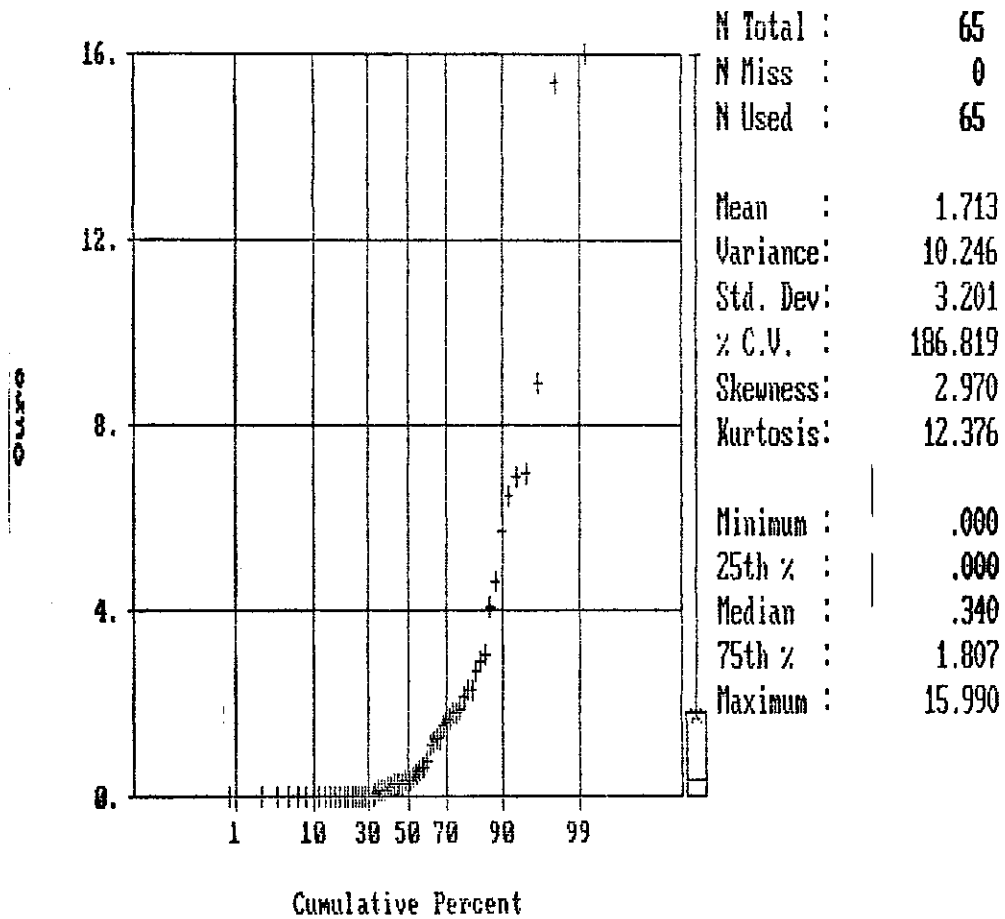


FIGURA 31 - Curva de probabilidade normal de amostras com zero e sem extremos - veio do Covico

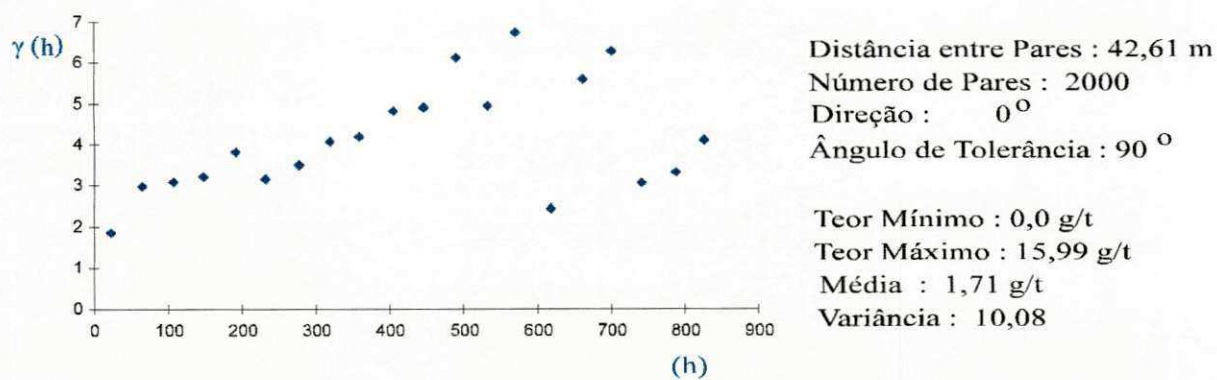


FIGURA 32 - Variograma experimental de amostras com zero e sem extremos e distância entre pares de amostras de 42,61 m - veio do Covico

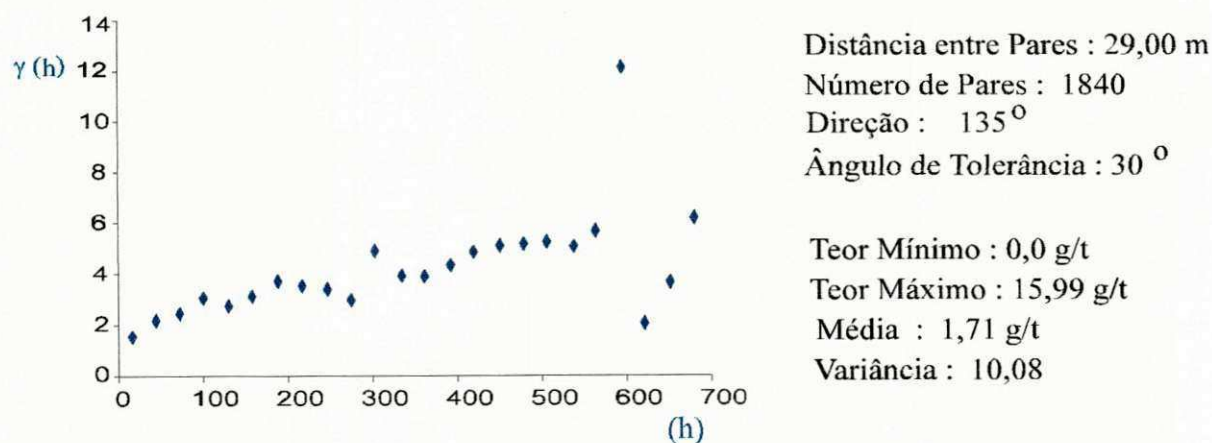


FIGURA 33 - Variograma experimental de amostras com zero e sem extremos e distância entre pares de amostras de 29,00 m - veio do Covico

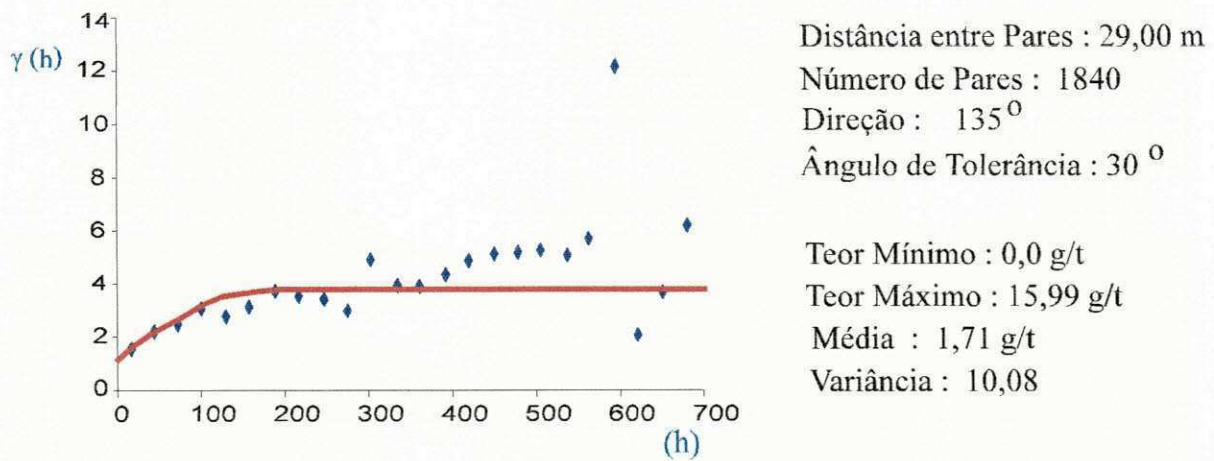


FIGURA 34 - Variograma teórico de amostras com zero e sem extremos e distância entre pares de amostras de 29,00 m- veio do Covico

TABELA 24 – Parâmetros de variograma de amostras com zero e sem extremos com distância entre pares de 29,00 m
 – *Veio do Covico*

Teores	Co (Efeito Pepita)	C1 (Variância)	A (Alcance)	Co+C1 (Patamar)	Co/C	Nº de Amostras	Distância Entre Pares de Amostras
$0 \leq \text{teor} \leq 30$	1,3	2,4	185,00	3,7	0,35	65	29,00

TABELA 25 – Parâmetros estatísticos da validação dos dados (“cross-validation”) de amostras com zero e sem extremos com $h = 29,00$ m – *Veio do Covico*

Teores	Média Observada	Variância Observada	Média Estimada	Variância Estimada	Média Erro	Variância do Erro	Média de Variância de Krigagem
$0 \leq \text{teor} \leq 30$	1,71	10,24	1,80	3,54	0,095	7,52	1,88

krigagem e a variância do erro diminuiu consideravelmente, em comparação com o variograma teórico com todos os valores, significando numa melhor estrutura variográfica. O resultado encontrado do z-score é igual a 0,054, abaixo do valor crítico 1,96 no intervalo de confiança de 95% (Tabela 26). Estes valores refletem os melhores resultados encontrados no estudo dos variogramas na região do veio do Covico.

6.2.2.3 - Valores sem Zeros e sem Extremos

Com o objetivo de pesquisar efeito de eliminação de amostras com zeros e extremos, foram realizadas análises variográficas excluindo 21 amostras com teores iguais a zero e um valor extremo, o que resultou na média amostral de 2,53 g/t e variância de 13,13. O coeficiente de variação de 143,16 %, demonstra a irregularidade da jazida embora o coeficiente é abaixo dos valores obtidos anteriormente (Tabela 27). A assimetria é positiva com 2,41 e seu histograma de frequência simples é caracterizado como sendo multi-modal, encaixando como modelo logarítmico (Figura 35). Nesta nova curva de probabilidade normal, observa-se um outro ponto afastado, mas devido a sua proximidade com os teores existentes não foi considerada como valor extremo (Figura 36). A natureza do histograma e da curva de probabilidade normal não difere das anteriores, mas observa-se um aumento na média amostral e na variância quando compara-se com aquelas com zero e sem extremos.

No modelamento dos variogramas adotou-se os passos descritos para os variogramas já elaborados anteriormente. No primeiro variograma utilizaram-se os mesmos parâmetros já utilizados previamente. O ângulo de tolerância é de 90°, sem especificar a direção e distância entre pares de amostras de 41,15 m (Figura 37). As

TABELA 26 - Parâmetros dos intervalos de confiança de amostras com zero e sem extremos com $h = 29,00$ m - *Veio do Covico*

Distância entre pares de amostras	z-score	Intervalo de Confiança 95%	Intervalo de Confiança 99%
$h = 29$ m	0,054	1,96	2,57

TABELA 27 – Parâmetros da estatística básica de amostras sem zero e sem extremos – *Veio do Covico*

Teores	Média	Variância	Coefficiente de Variação	Assimetria	Curtose	Nº de Amostras
0 < teor < 30	2,53	13,13	143,16	2,41	8,75	44

TABELA 28 – Parâmetros de variograma de amostras sem zero e sem extremos com distância entre pares de 30,5 m – *Veio do Covico*

Teores	Co (Efeito Pepita)	C1 (Variância)	A (Alcance)	Co+C1 (Patamar)	Co/C	Nº de Amostras	Distância Entre Pares de Amostras
0 < teor < 30	0,8	1,4	200,00	2,2	0,363	44	30,5

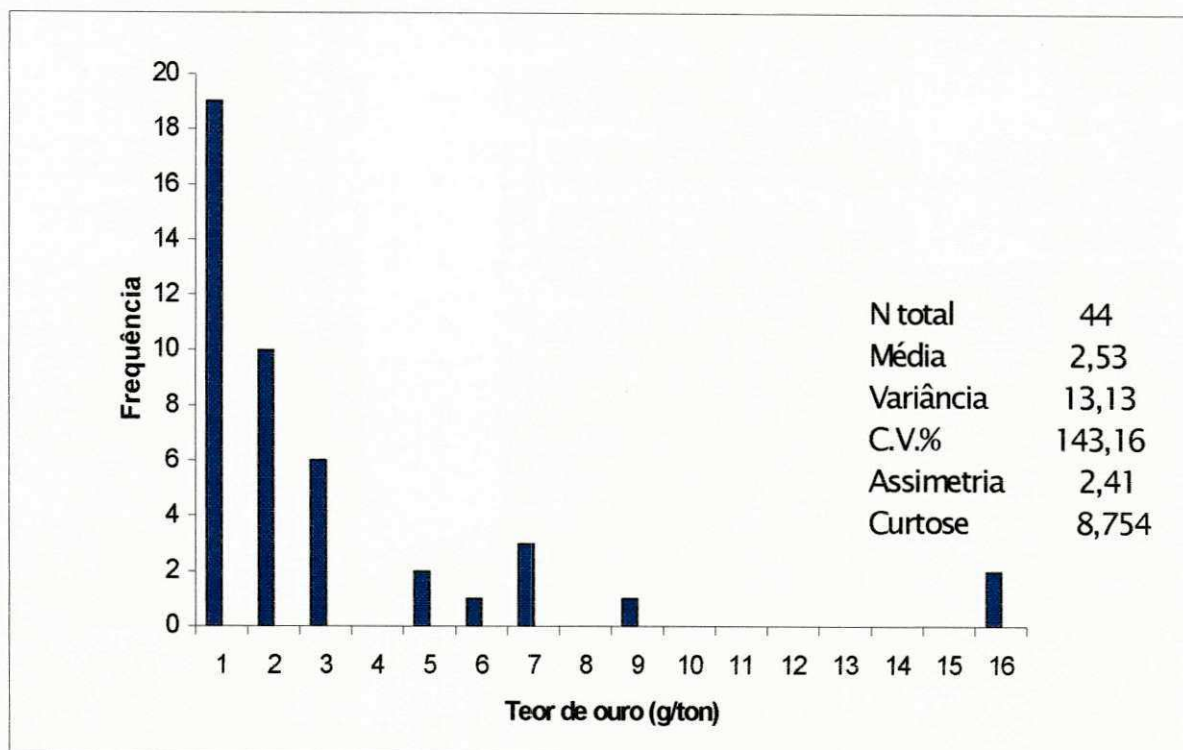


FIGURA 35 - Histograma de frequência simples de amostras sem zero e sem extremo - veio Covico

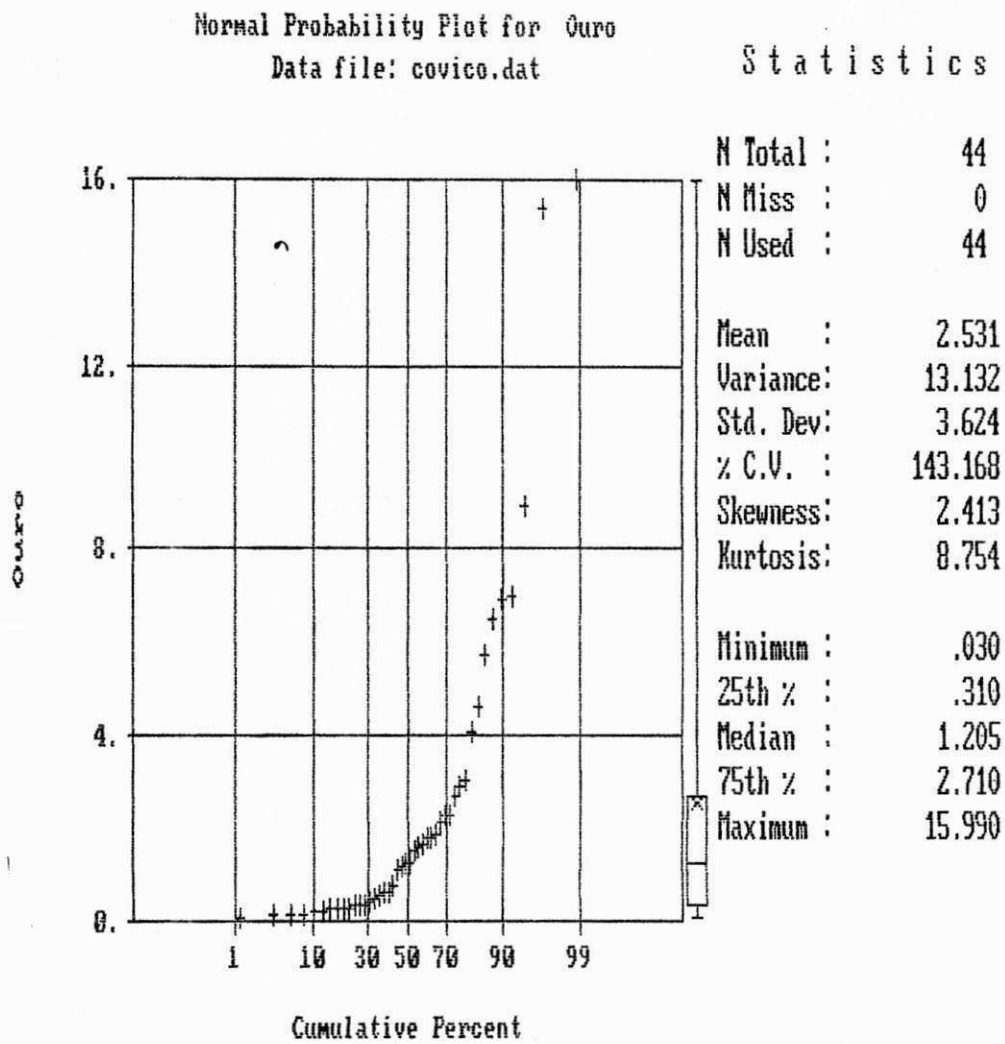
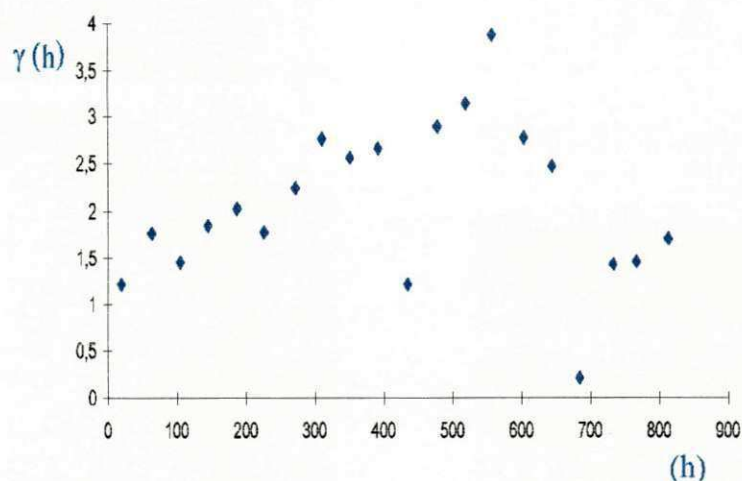


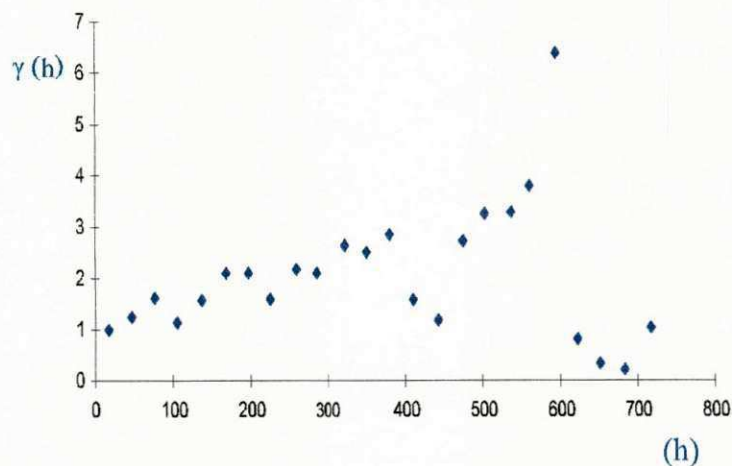
FIGURA 36 - Curva de probabilidade normal de amostras sem zero e sem extremos - veio do Covico



Distância entre Pares : 41,15 m
 Número de Pares : 946
 Direção : 0°
 Ângulo de Tolerância : 90°

Teor Mínimo : 0,03 g/t
 Teor Máximo : 15,99 g/t
 Média : 2,53 g/t
 Variância : 12,83

FIGURA 37 - Variograma experimental de amostras sem zero e sem extremos com distância entre pares de amostras de 41,15 m - veio do Covico



Distância entre Pares : 29,00 m
 Número de Pares : 1840
 Direção : 135°
 Ângulo de Tolerância : 30°

Teor Mínimo : 0,03 g/t
 Teor Máximo : 15,99 g/t
 Média : 2,53 g/t
 Variância : 12,83

FIGURA 38 - Variograma experimental de amostras sem zero e sem extremos com distância entre pares de amostras de 29,00 m - veio do Covico

características observadas são as mesmas dos variogramas anteriores com estrutura variográfica não bem definida, necessitando assim variar os parâmetros descritos para se obter preliminarmente um variograma experimental e posteriormente o variograma teórico.

A nova seleção dos parâmetros seguiu com a ajuda dos variogramas computados anteriormente, sendo: ângulo de tolerância de 30° , direção de 135° e distância entre pares de amostras de 30,5 m. O variograma experimental encontrado apresenta-se com alguns pontos muito afastados e sem forma bem definida, mesmo assim foi aproveitado na elaboração de variograma teórico (Figura 38). Traçou-se um variograma teórico para tentar estabelecer a veracidade desta estrutura variográfica. O modelamento apresentou efeito pepita com valor de 0,8, variância de dispersão de 1,4 e o alcance calculado de 200,00 m (Tabela 28). O variograma teórico foi ajustado a partir destes dados obtidos do variograma experimental (Figura 39).

Na validação dos dados a partir do variograma teórico obtido, tem como resultado a média estimada igual a 2,73 g/t e variância de 3,70, o valor da média estimada aproxima-se da média amostral (2,53g/t) mas a variância amostral (13,13) é muito superior à variância estimada. A média do erro é de 0,20 g/t, com variância de valor igual a 10,60. A média de variância de krigagem de valor igual a 1,17, aproxima-se da variância do erro, sendo este parâmetro um bom indicador para a confecção do variograma teórico (Tabela 29). O z-score de valor igual a 0,164, implica numa aceitação até um nível de confiança de 95%, comprovando também que não existe praticamente diferença entre a média esperada e estimada (Tabela 30).

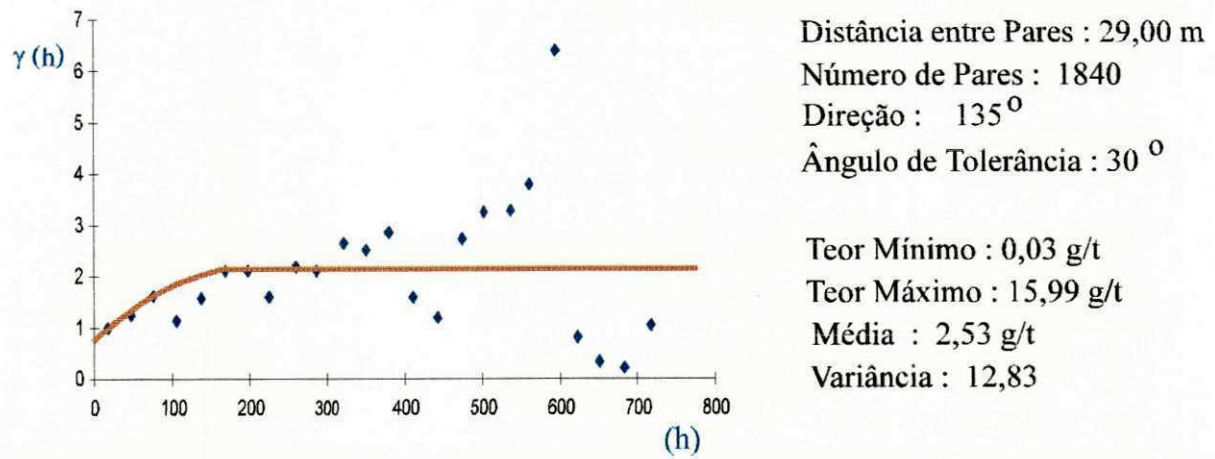


FIGURA 39 - Variograma teórico de amostras sem zero e sem extremos com distância entre pares de amostras de 29,00 m - veio do Covico

TABELA 29 – Parâmetros estatísticos da validação dos dados (“cross validation”) de amostras sem zero e sem extremos com $h = 29,00$ m - *Veio do Covico*

Distância entre pares de amostras	Média Observada	Variância Observada	Média Estimada	Variância Estimada	Média Erro	Variância do Erro	Média de Variância de Krigagem
$h = 29,00$	2,53	13,13	2,73	3,68	0,204	10,60	1,17

TABELA 30 – Parâmetros dos intervalos de confiança de amostras sem zero e sem extremos com $h = 29,00$ m - *Veio do Covico*

Distância entre pares de amostras	z-score	Intervalo de Confiança 95%	Intervalo de Confiança 99%
$h = 29,00$	0,164	1,96	2,57

6.2.2.4 - Valores sem Zeros e com Extremos

Levando em consideração todo o estudo executado até o presente momento, foi analisada amostras sem zeros e com extremos. Foram retirada neste estudo 21 amostras com teor zero, restando assim 45 amostras para saber os efeitos dos teores iguais a zero na análise variográfica. A média amostral de valor igual a 3,24 g/t é a maior registrada e possui variância de 35,72 também sendo a maior registrada no veio do Covico. O coeficiente de variação de valor igual a 184,23 representa a natureza errática do minério de ouro. A assimetria é positiva de valor 3,72 e curtose com valor de 18,60 caracterizada como leptocúrtica (Tabela 31), caracterizado no histograma de frequência simples como modelo logarítmico (Figura 40). A curva normal de probabilidade é representada pelo modelo logarítmico, pois apresenta uma curva característica deste modelo (Figura 41). A Curva normal de probabilidade e o histograma de frequência simples não diferem dos anteriores, sendo até uma característica dos veios encontrados na região de Cachoeiras de Minas.

A análise variográfica prossegue com os mesmos objetivos já discutidos anteriormente. O primeiro variograma utiliza ângulo de tolerância de 90°, sem especificar a direção e distância entre os pares de amostras iguais a 41,542 m (Figura 42). O resultado desta análise variográfica mostra um variograma sem orientação e sem uma estrutura bem caracterizada, demonstrando assim a necessidade de variar os parâmetros para obter uma estrutura variográfica.

O segundo variograma com o ângulo de tolerância de 30°, direção estrutural de 135 ° e distância entre pares de amostras de 27 m, mostra uma estrutura variográfica para as condições existentes, podendo considerar-se como um variograma experimental (Figura 43). No cálculo do variograma teórico o efeito pepita calculado é de 1,3 , a

TABELA 31 - Parâmetros da estatística básica de amostras sem zero e com extremos - veio do Covico

Teores	Média	Variância	Coeficiente de Variação	Assimetria	Curtose	Nº de Amostras
$0 < \text{teor} \leq 50$	3,24	35,72	184,23	3,72	18,60	45

TABELA 32 - Parâmetros de variograma, valores sem zero e com extremos com distância entre pares de 27,00 m - veio do Covico.

Teores	Co (Efeito Pepita)	C1 (Variância)	A (Alcance)	Co+C1 (Patamar)	Co/C	Nº de Amostras	Distância Entre Pares de Amostras
$0 < \text{teor} \leq 50$	1,3	2,2	200,00	3,5	0,371	45	27,00

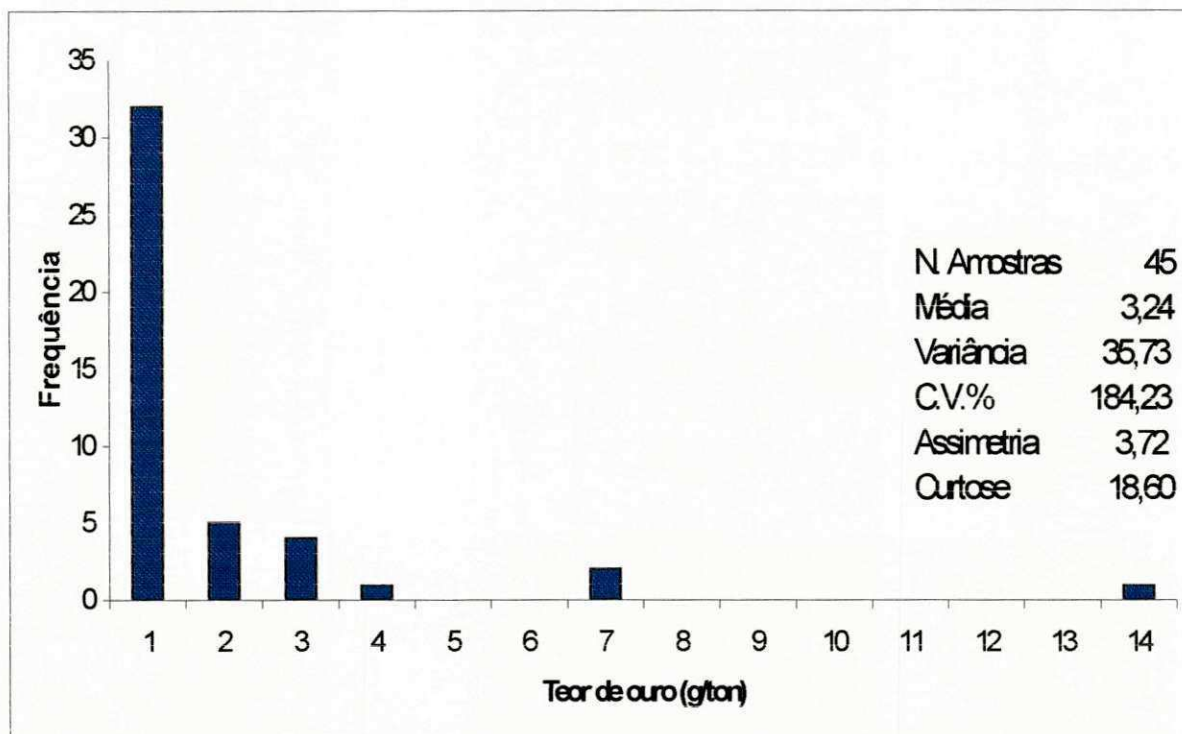


FIGURA 40 - Histograma de frequência simples de amostras sem zero e com extremos - veio do Covico

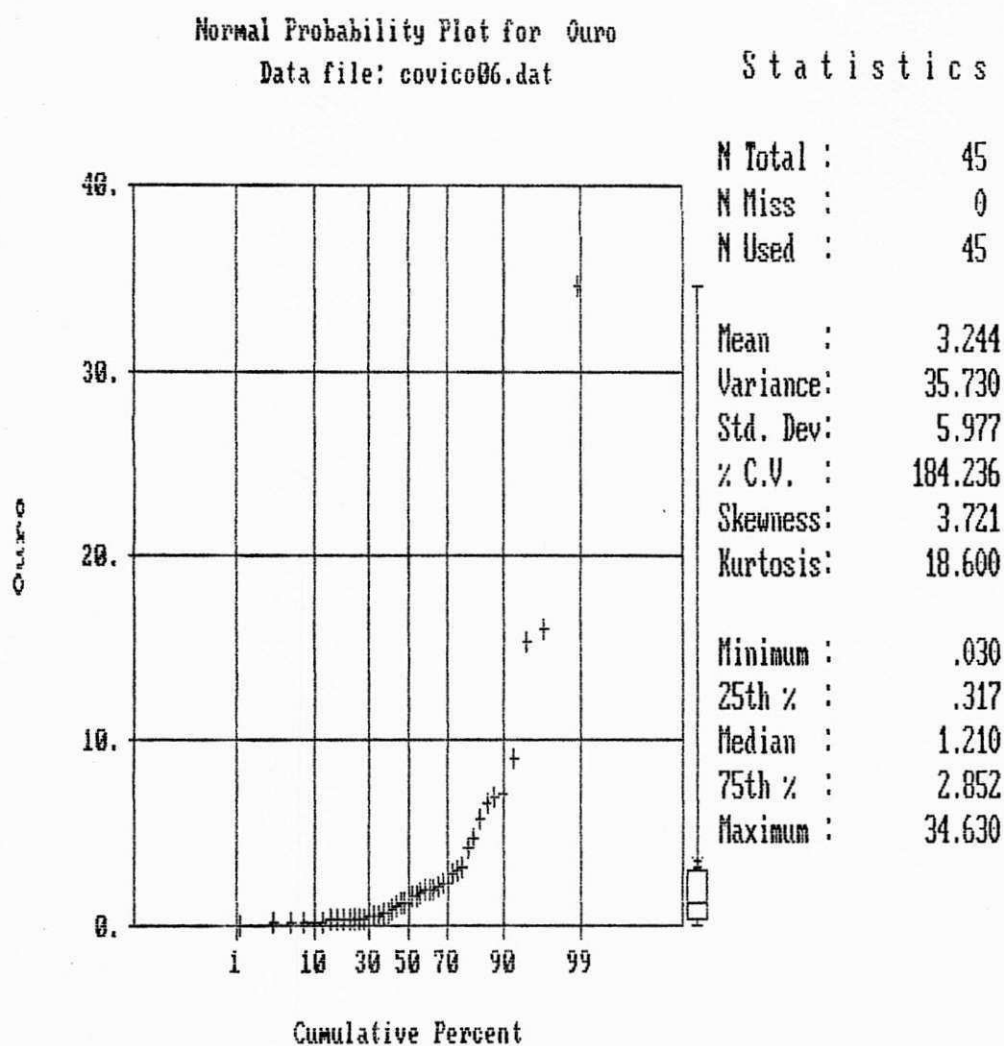
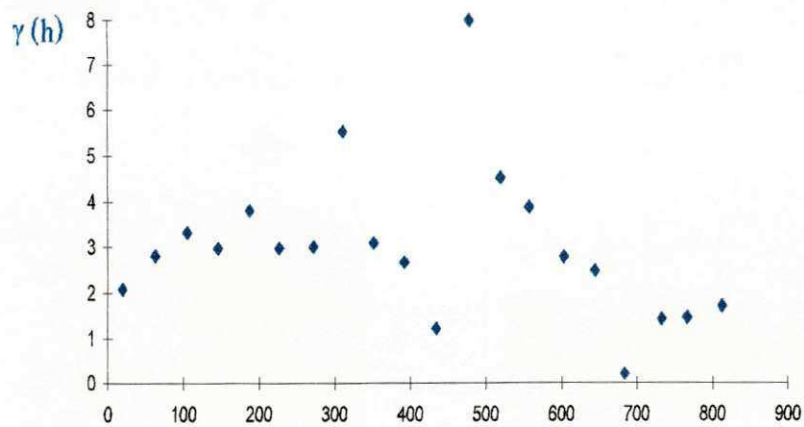


FIGURA 41 - Curva de probabilidade normal de amostras sem zero e com extremos - veio do Covico



Distância entre Pares : 41,54 m

Número de Pares : 990

Direção : 0°

Ângulo de Tolerância : 90°

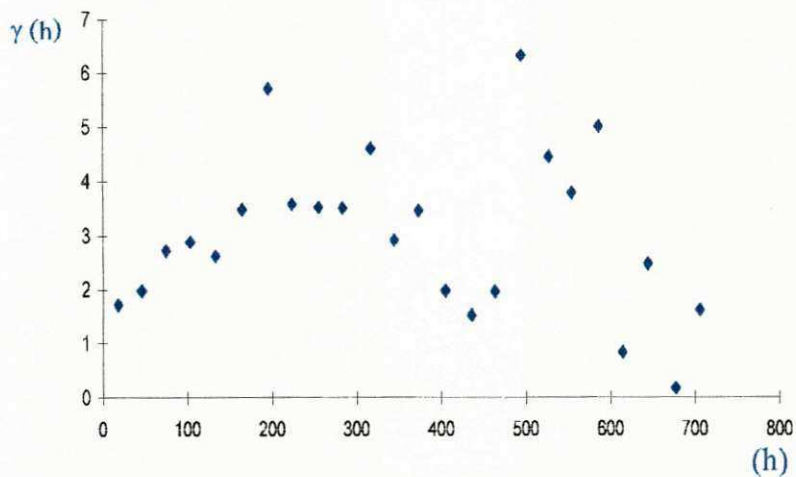
Teor Mínimo : 0,03 g/t

Teor Máximo : 34,63 g/t

Média : 3,24 g/t

Variância : 34,93

FIGURA 42 - Variograma experimental de amostras sem zero e com extremos com distância entre pares de amostras de 41,54 m - veio do Covico



Distância entre Pares : 27,00 m

Número de Pares : 868

Direção : 135°

Ângulo de Tolerância : 30°

Teor Mínimo : 0,03 g/t

Teor Máximo : 34,63 g/t

Média : 3,24 g/t

Variância : 34,93

FIGURA 43 - Variograma experimental de amostras sem zero e com extremos com distância entre pares de amostras de 27,00 m - veio do Covico

variância de dispersão igual a 2,2 e o alcance entre os pares de amostras é de 200 m (Figura 44 e Tabela 32).

A validação dos dados resultou na média estimada de 3,54 g/t e variância estimada de 8,88, bastante próxima da média amostral (3,24 g/t) e bem abaixo da variância amostral (35,72). A média do erro é de 0,29, variância do erro de 31,08 e a variância média de krigagem apresenta valor igual a 1,88 (Tabela 33). Este variograma ajustado em comparação com os outros do veio do Covico, é o que mostra a maior diferença entre a variância do erro e a variância média de krigagem. O resultado do z-score é igual a 0,212, estando dentro do intervalo de confiança de 95%, onde o valor tabelado é de 1,96 aceitando-se a hipótese que a média amostral é igual a média estimada (Tabela 34).

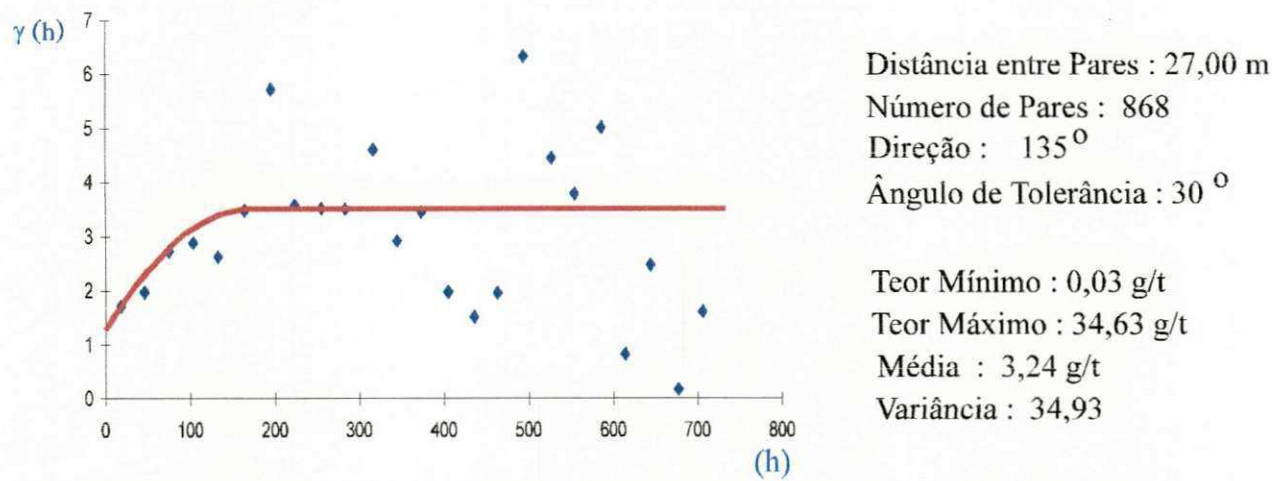


FIGURA 44 - Variograma teórico de amostras sem zero e com extremos com distância entre pares de amostras de 27,00 m - veio do Covico

TABELA 33 – Parâmetros estatísticos da validação dos dados (“cross - validation”) de amostras sem zero e com extremos com $h = 27,00$ – *Veio do Covico*

Distância entre pares de amostras	Média Observada	Variância Observada	Média Estimada	Variância Estimada	Média Erro	Variância do Erro	Média de Variância de Krigagem
$h = 27,00$	3,24	35,74	3,54	8,88	0,298	31,08	1,88

TABELA 34 – Parâmetros dos intervalos de confiança de amostras sem zero e com extremos com $h = 27,00$ m – *Veio do Covico*

Distância entre pares de amostras	z-score	Intervalo de Confiança 95%	Intervalo de Confiança 99%
$h = 27,00$	0,212	1,96	2,57

6.3 - MODELAMENTO DO VARIOGRAMA DE OURO NO SOLO DE CACHOEIRAS DE MINAS.

As análises de teores de ouro no solo na região de Cachoeiras de Minas abrangeu os setores Covico e Farias. Nesta primeira fase, foram elaborados variogramas utilizando todas as amostras e por não existirem valores iguais a zero, a elaboração dos modelos variográficos resultou com todos os teores.

A confecção dos variogramas iniciou-se variando os parâmetros: ângulo de tolerância, distância entre os pares de amostras e o ângulo de direção estrutural denominado de anisotropia, onde consegue-se um modelo variográfico experimental apropriado para a estrutura regional. O variograma esférico é o modelo escolhido para detectar a estrutura das jazidas minerais na região de Cachoeiras de Minas, apresentando modelos transicionais como patamar, variância de dispersão, efeito pepita e alcance. Na confecção do variograma teórico realizam-se os mesmos procedimentos utilizados anteriormente nos veios de Farias e do Covico, ou seja, a partir dos três primeiros pontos do variograma experimental estabeleceu uma tangente à curva média original para calcular o efeito pepita do variograma. O segundo procedimento é para verificar a estabilização do variograma, onde a fórmula matemática $C_0 + C$ fornece o valor do patamar. No cálculo do alcance utilizou-se a expressão matemática $h = 2/3 a$, onde h é o valor anterior à interseção da tangente no patamar (Journel, 1977).

O modelamento do variograma de ouro no solo na região de Cachoeiras de Minas foi executado sobre :

a) Região de Cachoeiras de Minas - Onde foram estudados todas as amostras de solo da região de Cachoeiras de Minas.

b) Área do Farias - As amostras na localidade do Veio do Farias.

c) Área do Covico - As amostras na localidade do Veio do Covico.

6.3.1 - Região de Cachoeiras de Minas

A região de Cachoeiras de Minas abrange toda a ocorrência de ouro estudada na fase de pesquisa executada pela CDRM (Silva, 1989), que inclui as áreas do Farias e do Covico. Nesta primeira fase foi contemplado um estudo variográfico de amostras em toda a região, iniciando com a estatística básica, variogramas experimentais, variogramas teóricos e posteriormente a krigagem para validação dos dados.

A computação de parâmetros estatísticos básicos para todas as amostras constatou média amostral de 52,08 ppb e variância de 10.858,30 (Tabela 35). O coeficiente de variação de 200,08 é atribuído a alta irregularidade na distribuição do metal, caso típico do minério de ouro. O histograma de frequência simples apresenta com curtose elevada de valor 26,80 e assimetria positiva de valor 4,49 caracterizada como leptocúrtica (Figura 45). O histograma apresenta-se em forma de log-normal, que é confirmada pela a curva de probabilidade (Figura 46).

O primeiro variograma experimental é obtido dos seguintes parâmetros: distância entre pares 232,24 m ; ângulo de tolerância de 90° e sem especificar a direção para desconsiderar o fator de anisotropia (Figura 47). O resultado demonstrou uma certa estrutura variográfica mostrando uma correlação entre os primeiros pontos, caracterizando assim a existência de influência ou alcance. No variograma experimental não fica evidente a estabilização do patamar devido a variância de dispersão ser bastante elevada. Um modelo teórico foi ajustado para a validação dos dados em todas as direções e para escolher a direção da anisotropia que os outros modelos poderiam apresentar. O modelo teórico é assinalado pelo efeito pepita igual a 3,3; variância de dispersão de 2,0; e alcance de 1.500,00 m (Figura 48 e Tabela 36). Na validação deste variograma teórico, a média estimada é de 55,51 ppb e variância estimada de 2.083,8. A média estimada fica na

TABELA 35 – Parâmetros da estatística básica com amostras de Solo Completo

Teores (ppb)	Média	Variância	Coefficiente de Variação	Assimetria	Curtose	Nº de Amostras
$9 \leq \text{teor} \leq 950$	52,08	10.858,2	200,08	4,49	26,80	571

TABELA 36 – Parâmetros de variograma com distância entre pares de amostras de 232,54 m – *Solo Completo*

Teores (ppb)	Co (Efeito Pepita)	C1 (Variância)	A (Alcance)	Co+C1 (Patamar)	Co/C	Nº Amostras	Distância entre pares de amostras
$9 \leq \text{teor} \leq 950$	3,3	2,0	1500,00	5,3	0,62	571	232,54

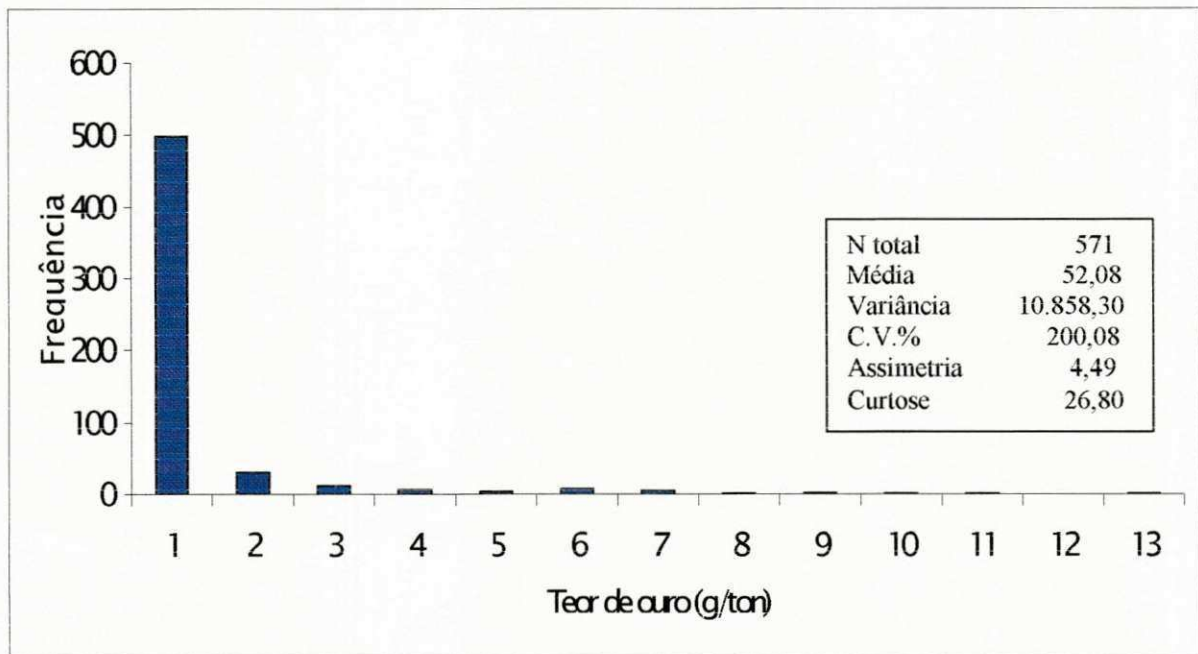
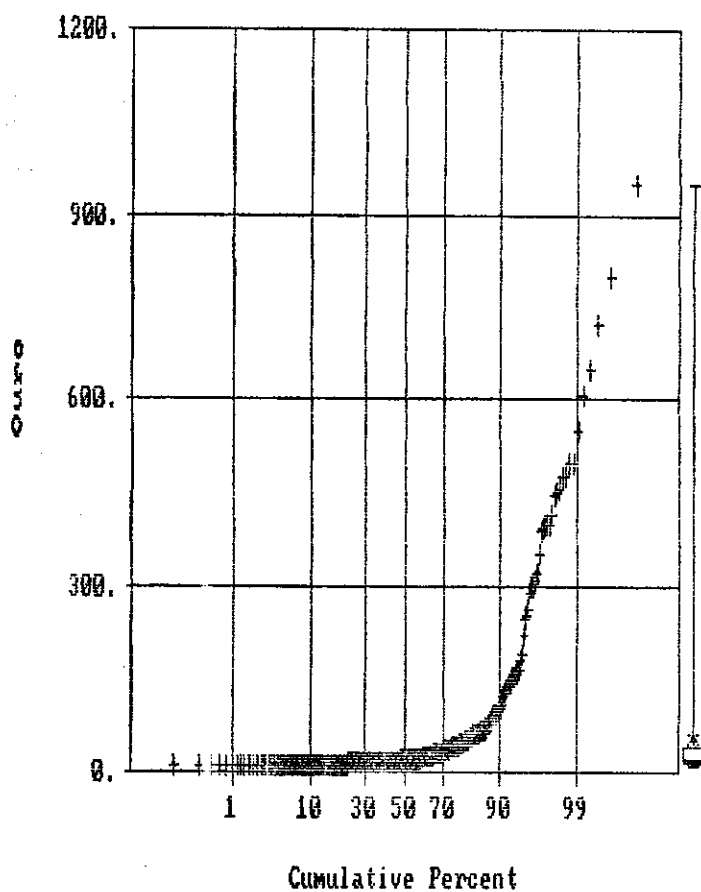


FIGURA 45 - Histograma de Frequência simples - solo completo

Normal Probability Plot for Ouro
Data file: solol.dat

Statistics



N Total :	571
N Miss :	0
N Used :	571
Mean :	52.081
Variance:	10858.300
Std. Dev:	104.203
% C.V. :	200.081
Skewness:	4.493
Kurtosis:	26.809
Minimum :	9.000
25th % :	12.000
Median :	18.000
75th % :	39.000
Maximum :	950.000

FIGURA 46 - Curva de probabilidade normal - solo completo

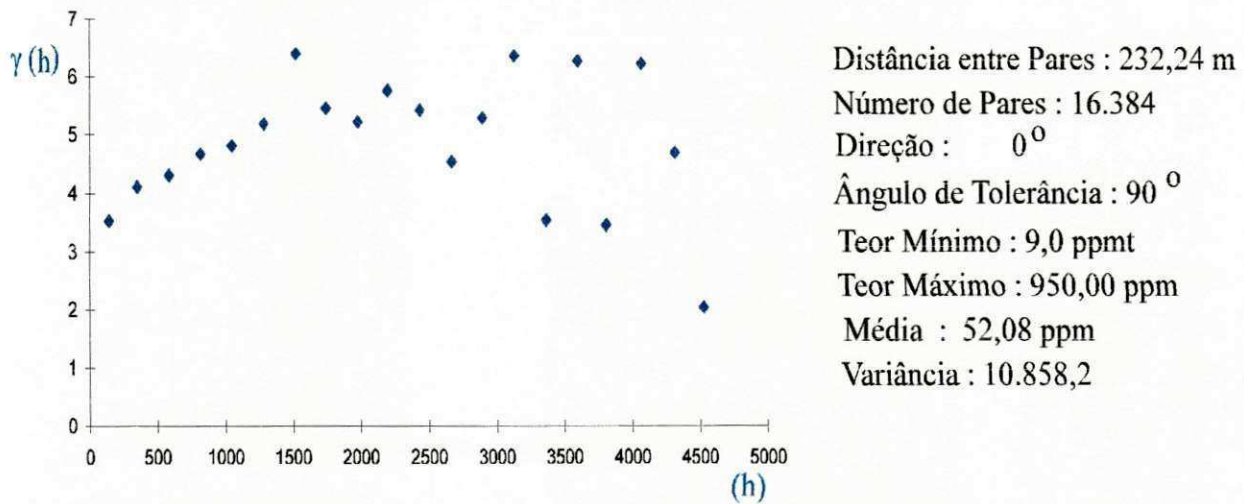


FIGURA 47 - Variograma experimental com distância entre pares de amostras de 232,24 m - solo completo

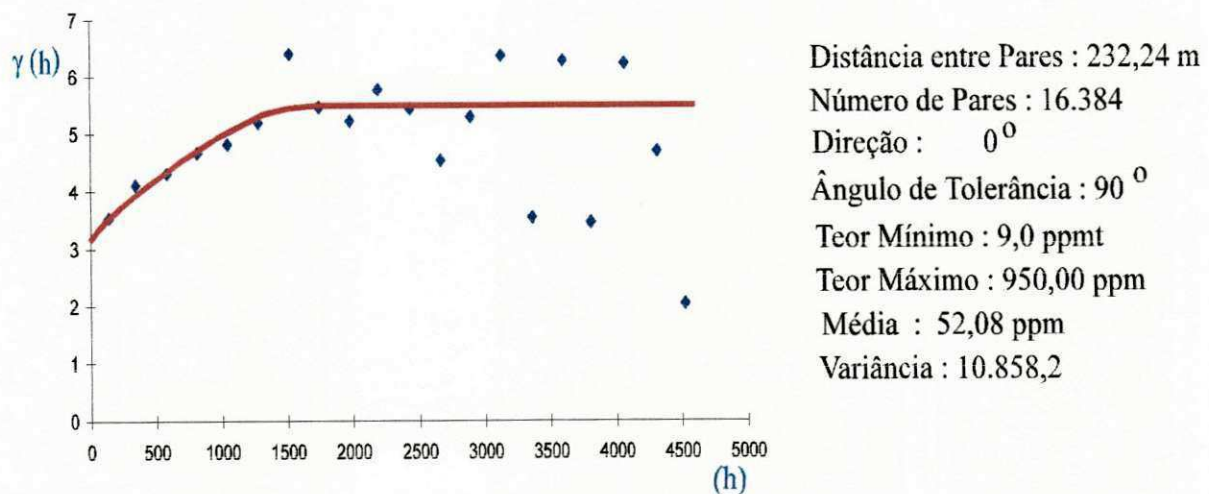


FIGURA 48 - Variograma teórico com distância entre pares de amostras de 232,24 m - solo completo

vizinhança da média observada (52,08 ppb) e a variância estimada é bem menor que a observada (10.858,2). O erro médio é de apenas 3,43 ppb com variância do erro permanecendo muito alta com valor de 10.409,5. A variância de krigagem de 3,82 é muito menor que a variância do erro (10.409,5) (Tabela 37).

A elaboração de modelos teóricos adicionais foi feita variando os parâmetros: ângulo de tolerância, distância entre pares de amostras e anisotropia. A estabilização do patamar não é bem definida nos variogramas elaborados. Entretanto, encontraram-se dois modelos experimentais com ângulo de tolerância de 30°, direção estrutural de 45° (anisotropia) e variando apenas a distância h entre os pares de amostras. Na distância h de 250 m entre pares de amostras, o modelo revela uma aparente continuidade nos teores entre as amostras, indicando a existência de duas estruturas variográficas (Figura 49). O variograma teórico possui feições transitórias com efeito pepita igual a 3,1, variância de dispersão igual a 3,0 e o alcance igual a 1500 m (Tabela 38 e Figura 50). A validação dos dados resultou na média estimada de 48,90 ppb, com variância de 2.400,80. O erro médio é de 3,18 ppb com variância do erro de 10.513,01 (Tabela 39). A diferença entre a variância do erro de 10.513,01 e a média de variância de krigagem com valor de 3,72 permanece bastante acentuada. A aceitação da hipótese nula a um nível de confiança de 95%, mostra que a diferença não é significativa entre a média amostral (52,08) e a média estimada (48,90), pois seu z -score está confirmado dentro do intervalo estabelecido que é de 1,96 (Tabela 40).

Para melhorar o modelo foram utilizados as mesmas direções (45°) o mesmo ângulo de tolerância (30°) variando apenas a distância entre pares (h) de 250 m para 125 m (Figura 51). O variograma teórico computado a partir deste variograma experimental tem como modelo transicional o efeito pepita de 2,5; a variância de dispersão de valor 2,7;

TABELA 37 – Parâmetros estatísticos da validação dos dados (“cross validation”) com $h = 232,54$ m – *Solo Completo*

Distância entre pares de amostras	Média Observada	Variância Observada	Média Estimada	Variância Estimada	Média Erro	Variância Erro	Média de Variância de Krigagem
$h=232,54$ m	52,08	10.858,2	55,51	2.083,8	3,43	10.409,5	3,82

TABELA 38 – Parâmetros de variograma com distância entre pares de amostras de 250,00 m – *Solo Completo*

Teores (ppb)	Co (Efeito Pepita)	C1 (Variância)	A (Alcance)	Co+C1 (Patamar)	Co/C	Nº Amostras	Distância entre pares de amostras (m)
$9 \leq \text{teor} \leq 950$	3,1	3,0	1.500,00	6,1	0,50	571	250,00

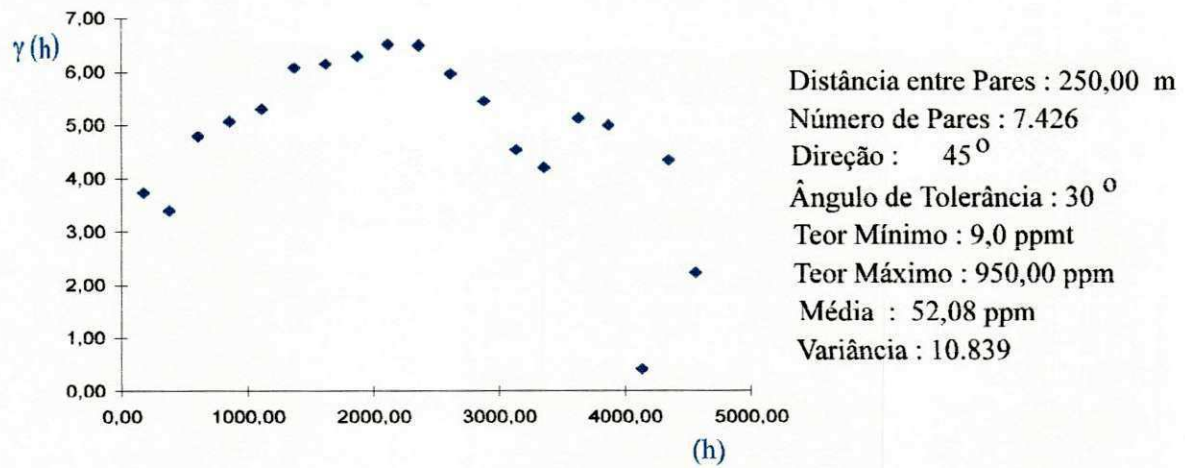


FIGURA 49 - Variograma experimental com distância entre pares de amostras de 250,00 m - Solo Completo

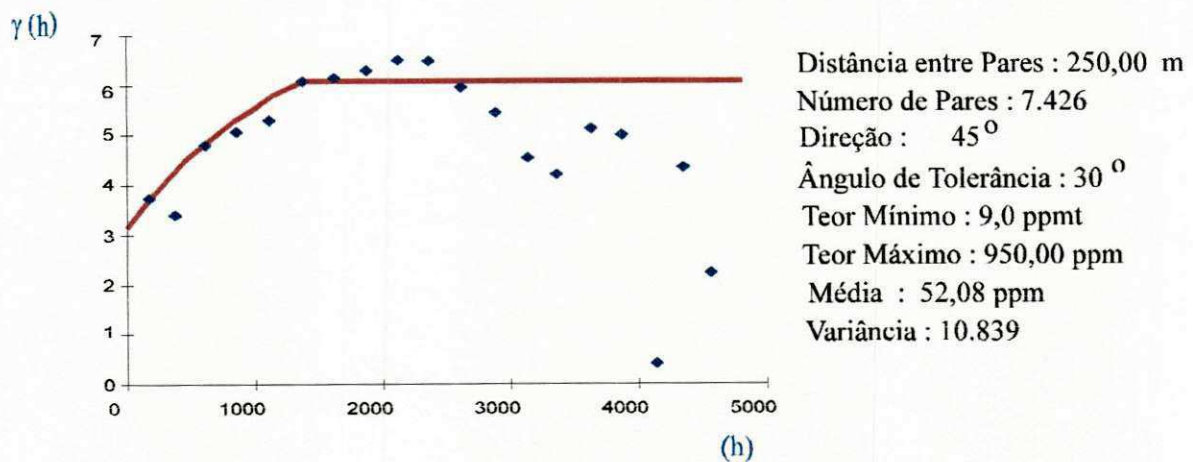


FIGURA 50 - Variograma Teórico com distância entre pares de amostras de 250,00 m - Solo Completo

TABELA 39 – Parâmetros estatísticos da validação dos dados (“cross-validation”) com $h = 250,00$ m – *Solo Completo*

Distância entre pares de amostras	Média Observada	Variância Observada	Média Estimada	Variância Estimada	Média Erro	Variância Erro	Média de Variância de Krigagem
$h=250,00$ m	52,08	10.858,2	48,90	2.400,80	3,18	10.513,01	3,72

TABELA 40 – Parâmetros dos intervalos de confiança com $h = 250,00$ m – *Solo Completo*

Distância entre pares de amostras	z-score	Intervalo de Confiança 95%	Intervalo de Confiança 99%
$h = 250,00$ m	1,61	1,96	2,57

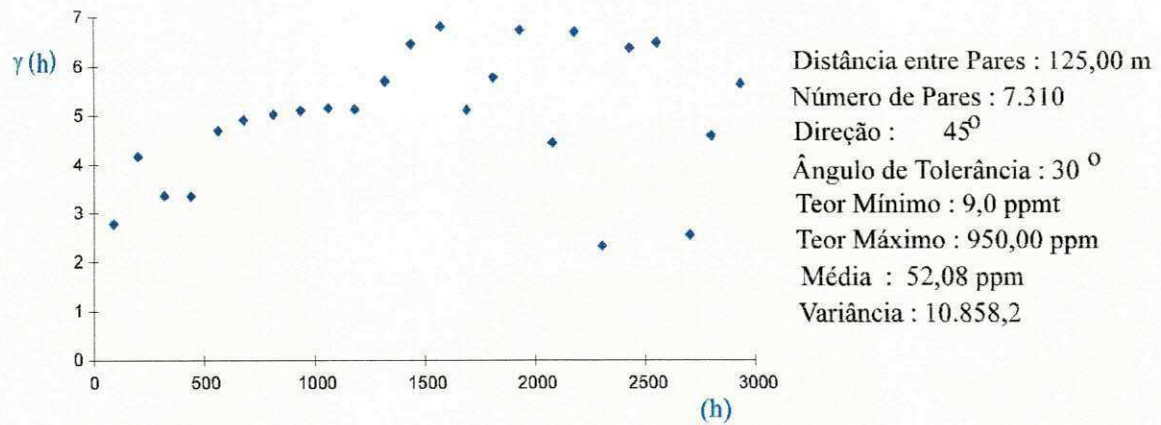


FIGURA 51 - Variograma experimental com distância entre pares de amostras de 125,00 m - Solo Completo

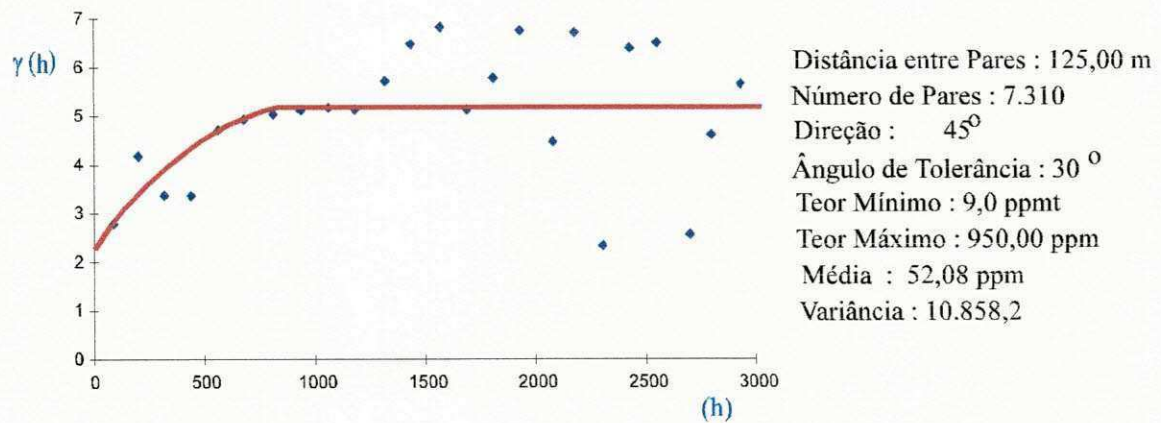


FIGURA 52 - Variograma Teórico com distância entre pares de amostras de 125,00 m - Solo Completo

e como terceiro parâmetro o alcance de 1.000,00 m (Figura 52 e Tabela 41). A validação dos dados teve como resultados a média estimada de valor igual a 55,18 ppb com variância estimada de valor 2.404,62. O erro entre a média estimada e amostral é de 3,10 ppb com variância de 10.437,89 (Tabela 42). No intervalo de confiança a um nível de 95 % aceita-se a hipótese nula, que diz que a média amostral não difere muito da média estimada, tendo como resultado o z-score de valor 1,758 que é menor que o valor tabelado 1,96 (Tabela 43). Os resultados encontrados pouco diferem dos já obtidos anteriormente.

Com o objetivo de verificar a existência de duas estruturas variográficas oriundas das áreas do Farias e Covico nos variogramas, decidiu-se pelo modelamento de variogramas para as amostras dos teores de solo para as áreas do Farias e Covico separadamente.

6.3.2 - Área do Farias

As amostras de solo foram coletadas e analisadas ao longo de toda a extensão do veio. Isso para poder detectar influência de veio na migração do metal no solo.

O total de amostras coletadas é 134 com o teor mínimo de 9,00 ppb e máximo de 950,00 ppb. A média amostral para os valores estabelecidos é de 68,82 ppb com variância amostral de 21.873,13 (Tabela 44). O coeficiente de variação de valor igual a 214,87 fica no mesmo patamar do valor encontrado em relação a toda a área de amostragem do setor Cachoeiras de Minas, comprovando a alta irregularidade da ocorrência de ouro. A assimetria de valor igual a 3,61 e curtose elevada de valor igual a 17,13, afirma a condição de distribuição log-normal com assimetria positiva e curtose caracterizada como leptocúrtica. Estes dados são bem representados no histograma

TABELA 41 – Parâmetros de variograma com distância entre pares de amostras de 125,00 m – *Solo Completo*

Teores (ppb)	Co (Efeito Pepita)	C1 (Variância)	A (Alcance)	Co+C1 (Patamar)	Co/C	Nº Amostras	Distância entre pares de amostras
9 ≤ teor ≤ 950	2,5	2,7	1000,00	5,2	0,48	571	125,00

TABELA 42 – Parâmetros estatísticos da validação dos dados (“cross validation”) com h = 125,00 m – *Solo Completo*

Distância entre pares de amostras	Média Observada	Variância Observada	Média Estimada	Variância Estimada	Média Erro	Variância Erro	Média de Variância de Krigagem
h=125,00 m	52,08	10.858,2	55,18	2.404,62	3,10	10.437,89	3,12

TABELA 43 - Parâmetros dos intervalos de confiança com $h = 125,00$ m - *Solo Completo*

Distância entre pares de amostras	z-score	Intervalo de Confiança 95%	Intervalo de Confiança 99%
$h = 125,00$ m	1,758	1,96	2,57

TABELA 44 – Parâmetros da estatística básica – *Solo Farias*

Teores (ppb)	Média	Variância	Coefficiente de Variação	Assimetria	Curtose	Nº de Amostras
$9 \leq \text{teor} \leq 950$	68,82	21.873,13	214,87	3,61	17,13	134

TABELA 45 – Parâmetros do Variograma com distância entre pares de amostras de 89,50 m – *Solo Farias*

Teores (ppb)	Co (Efeito Pepita)	C1 (Variância)	A (Alcance)	Co+C1 (Patamar)	Co/C	Nº Amostras	Distância entre pares de amostras
$9 \leq \text{teor} \leq 950$	1,8	3,0	1000,00	4,8	0,37	134	89,50

de frequência simples e na curva de probabilidade normal onde os pontos ocorrem em forma de uma curva (Figura 53 e 54).

O primeiro variograma experimental é confeccionado com ângulo de tolerância de 90° e distância entre pares de amostras igual a 217,73 m (Figura 55). Este primeiro variograma reflete a alta variância de dispersão, e não consegue atingir a estabilização de patamar. Tentou-se aprimorar este variograma experimental mudando os parâmetros ângulo de tolerância, direção estrutural e distância entre pares de amostras.

Um segundo variograma foi elaborado com ângulo de tolerância de 45° , direção estrutural de 45° e distância entre pares de amostras igual 89,50 m (Figura 56). Neste segundo variograma, estabeleceu-se o variograma teórico com efeito pepita 1,8; variância de dispersão igual a 3,0; e alcance de valor igual a 1000,00 m (Figura 57 e Tabela 45). Na validação do variograma teórico encontrou média estimada de 74,60 ppb e variância estimada de 5.621,40. O erro amostral é de 5,77 ppb e sua variância é de 20.018,57 (Tabela 46). A variância de krigagem, de valor igual a 2,54 está muito distante da variância do erro (20.018,57), demonstrando a alta variabilidade do depósito.

Um terceiro variograma experimental foi computado para as amostragens de solo tendo como parâmetros: ângulo de tolerância de 45° , direção estrutural de 45° e distância entre pares de amostras com 94,00 m (Figura 58). A partir desta nova estrutura encontrada calculou-se um novo variograma teórico, com efeito pepita de 1,60, variância de dispersão de 3,0 e alcance de 700 m (Figura 59 e Tabela 47). A validação deste variograma resultou numa média estimada de 73,57 com variância estimada de 5.580,09 (Tabela 48). O erro amostral de 4,74 e variância do erro de 19.676,23 com grande diferença da variância de krigagem de 2,47, mas com resultados melhores do que os encontrados no primeiro variograma de ouro no solo do setor Farias.

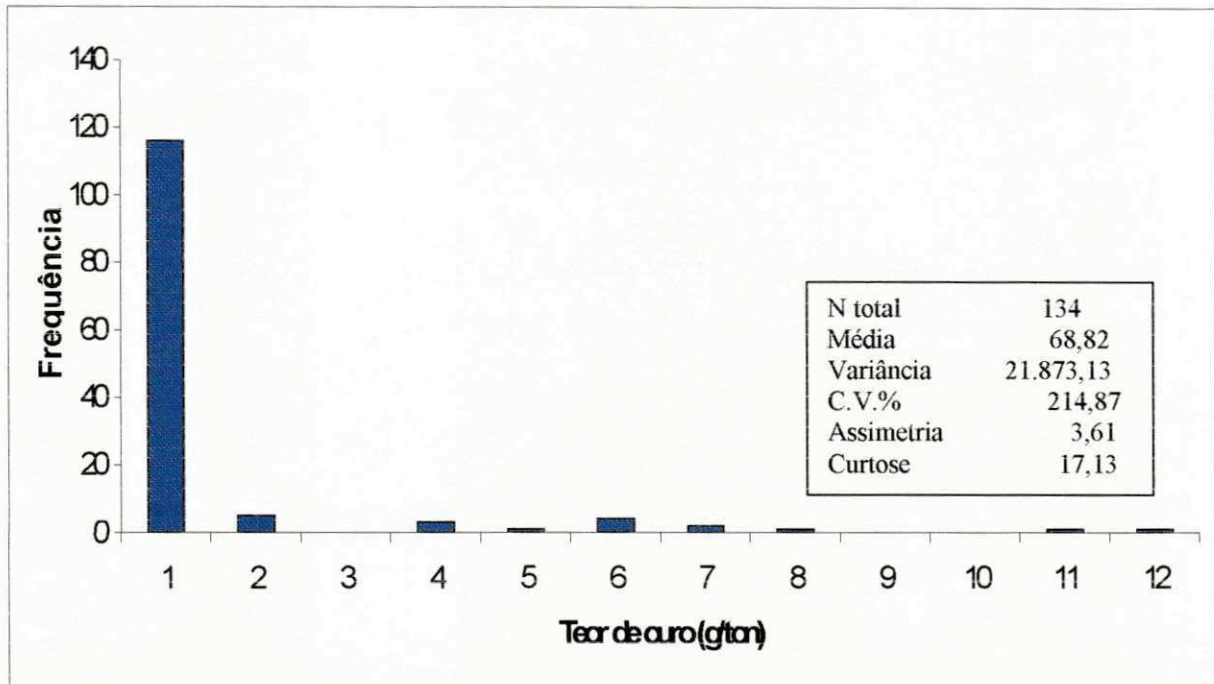


FIGURA 53 - Histograma de frequência simples - solo Farias

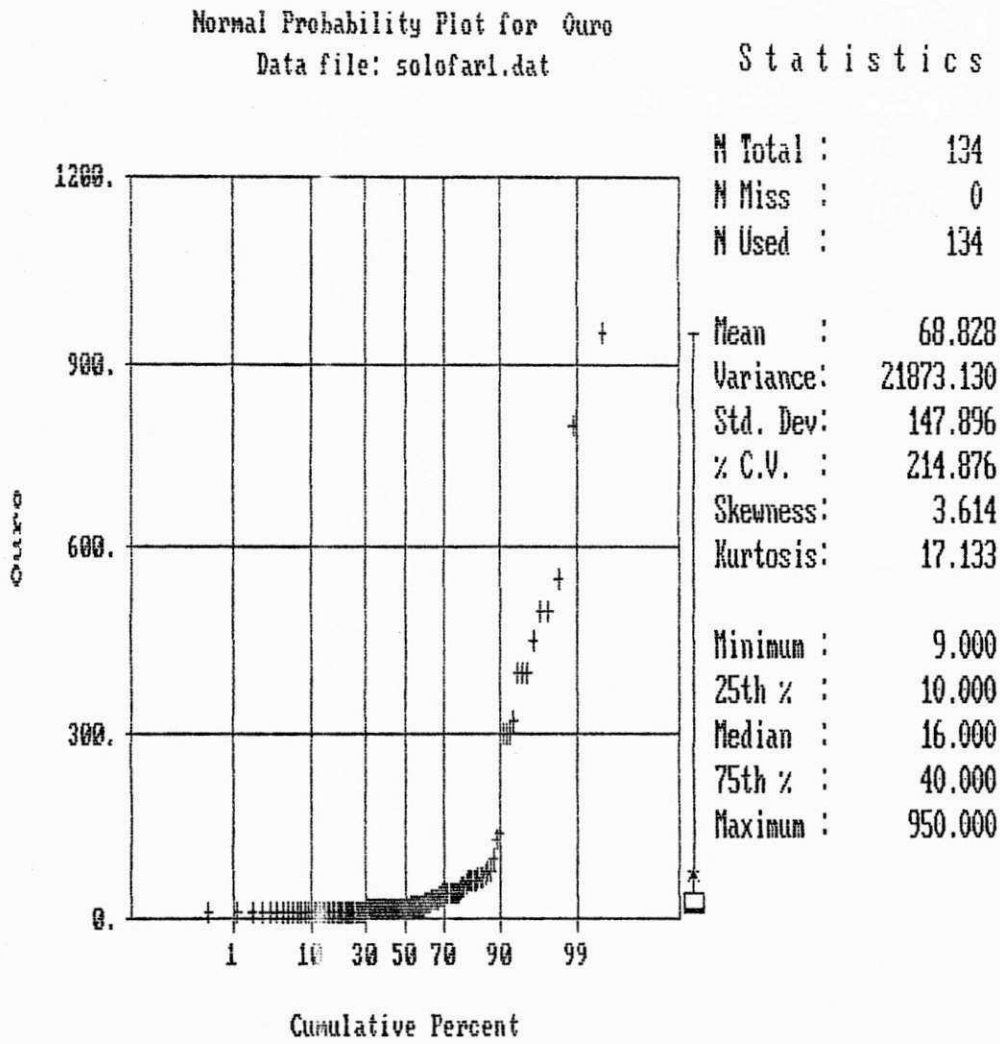


FIGURA 54 - Curva de probabilidade normal - solo Farias

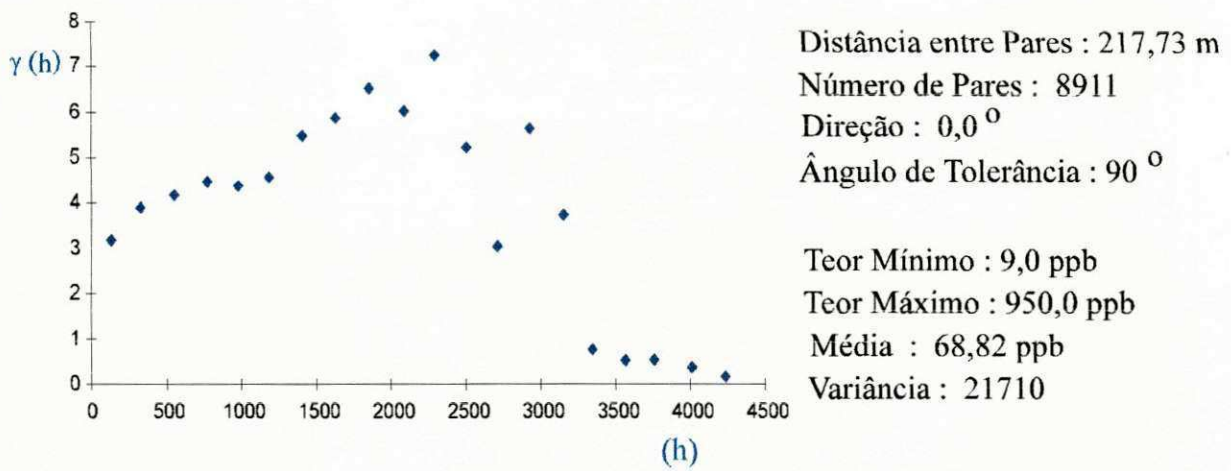


FIGURA 55 - Variograma experimental com distância entre pares de amostras de 217,73 m - solo Farias

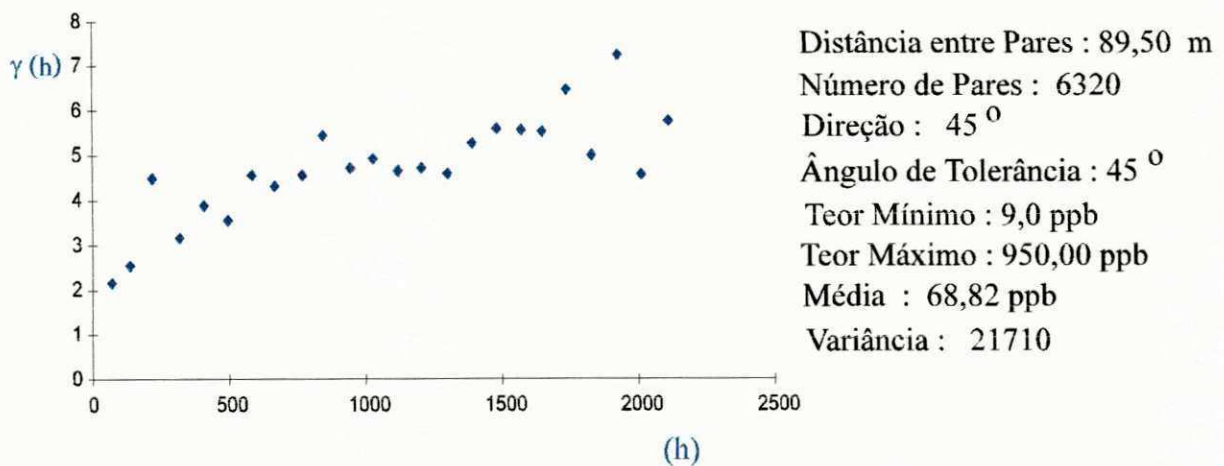


FIGURA 56 - Variograma experimental com distância entre pares de amostras de 89,50 m - solo Farias

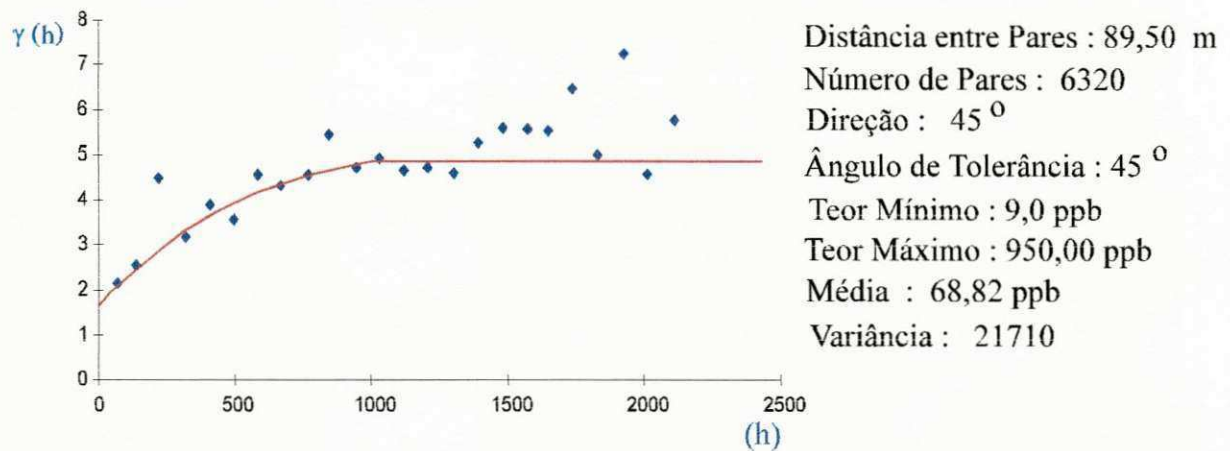


FIGURA 57 - Variograma teórico com distância entre pares de amostras de 89,50 m – solo Farias

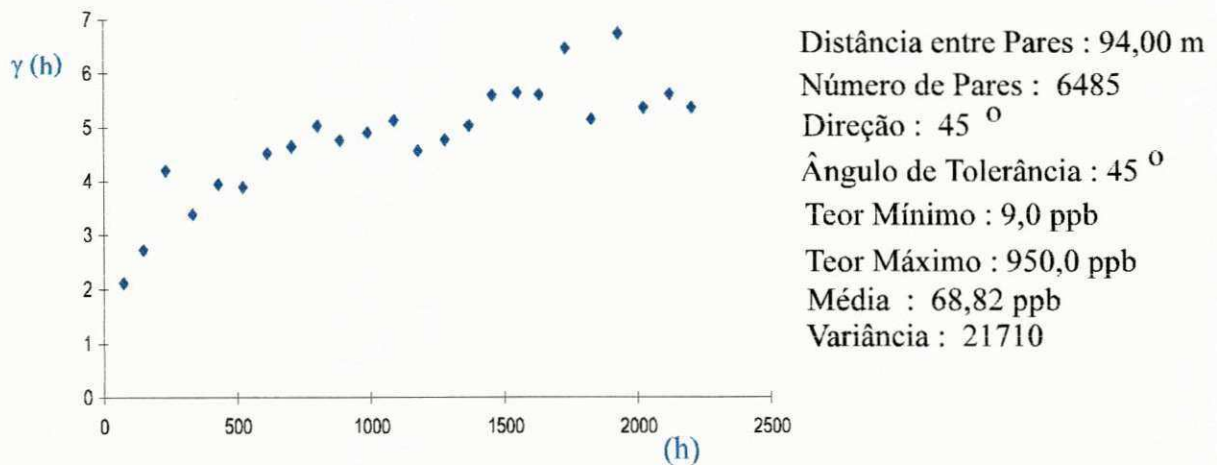


FIGURA 58 - Variograma experimental com distância entre pares de amostras de 94,00 m – solo Farias

TABELA 46 – Parâmetros estatísticos da validação dos dados (“cross validation”) com h = 89,50 m – *Solo Farias*

Distância entre pares de amostras	Média Observada	Variância Observada	Média Estimada	Variância Estimada	Média Erro	Variância Erro	Média de Variância de Krigagem
h=89,50 m	68,82	21.873,22	74,60	5.621,40	5,77	20.018,57	2,54

TABELA 47 – Parâmetros de variograma com distância entre pares de amostras de 94,00 m – *Solo Farias*

Teores (ppb)	Co (Efeito Pepita)	C1 (Variância)	A (Alcance)	Co+C1 (Patamar)	Co/C	Nº Amostras	Distância entre pares de amostras
$9 \leq \text{teor} \leq 950$	1,6	3,0	700,00	4,6	0,34	134	94,00

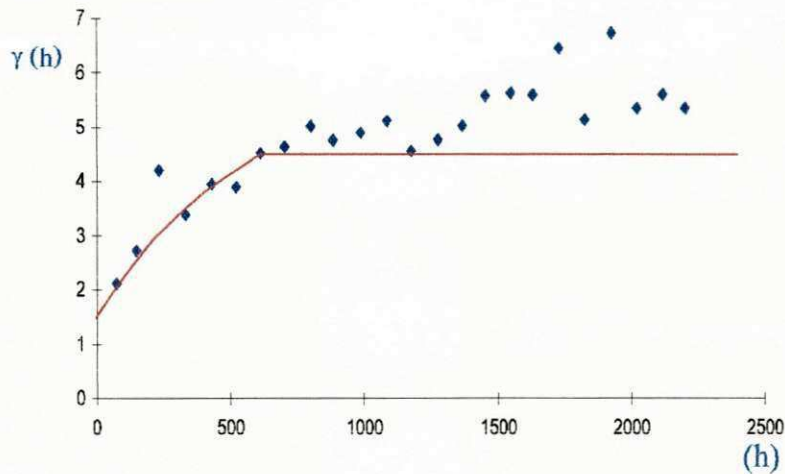


FIGURA 59 – Variograma teórico com distância entre pares de amostras de 94,00 m – solo Farias

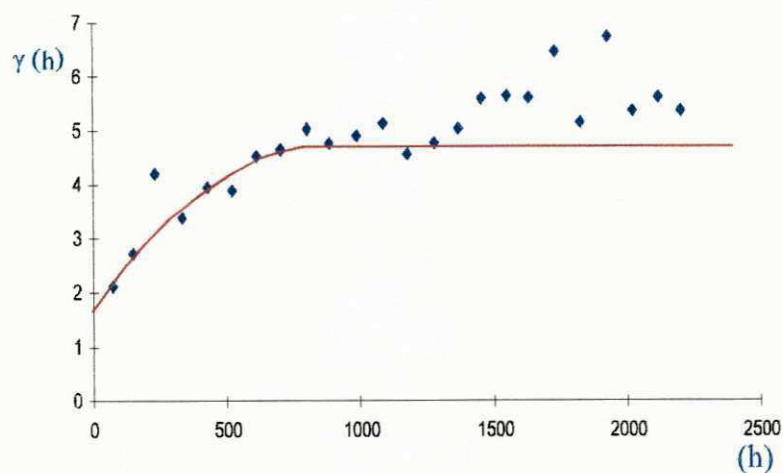


FIGURA 60 – Variograma teórico com alcance de 800,00 m – solo Farias

TABELA 48 – Parâmetros estatísticos da validação dos dados (“cross validation”) com h = 94,00 m – *Solo Farias*

Distância entre pares de amostras	Média Observada	Variância Observada	Média Estimada	Variância Estimada	Média Erro	Variância Erro	Média de Variância de Krigagem
h=94,00 m	68,82	21.873,22	73,57	5.580,09	4,74	19.676,23	2,47

TABELA 49 – Parâmetros de variograma com alcance de 800,00 m – *Solo Farias*

Teores (ppb)	Co (Efeito Pepita)	C1 (Variância)	A (Alcance)	Co+C1 (Patamar)	Co/C	Nº Amostras	Distância entre pares de amostras
$9 \leq \text{teor} \leq 950$	1,8	2,9	800,00	4,7	0,38	134	94,00

Com os mesmos parâmetros utilizados no variograma experimental anterior, um novo variograma teórico foi calculado com os seguintes valores: efeito pepita de 1,80; variância de dispersão 2,9; alcance de 800,00 m (Tabela 49 e Figura 60). A validação dos dados deste novo variograma teórico tem como média estimada 65,22 ppb e variância estimada de 5.623,80 (Tabela 50). A média do erro é de 3,60 ppb com variância do erro de 20.139,01, assim ficando longe do valor de variância de krigagem de 2,54.

Após a realização dos modelos experimentais e teóricos, observa-se que os resultados obtidos, variando os parâmetros, não diferem substancialmente.

6.3.3 - Área do Covico

Na área do setor Covico um total de 437 amostras de solo foram coletadas, o que é um número maior de amostras em comparação com a área do Farias, com apenas 134 amostras. O número maior de amostras coletadas no Covico é devido a grande concentração dos veios de quartzo. A média amostral de ouro no solo do Covico é de 46,94 ppb com variância de 7.410,53 (Tabela 51). O coeficiente de variação mostra a alta variabilidade do depósito com valor de 183,37 %. A assimetria de 4,49 é positiva com curtose de 26,49 caracterizada como leptocúrtica. O histograma de frequência simples assume a forma de uma distribuição lognormal, também observada na curva de probabilidade (Figura 61 e 62).

O variograma experimental é confeccionado com os parâmetros ângulo de tolerância 90° e distância entre pares de amostras de 185,85 m (Figura 63). Este primeiro variograma experimental não revela a estrutura do depósito com nitidez devido os seus pontos serem

TABELA 50 – Parâmetros estatísticos da validação dos dados (“cross validation”) com alcance de 800,00 m – *Solo Farias*

Distância entre pares de amostras	Média Observada	Variância Observada	Média Estimada	Variância Estimada	Média Erro	Variância Erro	Média de Variância de Krigagem
h=94,00 m	68,82	21.873,22	65,22	5.623,80	3,60	20.139,01	2,62

TABELA 51 - Parâmetros da estatística básica - *Solo Covico*

Teores (ppb)	Média	Variância	Coefficiente de Variação	Assimetria	Curtose	Nº de Amostras
$9 \leq \text{teor} < 720$	46,94	7.410,53	183,37	4,49	26,49	437

TABELA 52 - Parâmetros de variograma com distância entre pares de amostras de 48,00 m - *Solo Covico*

Teores (ppb)	Co (Efeito Pepita)	C1 (Variância)	A (Alcance)	Co+C1 (Patamar)	Co/C	Nº Amostras	Distância entre pares de amostras
$9 \leq \text{teor} < 720$	2,5	0,9	400,00	3,4	0,73	437	48,00

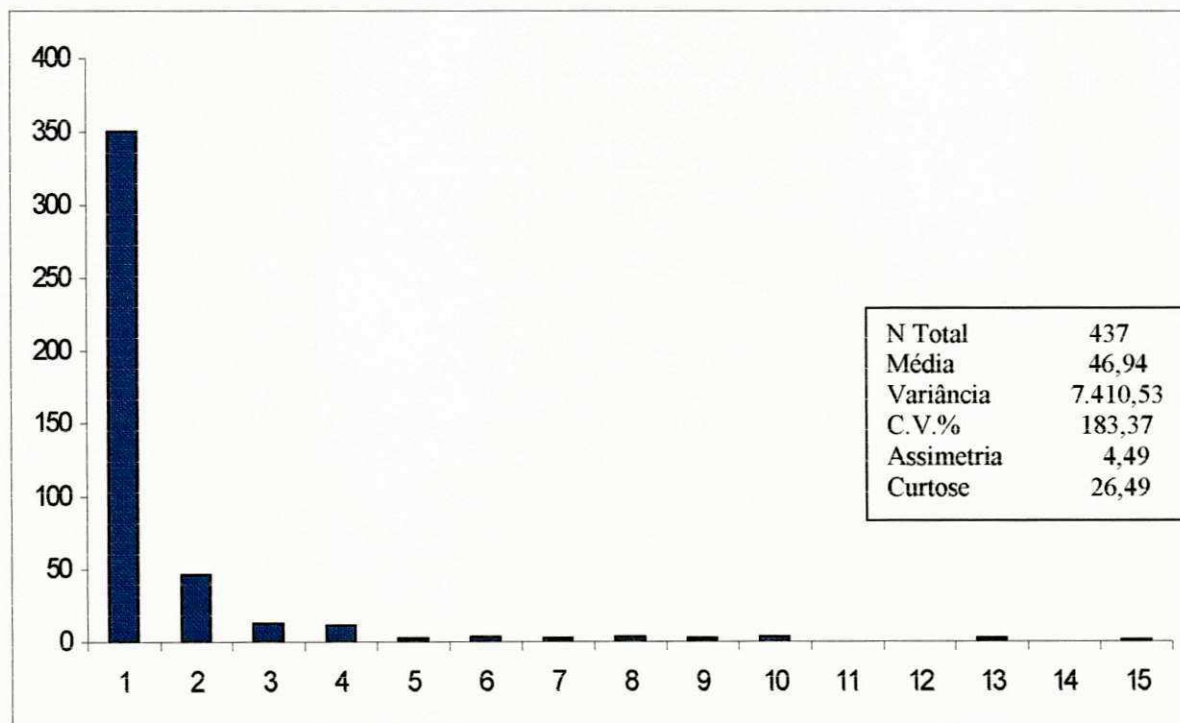


FIGURA 61 - Histograma de frequência simples solo do Covico

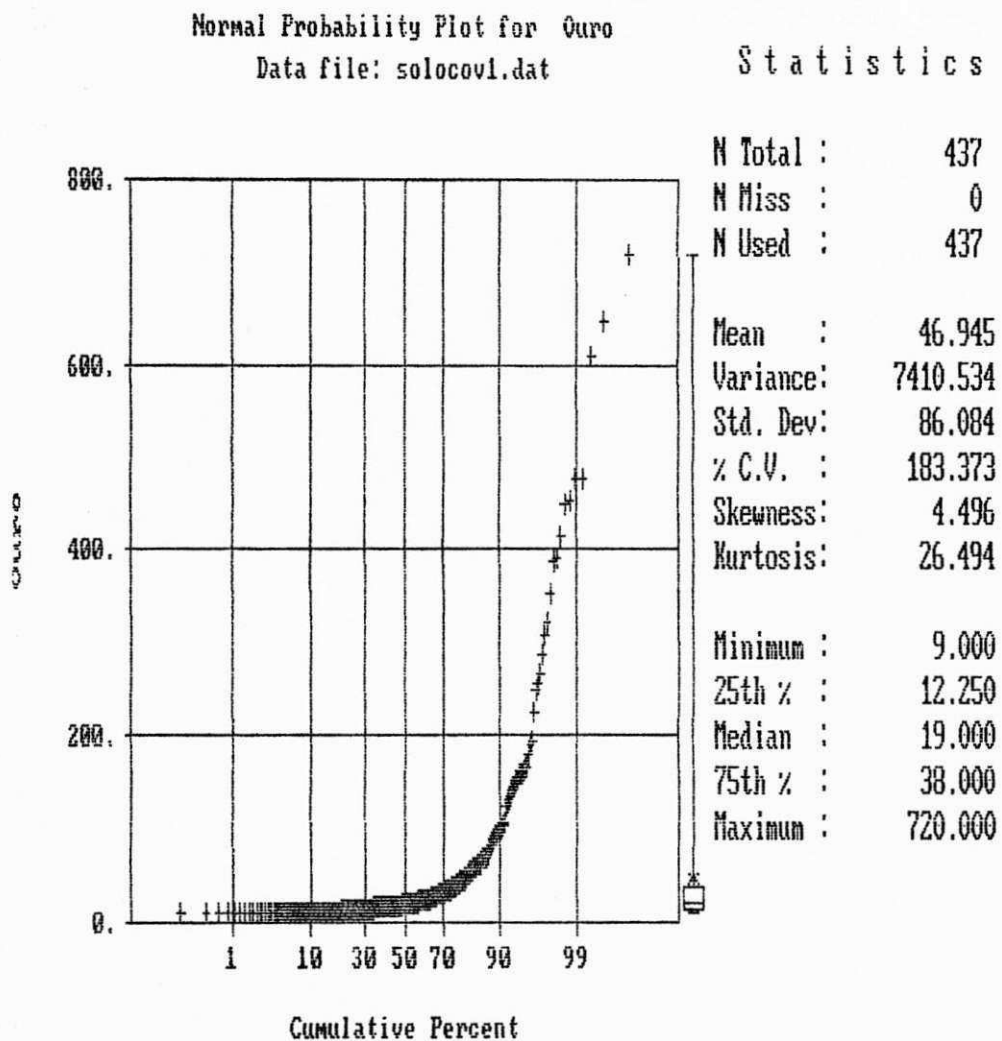


FIGURA 62 - Curva de probabilidade normal - solo do Covico

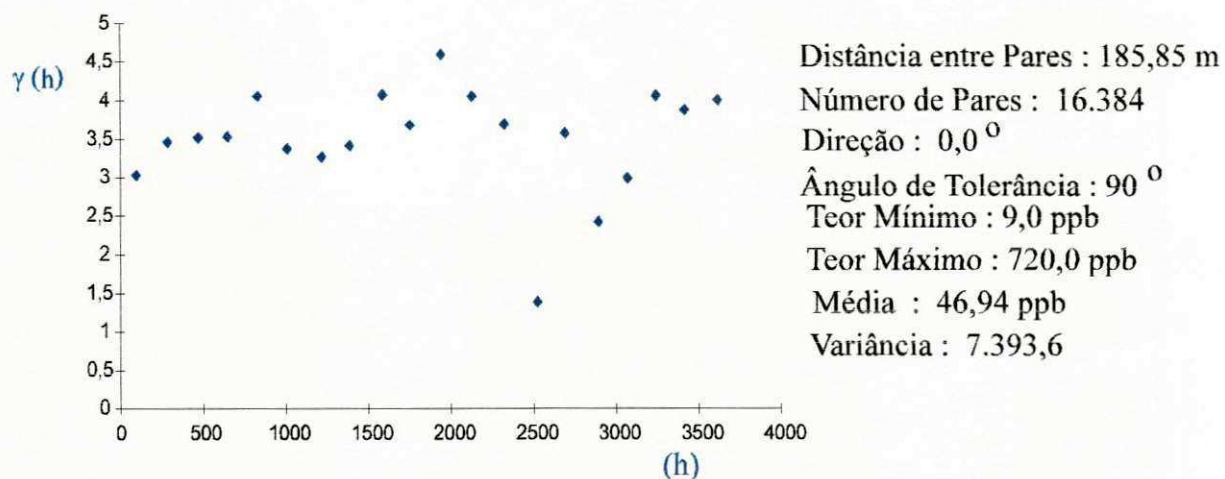


FIGURA 63 - Variograma experimental com distância entre pares de amostras de 185,85 m - solo do Covico

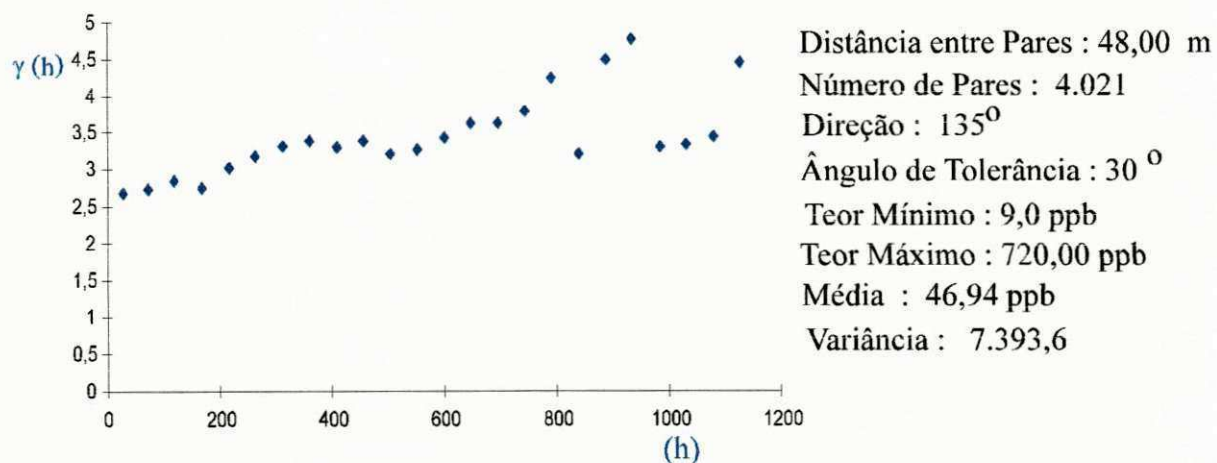


FIGURA 64 - Variograma experimental com distância entre pares de amostras de 48,00 m - solo do Covico

aleatórios e sem apresentar modelos transicionais, o que é necessário para um modelo teórico.

Um segundo variograma experimental é feito com os parâmetros do ângulo de tolerância de 30 °; direção estrutural de 135 °; e distância entre os pares de amostras de 48,00 m (Figura 64). O variograma experimental encontrado fornece dados suficientes para calcular o variograma teórico, obtendo o efeito pepita de 2,5 ; variância de dispersão de 0,9 ; e a área de influência das amostras de 400,00 m (Figura 65 e Tabela 52). Na validação deste variograma teórico a média estimada é de 49,43 ppb com variância de 886,43. O erro médio é de 2,48 ppb com a variância do erro de 7.201,55 (Tabela 53). A diferença entre a variância do erro (7.201,55) e a média da variância de krigagem de valor 2,95 é constatada como sendo alta, levando então a elaborar um novo variograma experimental para diminuir esta diferença .

Neste terceiro variograma experimental os parâmetros obtidos são: ângulo de tolerância de 45°; a direção estrutural de 90°; e distância entre pares de amostras 43,00 m (Figura 66). O variograma teórico foi calculado com efeito pepita 1,8 ; variância de dispersão de 1,6 ; e área de influência das amostras de 200 m (Figura 67 e Tabela 54). Na validação do variograma teórico a média estimada é de 49,57 ppb e variância estimada de 1.366,11. O erro médio é de 2,62 ppb com variância do erro de 7.499,38 (Tabela 55). A diferença entre a variância do erro (7.499,38) e a média de variância de krigagem de valor 2,60, permanece acentuada.

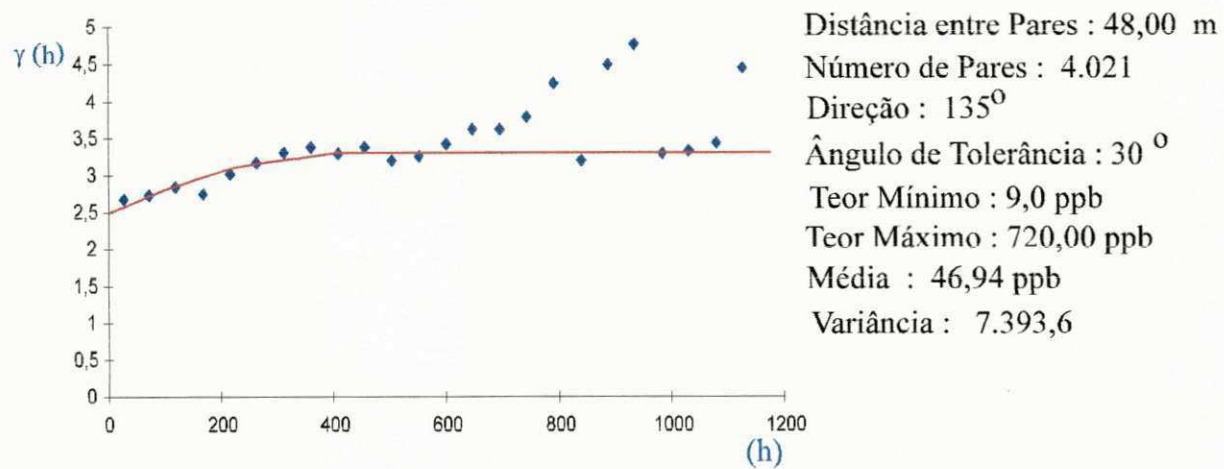


FIGURA 65 - Variograma teórico com distância entre pares de amostras de 48,00 m - solo do Covico

TABELA 53 – Parâmetros estatísticos da validação dos dados (“cross validation”) com $h = 48,00$ m – *Solo Covico*

Distância entre pares de amostras	Média Observada	Variância Observada	Média Estimada	Variância Estimada	Média Erro	Variância Erro	Média de Variância de Krigagem
$h=48,00$ m	46,94	7.393,60	49,43	886,43	2,48	7.201,55	2,95

TABELA 54 – Parâmetros de variograma com distância entre pares de amostras de 43,00 m – *Solo Covico*

Teores (ppb)	Co (Efeito Pepita)	C1 (Variância)	A (Alcance)	Co+C1 (Patamar)	Co/C	Nº Amostras	Distância entre pares de amostras
$9 \leq \text{teor} < 720$	1,8	1,6	200,00	3,4	0,52	437	43,00

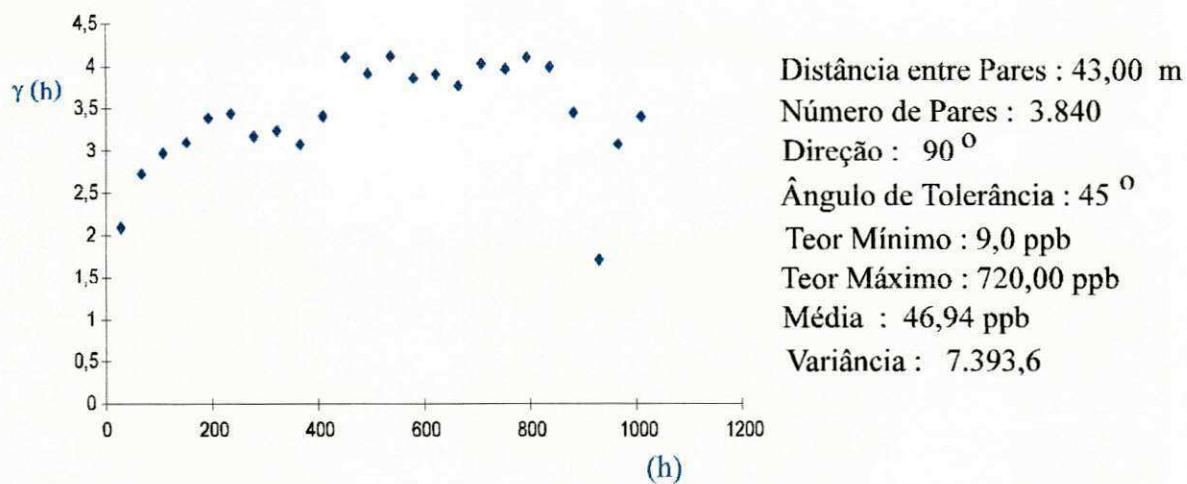


FIGURA 66 – Variograma experimental com distância entre pares de amostras de 43,00 m – Setor Covico

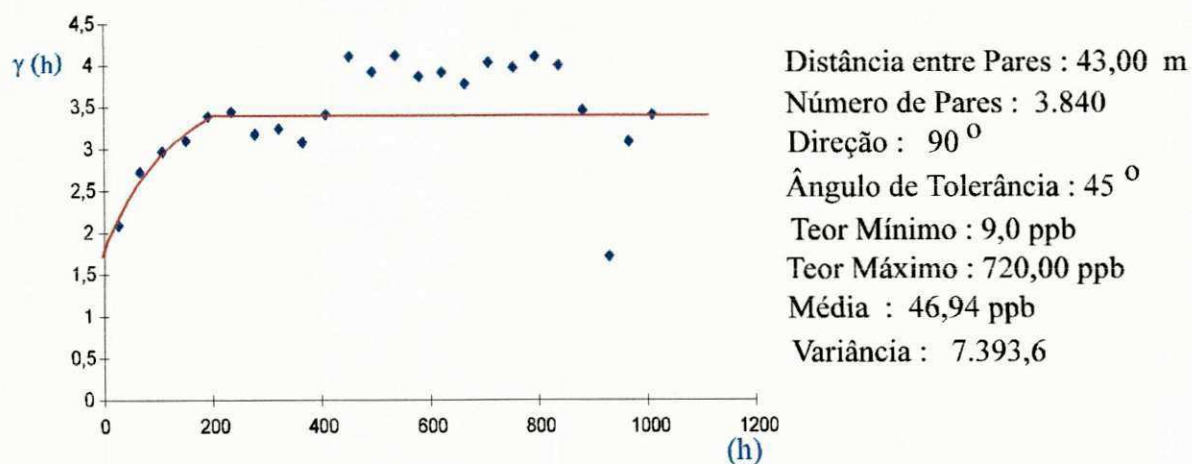


FIGURA 67 – Variograma Teórico com distância entre pares de amostras de 43,00 m – Setor Covico

TABELA 55 - Parâmetros estatísticos da validação dos dados ("cross-validation") com $h = 43,00$ m - *Solo Covico*

Distância entre pares de amostras	Média Observada	Variância Observada	Média Estimada	Variância Estimada	Média Erro	Variância Erro	Média de Variância de Krigagem
$h = 94,00$ m	46,94	7.393,60	49,57	1.366,11	2,62	7.499,38	2,60

7 - DISCUSSÃO

O coeficiente de variação do ouro é caracteristicamente alto entre todos os outros minérios. As partículas de ouro podem se distribuir no quartzo em diversas maneiras. A sua distribuição poderá ser aleatória ou poderá ser distribuída sistematicamente seguindo um padrão com alta variação na sua concentração. As estruturas deformacionais tais como falhas, fraturas e dobras poderão modificar o padrão original da distribuição e concentração.

A elaboração de variogramas para conseguir um modelo apropriado e melhorar as suas estimativas, depende muito de incorporação de controle e características geológicas da jazida (Rendu, 1984; Rendu e Readdy, 1982; Sinclair, 1984; McArthur, 1988; Souza, 1990).

A região de estudo é marcada pelas diversas estruturas deformacionais e os veios de quartzo do Farias e Covico mostram evidências de intensos cisalhamentos e "Boudinagem", bem como dobramentos causando modificação na distribuição e concentração de metais.

Todos os tipos de modelos variográficos e seus parâmetros elaborados para os veios do Farias e o veio do Covico estão resumidos nas tabelas 56 e 57. Para o veio do Farias o melhor modelo é o que apresenta valores reduzidos da variância amostral, variância estimada e variância do erro. O modelo que resultou foi o modelo desenvolvido

TABELA 56 – Quadro de parâmetros estatísticos e variográficos do veio do Farias

Teores	Média	Variância	Coefficiente de Variação	Assimetria	Curtose	Número de Amostras
$0 \leq \text{teor} \leq 115$	10,71	482,15	204,95	3,00	12,25	83
$0 \leq \text{teor} \leq 50$	6,54	128,64	173,22	2,14	6,91	79
$0 < \text{teor} < 115$	13,68	576,53	175,51	2,60	9,61	65
$0 < \text{teor} < 50$	8,47	150,57	144,71	1,77	5,27	61

Teores	Co (Efeito Pepita)	C1 (Variância)	A (Alcance)	Co+C1 (Patamar)	Co/C	Nº Amostras	Distância entre pares de amostras
$0 \leq \text{teor} \leq 115$	2,5	1,8	70,0	4,3	0,58	83	28,00
$0 \leq \text{teor} \leq 115$	3,0	1,0	112,50	4,0	0,75	83	25,00
$0 \leq \text{teor} \leq 50$	1,7	1,5	100,0	3,2	0,53	79	25,00
$0 < \text{teor} < 115$	1,8	1,2	133,33	3,0	0,60	65	35,00
$0 < \text{teor} < 50$	1,3	0,9	150,0	2,2	0,59	61	34,50

Teores	Média Observada	Variância Observada	Média Estimada	Variância Estimada	Média Erro	Variância Erro	Média de variância de krigagem	Distância entre pares de amostras
$0 \leq \text{teor} \leq 115$	10,71	482,15	7,35	64,80	-3,35	503,73	3,33	28,00
$0 \leq \text{teor} \leq 115$	10,71	482,15	10,62	44,48	0,88	464,35	3,49	25,00
$0 \leq \text{teor} \leq 50$	6,54	128,64	6,82	26,83	0,28	123,21	2,22	25,00
$0 < \text{teor} < 115$	13,68	576,53	12,93	97,81	-0,74	475,32	2,22	35,00
$0 < \text{teor} < 50$	8,48	150,57	8,34	25,20	-0,13	129,00	1,60	34,50

TABELA 57 – Quadro de parâmetros estatísticos e variográficos do *veio do Covico*

Teores	Média	Variância	Coefficiente de Variação	Assimetria	Curtose	Número de Amostras
$0 \leq \text{teor} \leq 50$	2,21	26,41	232,73	4,46	26,12	66
$0 \leq \text{teor} \leq 30$	1,71	10,24	186,81	2,97	12,37	65
$0 < \text{teor} < 50$	3,24	35,64	184,23	3,72	18,60	45
$0 < \text{teor} < 30$	2,53	13,10	143,16	2,41	8,75	44

Teores	Co (Efeito Pepita)	C1 (Variância)	A (Alcance)	Co+C1 (Sill)	Co/C	Nº de Amostras	Distância Entre Pares de Amostras
$0 \leq \text{teor} \leq 50$	1,9	3,8	175,00	5,7	0,33	66	24,00
$0 \leq \text{teor} \leq 30$	1,3	2,4	185,00	3,7	0,35	65	29,00
$0 < \text{teor} < 50$	1,3	2,2	200,00	3,5	0,37	45	27,00
$0 < \text{teor} < 30$	0,8	1,4	200,00	2,2	0,36	44	30,50

Teores	Média Observada	Variância Observada	Média Estimada	Variância Estimada	Média Erro	Variância Erro	Média de Variância de Krigagem	Distância Entre Pares de Amostras
$0 \leq \text{teor} \leq 50$	2,21	26,41	2,17	8,41	-0,041	22,04	2,82	24,00
$0 \leq \text{teor} \leq 30$	1,71	10,24	1,67	3,61	-0,039	7,50	1,88	29,00
$0 < \text{teor} < 50$	3,24	35,64	3,54	8,88	0,298	31,08	1,88	27,00
$0 < \text{teor} < 30$	2,53	13,10	2,73	3,68	0,204	10,60	1,17	30,50

com eliminação de valores extremos, teores amostrais entre 0 e 50 g/ton de ouro para o veio do Farias. No veio do Covico o modelo mais ajustado também foi com a eliminação de teores extremos, isso é, valores entre 0 e 30 g/ton de ouro. Para discutir detalhadamente os resultados obtidos foi selecionados esses dois modelos apresentados pelos estudos de variogramas e da validação cruzada ("Cross Validation").

Os parâmetros básicos estatísticos dos veios se mostra com média amostral de 6,54 g/ton e variância de 128,64 no veio do Farias e de 1,71g/ton com variância de 10,24 no veio do Covico (Tabelas 56 e 57). Estes altos valores de variância no veio do Farias é devido a existência de zonas mais concentradas de minério de ouro, caracterizando assim presença de "ore shoots" ou devidos aos cisalhamentos. O coeficiente de variação das amostras se comportou praticamente o mesmo, sendo um pouco menor no veio do Farias (173,22 %) por ser uma zona um pouco mais uniforme em mineralização em comparação com o veio do Covico (186,81 %). A assimetria e a curtose, retrata em ambos os casos como uma distribuição log-normal com assimetria positiva, como esperados para esses tipos de minérios.

No modelamento variográfico do veio do Farias e do Covico algumas semelhanças entre elas são observadas. Os variogramas apresentaram sempre um efeito pepita alto variando de 1,7 no veio do Farias, enquanto no veio do Covico está variação foi de 1,3 (Tabelas 56

e 57). A variância de dispersão entre estes veios se mostra mais elevada no veio do Covico de 2,4 enquanto no veio do Farias situa-se de 1,5. O alcance se mostra maior no veio do Covico com distância de 185 metros, enquanto no Farias está distância concentra-se nos 100 metros. O modelamento variográfico do veio do Farias mostra-se mais contínuo com um pouco menos de dispersão com uma continuidade mais acentuada, caracterizando a estrutura de efeito dente de serra, sendo melhor observado do que no do veio do Covico. Este efeito dente de serra observado no veio do Farias pode ser atribuído em parte a um alto grau de deformação com intensos falhamentos e dobramentos. O Veio do Covico é relativamente menos deformado e por estas razões o alcance tende a ser menor no Covico e maior no Farias.

A estimação de teor amostral foi obtida através de krigagem ordinária do ponto, o qual é mais comumente usado no processo de estimação de teor amostral. Krigagem dos pontos foi executado para validação ("Cross validation") dos verdadeiros pontos de amostragem. O objetivo desta validação foi para verificar se a eliminação dos valores extremos ajudou a melhorar a estimação. Um valor extremo não poderia ser estimado utilizando uma combinação linear de teores (geralmente baixos) amostrais próximas. A correlação existente entre valores observados e estimados é dada pela a linha de regressão no gráfico de "Scatter Plot" (Figuras 68 e 69). A linha de regressão com a inclinação de 45° significa a existência de uma correlação razoável.

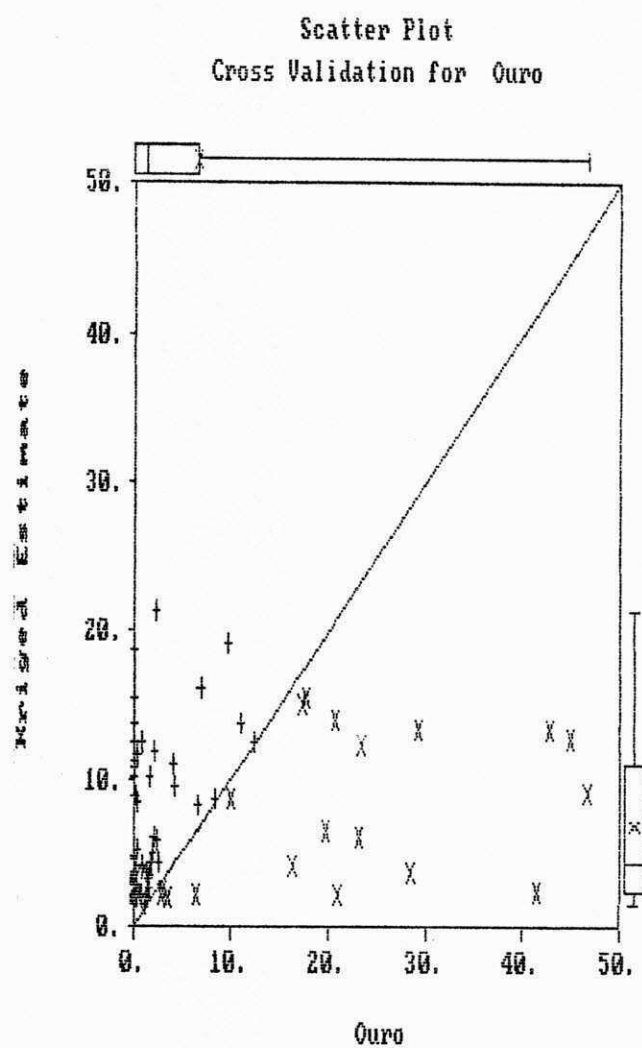


FIGURA 68 - Scatter plot de krigagem estimada x teor de ouro - veio do Farias

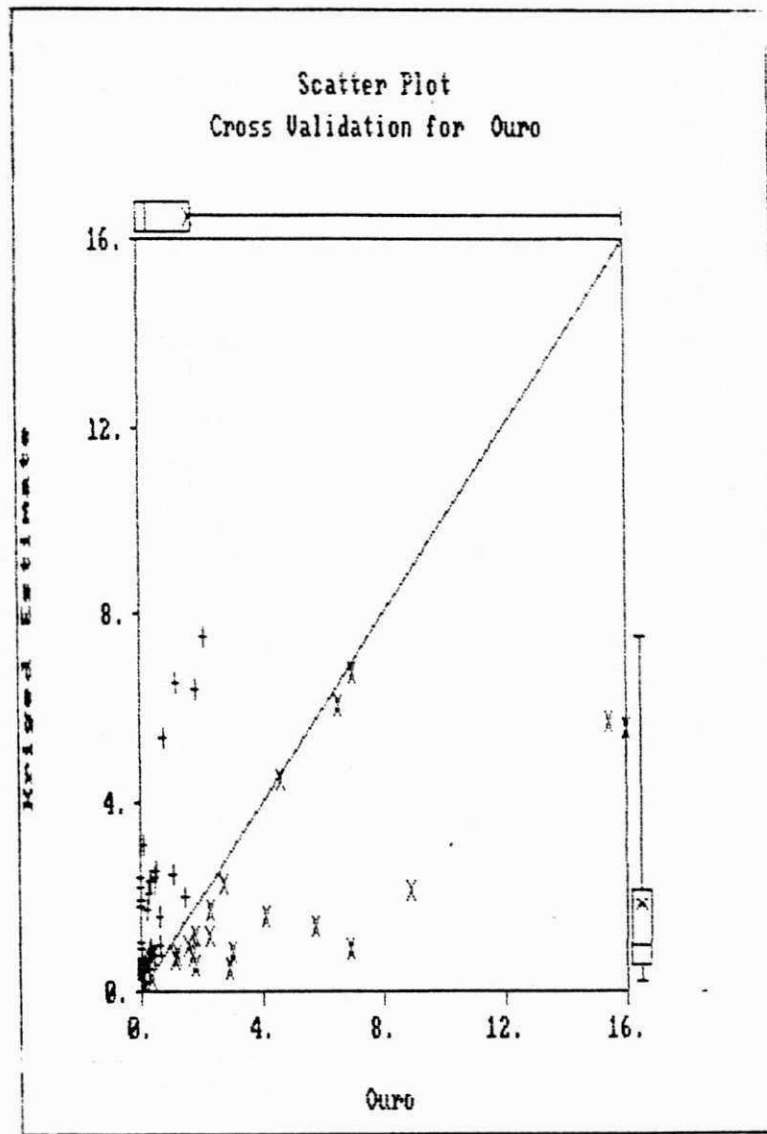


FIGURA 69 - Scatter plot de krigagem estimada x teor de ouro - veio do Covico

A aplicação do método da krigagem do ponto e "cross-validation", forneceu base necessária para um bom entendimento do comportamento amostral existente nos veios do Covico e Farias. No veio do Farias observa-se a média estimada de 6,82 g/ton com variância de 26,83 e no veio do Covico a média estimada é de 1,67 g/ton com variância de 3,61 (Tabelas 56 e 57). Embora as variâncias estimadas ainda estejam elevadas, mas é comum quando se trata de um mineral errático como o ouro.

Os resultados encontrados na krigagem das amostras em comparação com os teores amostrais são visualizados claramente no "Scatter Plot" da krigagem estimada versus o teor amostral. Observa-se um agrupamento das amostras nos valores dos teores krigados enquanto que os teores amostrais ocorre mais disperso (Figura 68 e Figura 69). No veio do Farias as amostras krigadas concentraram-se até um teor máximo de 30 g/ton, enquanto que no veio do Covico as amostras krigadas concentraram-se em um teor máximo de 8 g/ton. Não há uma correlação perfeita entre valores krigados e valores observados devido a alta heterogeneidade dos teores de ouro nos veios, assim causando uma sobre ou sub-estimação dos teores na krigagem ordinária. Isso também é observado na variância estimada que é relativamente muito abaixo da variância observada (Tabelas 56 e 57). Isso leva inferir que na estimativa de reserva de ouro não é aconselhável a utilização de krigagem ordinária mas sim um outro método de krigagem que ofereça uma estimativa mais realista.

No modelamento variográfico do solo da região de Cachoeiras de Minas, observa-se que o coeficiente de variação é bastante elevado com valor de 200,08%, refletindo o que foi observado nos veios. As amostras foram coletadas de uma área com o material bastante heterogêneo e os teores obtidos em proporções de parte por bilhão (ppb) (Tabela 58) . A coleta das amostras foi feita sobre toda a região de cachoeiras de minas, mais especificamente próximos aos veios de quartzo, isso com o objetivo de compreender a migração do metal e as suas distribuições no solo.

Os parâmetros da estatística básica do solo de toda região tem média amostral de 52,08 ppb com variância de 10.858,20. A assimetria, como nos veios de quartzo, é positiva de valor 4,49 e sua curtose de 26,80 caracterizando a distribuição log-normal.

Devido as complexidades existentes na região de Cachoeiras de Minas, os variogramas mais típicos do solo para a região são os que foi desenvolvido a partir de um ângulo de tolerância de 90° e distância entre pares de 232,24 m. Quando utilizamos do atributo anisotropia com ângulo de tolerância de 30° e direção estrutural capturada de 45° . Os variogramas experimentais confeccionados demonstra uma correlação entre os primeiros pontos do variograma até a sua estabilização junto ao patamar. Depois deste ponto de estabilização o variograma fica caracterizado como "dentes de serra". Este efeito pode ser atribuído a heterogeneidade do solo, causado pela mistura de regolito residual com o transportado.

TABELA 58 – Quadro de parâmetros estatísticos e variográficos do modelamento de solo total.

Teores (ppb)	Média	Variância	Coefficiente de Variação	Assimetria	Curtose	Nº de Amostras	Distância entre pares de amostras
9 ≤ teor ≤ 950	52,08	10.858,2	200,08	4,49	26,80	571	232,54

Teores (ppb)	Co (Efeito Pepita)	C1 (Variância)	A (Alcance)	Co+C1 (Patamar)	Co/C	Nº Amostras	Distância entre pares de amostras (m)
9 ≤ teor ≤ 950	3,3	2,0	1500,00	5,3	0,62	571	232,54
9 ≤ teor ≤ 950	3,1	3,0	1.500,00	6,1	0,50	571	250,00
9 ≤ teor ≤ 950	2,5	2,7	1000,00	5,2	0,48	571	125,00

Distância entre pares de amostras	Média Observada	Variância Observada	Média Estimada	Variância Estimada	Média Erro	Variância Erro	Média de Variância de Krigagem
h=232,54 m	52,08	10.858,2	55,51	2.083,8	3,43	10.409,5	3,82
h=250,00 m	52,08	10.858,2	48,90	2.400,80	3,18	10.513,01	3,72
h=125,00 m	52,08	10.858,2	55,18	2.404,62	3,10	10.437,89	3,12

Na elaboração de novos modelos variográficos, com a anisotropia bem definida, não encontra-se diferença de maior significado com aquela observada anteriormente. O efeito pepita entre estes variogramas foram praticamente o mesmo, com variação entre 2,5 a 3,3 , e as suas variâncias de dispersão entre 2,0 e 3,0. O alcance variou pouco entre os variogramas, ficando entre 1.000,00 m a 1.500,00 m.

Na validação dos dados através do cross-validation observa-se a média estimada variando entre 48,90 e 55,51 com variância entre 2.083,80 e 2.400,62, ou seja praticamente igual entre os variogramas descritos. Nota-se que a média observada e a média estimada são as mesmas dentro de um intervalo de confiança de 99% , mais existe uma diferença pequena entre as variâncias estimadas em relação a variâncias observadas.

Quando agrupa ou classifica dados amostrais entre as áreas do Farias e o do Covico, observamos a média amostral da área do Farias é de 68,82 ppb e variância de 21.873,13 e no setor Covico 46,94 ppb e variância de 7.410,53 (Tabela 59 e Tabela 60). O modelo obtido nas duas áreas são caracterizados como log-normal com assimetria positiva e um alto valor de curtose.

Os variogramas com direções diferentes tem resultados diferentes, confirmando a existência de estruturas diferentes. Na área do Farias o efeito pepita varia de 1,6 a um valor máximo de 1,8 com variância variando de 2,9 a 3,0, enquanto que na área do Covico estes valores variam de 1,8 a 2,5 e o efeito pepita de 0,9 a 1,6. Contudo a

TABELA 59 – Quadro de parâmetros estatísticos e variográficos do modelamento de solo do Farias

Teores (ppb)	Média	Variância	Coefficiente de Variação	Assimetria	Curtose	Nº de Amostras
$9 \leq \text{teor} \leq 950$	68,82	21.873,13	214,87	3,61	17,13	134

Teores (ppb)	Co (Efeito Pepita)	C1 (Variância)	A (Alcance)	Co+C1 (Patamar)	Co/C	Nº Amostras	Distância entre pares de amostras
$9 \leq \text{teor} \leq 950$	1,8	3,0	1000,00	4,8	037	134	89,50
$9 \leq \text{teor} \leq 950$	1,6	3,0	700,00	4,6	0,34	134	94,00
$9 \leq \text{teor} \leq 950$	1,8	2,9	800,00	4,7	0,38	134	94,00

Distância entre pares de amostras	Média Observada	Variância Observada	Média Estimada	Variância Estimada	Média Erro	Variância Erro	Média de Variância de Krigagem
h=89,50 m	68,82	21.873,22	74,60	5.621,40	5,77	20.018,57	2,54
h=94,00 m	68,82	21.873,22	73,57	5.580,09	4,74	19.676,23	2,47
h=94,00 m	68,82	21.873,22	65,22	5.623,80	3,60	20.139,01	2,62

TABELA 60 - Quadro de parâmetros estatísticos e variográficos do modelamento do solo do Covico

Teores (ppb)	Média	Variância	Coefficiente de Variação	Assimetria	Curtose	Nº de Amostras
$9 \leq \text{teor} \leq 720$	46,94	7.410,53	183,37	4,49	26,49	437

Teores (ppb)	Co (Efeito Pepita)	C1 (Variância)	A (Alcance)	Co+C1 (Patamar)	Co/C	Nº Amostras	Distância entre pares de amostras
$9 \leq \text{teor} \leq 720$	2,5	0,9	400,00	3,4	0,73	437	48,00
$9 \leq \text{teor} \leq 720$	1,8	1,6	200,00	3,4	0,52	437	43,00

Distância entre pares de amostras	Média Observada	Variância Observada	Média Estimada	Variância Estimada	Média Erro	Variância Erro	Média de Variância de Krigagem
h=48,00 m	46,94	7.393,60	49,43	886,43	2,48	7.201,55	2,95
h=94,00 m	46,94	7.393,60	49,57	1.366,11	2,62	7.499,38	2,60

maior variação se encontra no alcance entre as amostras, que na área do Farias varia de 700,00 m a 1.000,00 m e na área do Covico o valor é bem menor, variando de 200,00 m a 400,00 m.

Os variogramas de Farias e Covico são bem definidos demonstrando que os solos associados de cada veio são diretamente influenciados pelos seus respectivos veios. Embora os veios sejam situados bem próximos um ao outro não ocorreu uma homogeneização de teor de ouro na região.

A diferença significativa na variância observada e estimada de ouro nos veios de quartzo demonstra que a alta variabilidade de teor amostral leva para estimações um pouco fora da realidade no caso de krigagem ordinária dos pontos. Talvez a utilização de krigagem de blocos amenizará a diferença exagerada entre variância observada e estimada, embora as médias observadas e estimadas são mais próximas. Segundo Leenaers et al (1989), no seus estudos de poluição de zinco nos solos, comprovaram que a variância estimada obtida de co-krigagem nos pontos é menor do que aquela obtida de krigagem dos pontos.

Na validação dos dados, as áreas do Farias e Covico possuem resultados da média observada praticamente iguais a média estimada, sendo que a variância da área do Farias é bem mais elevada do que a área do Covico.

8 - CONCLUSÕES

I - Os dados de teores de ouro nos dois veios principais de quartzo, o veio do Farias e o veio do Covico, na região de Cachoeiras de Minas apresenta modelo log-normal e assimetria positiva, com os teores variando de no mínimo de 0,0 g/ton a um máximo de 111,34 g/ton. O teor médio observado varia de 10,71 g/ton no Farias e de 2,21 g/ton no Covico com as variâncias de 482,15 e 26,41 respectivamente.

II - As distribuições de teores de ouro são extremamente irregulares e heterogêneas, com o coeficiente de variação ficando acima de 200% . A eliminação de amostras com teores extremos resultou na redução de variância e o coeficiente de variação.

III - O modelo de variograma esférico auxiliou na captura de estruturas dos corpos mineralizados. Entre os modelos de variogramas elaborados o melhor modelo é aquele no qual não foi incluídos valores extremos. A área de influência das amostras (alcance) obtida a partir de variogramas varia de 70 a 185 metros.

IV - A média estimada através de krigagem de validação cruzada ("Cross Validation"), ficou próxima da média amostral (observada), entretanto a variância estimada é menor do que a variância observada, demonstrando ineficiência de estimação pelo método de krigagem simples dos pontos devido a alta

heterogeneidade dos teores. Uma outra alternativa é a aplicação da co-krigagem que poderá diminuir a variância do erro.

V - Os dados de solo com teores de ouro na região de Cachoeiras de Minas apresenta-se como modelo log-normal e assimetria positiva, com os teores variando de 9,00 ppb a 950,00 ppb. O teor médio varia de 52,08 ppb com variância de 10.858,20.

VI - As estruturas variográficas do ouro nos solos são diretamente ligadas aos veios mineralizados e refletem heterogeneidade do material resultante de mistura de solos residuais com os solos mobilizados.

BIBLIOGRAFIA

- ADISOMA, G.S & HESTER, M.C. Grade estimation and its precision in mineral resources. Mining Engineering, 1996, vol. 48, n.2, p. 84-88.
- BARDOSSY, A, BARDOSSY, G. & BOGARDI, I. Application of geological information to kriging. Geostatistics, vol.2, Armstrong, 1989, M. Editor. P. 591-602.
- BUXTON, B.E.. An application of the construction of confidence intervals for global recoverable reserve estimates. Geostatistics, vol.2, M.Armstrong, 1989, Ed. P.875-887.
- CARLIER, A. Contribution aux méthodes d'estimation des gisements d'uranium, Doctoral Thesis, Commissariat à l'Energie Atomique, Paris, (1964),report n° 2352.
- CHAMPIGNY, N & ARMSTRONG, M. Estimation of fault-controlled deposits. Geostatistics, Vol. 2, M.Armstrong, 1989, Editor, p. 971-983.
- CLARK, I. The Semivariogram Geostatistics Part 2. Engineering and Mining Journal, 1979.
- CROZEL, D. & DAVID, M. Global estimate variance; formulas and calculations. Mathematical Geology, 1985, vol. 17, No.8, p. 785-796.
- DAVID, M. Geoestatical Ore Reserve Estimation. Elsevier, Amsterdam, 1977, 364pp.
- DOWD, P. A. Geoestatistical applications in the Athabasca tar sands, in proceedings of the 15 th international APCOM Symposium, Brisbane, Australia, 1977, pp. 235-242

DOWD, P. A. Some observations on confidence intervals and kriging errors. *Geostatistics*, Vol.2, M. Armstrong, Editor, 1989, P. 861-874

FORMERY, Ph. Étude geostatistique du gisement d'Ity Mont Flotuo, Internal CG report, 1963.

GARCIA, P. A. *Geoestatística Operacional*. Departamento Nacional da Produção Mineral. Brasília, 1988, 145 pp.

HENLEY, S. Kriging - Blue or pink. *Mathematical Geology*, vol. 9, n.2, 1987, p. 155-158.

ISAAKS E SRIVASTAVA . Na Introduction to Applied Geostatistics. Editora Oxford Univ. Press, 1989, 561 p.

JOURNEL, A. G. & HUIJBREGTS, CH.J. *Mining Geoetistics*, Centre de Geoestatistique, Fointainebleau, France. Academic Press, London New York, san Francisco, 1978, 600pp.

KIM, Y.C.. *Advanced Geoestatistics For highly Skewed Data*. Departament of mining and geological engineering, university of Arizona, 1988.

Koch, G. S. Jr., LINK, R. F., & SCHUENEMEYER, J. H. *Statistical analysis of gold assay and other trace-element data: U. S. Bur. Mines Report of Invest 7495*. 1971, 54pp.

Koch, G. S., Jr., LINK, R. F. *Statistical Analysis of Geological Data*. John Wiley e Sons. New York/ Landom/ Sydney/ Toronto, 1971, 438 pp.

KRIGE, D. G. *A statistical approach to some mine valuations and allied problems at the witwatersrand*, unpublished master's thesis, University of Witwatersrand, (1951).

- KRIGE, D. G. On the departure of ore value distributions from the lognormal model in South African gold mines: Jour. South African Inst. Mining Metall., 1960, v. 61 p. 231-244.
- LEENAERS, H. & OKX. J. P. and BURROUGH, P. A. Co-kriging: Na accurate and inexpensive means of mapping floodplain soil pollution by using elevation data. Geostatistics, vol. 1, editor: M. Armstrong, 1989, P 371-382.
- MARECHAL, A. Geoestatistique et niveau de reconnaissance-applications aux gisements de bauxite Métropolitains, Doctoral Thesis. CG, Fontainebleau, 1970.
- MATHERON, G. . Traite de Geostatistique Apliquée. Bur. Rech. Geolog. et Min. N° 14, tome I e II, 1962. 357 pp.
- NERY, M. A. C. O problema da estimativa de recursos minerais no estudo da exequibilidade de lavra. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Campinas, 1996, 97 pp.
- OLIVEIRA, J. L. et alii. Projeto Ouro Vale do Piancó. Relatório final. Campina Grande/PB, CDRM/PB-SUDENE, 1982, 125 p. II.
- PIRES, A. C. R. et alii. Projeto Ouro Cachoeira de Minas. Relatório Final. Campina Grande/PB, CDRM/PB, 985,51 p. II.
- POINTE, P.R.L. Analysis of the spatial variation in rock mass properties through geostatistics. Proceedings of the 21st Symposium on Rock Mechanics, 1980.
- SERRA, J. Echantillonnage et estimation local des phénomènes de transition miniers, Doctoral Thesis, IRSID and CG, Fontainebleau, 1967.

SILVA, J. G. et alli. Pesquisa de ouro na região de Cachoeiras de Minas. Relatório Final. Campina Grande/PB, CDRM/PB - SUDENE, 1989, 177 pp.

SOUSA, E. A. Impact of Geology on Ore Grade Estimation of a Porphyry Copper deposit. Dissertação de Mestrado, University of Arizona, E.U., 1990, 101p.

SRIVASTAVA, R.M & PARKER, R.M. Robust measure of spatial continuity. Geostatistics, Vol.1, (proceedings. 3rd Int. Geostatistics Congress), Armstrong, 1989, M. Editor. P. 295-308.

STURARO, J.R. & LANDIM, P.M.B. Mapeamento geoestatístico de ensaios de penetração padronizada (SPT). Solos e Rochas: Revista Brasileira de Geotecnia. 1989, Vol. 19, no.1, p. 3-14.