

Parte 1
Modelagem numérica e suas
aplicações nas engenharias

Krigagem ordinária aplicada à estimativa de um inventário mineral de calcário

Paulo Elias Carneiro Pereira¹

Marcos Napoleão Rabelo²

Isabela Oliveira³

Jorge Henrique Queiroz
de Assunção⁴

Resumo: Os estudos econômicos que culminarão na tomada de decisão sobre a implantação ou não do empreendimento mineiro são baseados em um modelo, denominado inventário mineral, o qual é obtido a partir de informações amostrais, interpoladas para os locais não amostrados através de técnicas de estimativa. As técnicas geoestatísticas vem sendo utilizadas como uma abordagem mais precisa em relação às técnicas tradicionais por considerar e quantificar a continuidade dos teores, além de fornecer os erros de estimação (variância de krigagem). Neste trabalho foi utilizada a Krigagem Ordinária (KO) para a estimativa de um depósito mineral de calcário no município de Indiara, estado de Goiás. A análise do modelo obtido evidenciou uma boa caracterização do minério (calcários). Já os materiais classificados como estéril não foram adequadamente caracterizados. Os resultados mostraram também uma grande parcela de Recursos Inferidos (baixo nível de confiança geológica), evidenciando, portanto, necessidade de amostragem adicional.

Palavras-chave: Calcário. Inventário Mineral. Krigagem Ordinária.

-
- 1 Universidade Federal de Goiás – UFG. Regional Catalão, Unidade Acadêmica Especial de Engenharias. Contato: paulo_elias_carneiro@ufg.br.
 - 2 Universidade Federal de Goiás – UFG. Regional Catalão, Unidade Acadêmica Especial de Matemática e Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Modelagem e Otimização. Contato: rabelo@dmate.ufpe.br.
 - 3 Universidade Federal de Goiás – UFG. Regional Catalão, Unidade Acadêmica Especial de Engenharias. Contato: isabela_ufg@hotmail.com.
 - 4 Universidade Federal de Goiás – UFG. Regional Catalão, Unidade Acadêmica Especial de Engenharias. Contato: jorge_hqa@hotmail.com.

Introdução

Um empreendimento mineiro tem início com a fase de Exploração Mineral, a qual compreende um conjunto de atividades com o intuito de primeiramente localizar um depósito mineral (descoberta) e subsequentemente avaliá-lo quanto à viabilidade de sua extração (MARJORIBANKS, 2010). O estudo de viabilidade econômica de um empreendimento mineiro é baseado em um inventário mineral de teores (recurso mineral), o qual contém estimativas da quantidade (tonelagem) e da qualidade (teores dos elementos/minerais) do material a ser eventualmente extraído (SINCLAIR; BLACKWELL, 2004).

A problemática geral na elaboração de inventários minerais é, a partir de um conjunto limitado de informações (amostras) e do conhecimento geológico da área, obter valores de uma ou mais variáveis geológicas (teores) nos locais não amostrados, processo conhecido como inferência espacial. Tal estimativa/interpolação é sempre necessária, visto que a amostragem não é realizada em pontos muito próximos entre si, essencialmente devido a fatores de ordem econômica (YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

O processo de estimativa de inventários minerais envolve a definição de controles da mineralização, análises estatísticas e/ou geoestatísticas da base de dados, e aplicação de uma técnica de interpolação de teores adequada (GLACKEN; SNOWDEN, 2001). O objetivo final é obter um modelo contendo teores e toneladas de materiais que podem eventualmente ser lavrados (ROSSI; DEUTSCH, 2014).

As técnicas para estimativa de recursos minerais variam desde técnicas puramente determinísticas, ditas tradicionais, às técnicas geoestatísticas. As técnicas tradicionais, tais como método dos polígonos de influência, vizinho mais próximo e inverso da potência das distâncias, utilizam conceitos de área de influência ao redor dos furos de sondagem (SINCLAIR; BLACKWELL, 2004). Entretanto, em tais métodos, o estabelecimento da área de influência se baseia em análises puramente subjetivas. Portanto, o problema reside na forma de se determinar o alcance amostral efetivo da área de influência, ou seja, quantificar até que ponto o teor de uma amostra influencia os demais teores (HUSTRULID et al., 2013).

De acordo com Sinclair e Blackwell (2004), a aplicação de procedimentos geoestatísticos para a estimativa de inventários minerais minimiza os problemas relativos aos métodos tradicionais, principalmente quanto à subjetividade na determinação da área de influência das amostras, que é, neste caso, estabelecida quantitativamente por meio da função variograma.

O variograma é uma função dada por uma curva, a qual representa o grau de similaridade entre teores separados por variadas distâncias. Tal curva geralmente é crescente com o aumento da distância que separa pares de amostras,

de tal forma que quanto mais distantes as amostras entre si, maior a diferença entre seus teores (MATHERON, 1963). Os variogramas fornecem informações quantitativas sobre a distribuição espacial de teores, as quais são utilizadas para a estimativa nos locais não amostrados por meio da Krigagem.

O problema geral a ser resolvido na Krigagem é fornecer a melhor estimativa de um ponto ou bloco de valor (teor) desconhecido a partir de um conjunto restrito de amostras, onde tal estimativa é feita por meio de uma combinação linear de amostras vizinhas, cujos pesos são estabelecidos por meio de informações obtidas com os variogramas (SINCLAIR; BLACKWELL, 2004). O procedimento de estimativa por Krigagem resulta em um modelo geológico de blocos contendo, em cada bloco, o teor estimado da(s) variável(is) geológica(s) em estudo. O modelo geológico constituído de teores e tonelagens é denominado *inventário mineral*.

Este trabalho é referente à etapa de estabelecimento do inventário mineral de um depósito de calcário, ou seja, estimativa de teores e tonelagens, realizada por ocasião do projeto de pesquisa intitulado “Estimativa de recursos minerais e otimização de cava aplicados a um estudo de caso de uma mina de calcário”, vinculado ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem e Otimização da Universidade Federal de Goiás, Regional Catalão. O objetivo central do projeto é determinar a cava matemática ótima para o empreendimento mineiro em estudo a partir de um modelo geológico e de teores baseado em uma abordagem geoestatística. Portanto, seguindo-se esta abordagem (geoestatística), este trabalho utiliza o procedimento de Krigagem Ordinária para o estabelecimento do inventário mineral de um depósito de calcário, e avalia a aderência de tal estimativa em relação aos dados amostrais, realizada a partir de três procedimentos comparativos: (i) teor estimado do bloco em relação ao teor médio ponderado das amostras contidas no bloco; (ii) estatísticas dos teores estimados em relação às respectivas estatísticas amostrais, e; (iii) quantis dos teores estimados em relação aos quantis dos teores amostrais (gráfico Q-Q).

1 Contexto do Trabalho

Os procedimentos realizados neste trabalho objetivam estabelecer os teores e tonelagens (inventário mineral) de um depósito de calcário situado a aproximadamente 15 km do centro urbano do município de Indiara, Goiás, nas margens da BR-060.

O estudo (projeto de pesquisa) teve início com a modelagem da estrutura física dos corpos geológicos em subsolo por meio de uma abordagem geoestatística (Krigagem Indicadora). Tal técnica determinou a probabilidade de cada domínio (tipo de rocha) prevalecer em cada local do depósito, obtendo-se um

modelo de blocos dotado, em cada bloco, do código do domínio de maior probabilidade de ocorrência. Tal modelo, representando o formato dos corpos geológicos em subsolo, foi utilizado neste trabalho para a determinação do inventário mineral, ou seja, modelo geológico de teores e tonelagens, do depósito mineral em estudo.

O modelo geológico de teores e tonelagens, baseado em técnicas geoestatísticas (Krigagem), será utilizado em etapas futuras do projeto de pesquisa para a elaboração da cava matemática ótima para o empreendimento, que maximize o Valor Presente Líquido (VPL) da extração.

2 Metodologia

As informações amostrais utilizadas consistem em 455 amostras, obtidas de 15 furos de sondagem rotativa e 13 trincheiras/canaletas, com comprimento amostral predominante de 5 metros, coincidente com a metade da altura média das bancadas na geometria atual da mina. As informações analíticas disponíveis são derivadas de análises químicas por fluorescência de raios X dos óxidos CaO e MgO. Além de tais informações químicas, foi também disponibilizada pela empresa detentora da área a descrição geológica das amostras retiradas nos furos de sondagem rotativa.

A classificação das unidades litológicas (domínios geológicos), neste caso, é baseada fundamentalmente nos teores de CaO e MgO (Tabela 1.1), de tal forma que tais domínios são classificados em Calcário Calcítico (CLC), Calcário Magnesiano (MAG), Calcário Dolomítico (DOL), Calcário Impuro (CLI) e Vulcânicas ou Metavulcânicas (VMV), sendo o penúltimo referente ao calcário com intercalações de rochas não carbonáticas e o último, às rochas não carbonáticas.

O modelo geológico de blocos utilizado, com blocos de 10 m x 10 m x 5 m, foi resultante de uma modelagem geoestatística por Krigagem Indicadora, onde se estimou a probabilidade de ocorrência de cada domínio geológico, em cada local do depósito. Tal modelo de blocos, consistindo de uma representação física dos formatos dos corpos geológicos em subsolo, foi a base para a estimativa dos teores dos óxidos CaO e MgO em cada domínio.

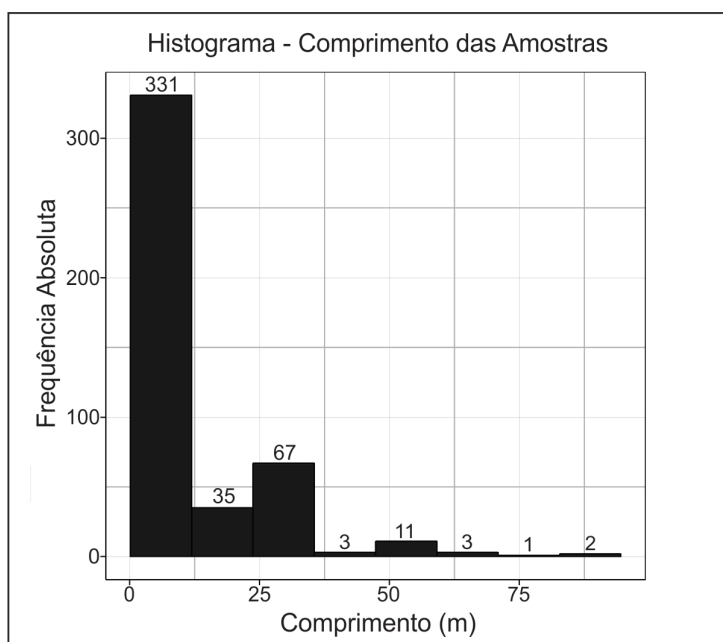
Os procedimentos realizados consistiram primeiramente em uma análise estatística dos óxidos CaO e MgO em cada unidade/domínio para se ter conhecimento sobre a distribuição estatística de cada um, e ainda verificar a presença ou não de *outliers* (valores errantes, muito altos ou baixos). Esta última análise identificou dois *outliers*, ambos na unidade DOL, os quais foram retirados. Portanto, as etapas subsequentes foram realizadas a partir de 453 amostras.

Tabela 1.1 Critérios de classificação das unidades litológicas/categorias

Domínio/Categoria	Critérios Químicos
CLC	Impureza < 25%; CaO + MgO > 38% e MgO < 5%
MAG	Impureza < 25%; CaO + MgO > 38%; MgO ≥ 5% e MgO ≤ 12%
DOL	Impureza < 25%; CaO + MgO > 38% e MgO > 12%
CLI	Impureza ≥ 25% e ≤ 50%
VMV	Impureza > 50%

Fonte: Autoria própria (2016)

O suporte da amostragem, ou seja, tamanho das amostras, mostrou variações significativas (Figura 1.1). Portanto, foi feita uma padronização do suporte amostral (comprimento das amostras), procedimento conhecido como compositagem, onde todas as amostras foram padronizadas ao tamanho de um metro (1 m). O objetivo de tal procedimento (compositagem) foi regularizar os comprimentos amostrais a um valor constante para se evitar acentuação dos erros de estimativa, já que os procedimentos de estimação consideram o suporte dos dados constante.

**Figura 1.1** Histograma do comprimento das amostras mostrando das frequências absolutas

Fonte: Autoria própria (2016)

A Tabela 1.2 e a Tabela 1.3 mostram uma comparação entre as principais estatísticas dos dados originais e dos dados regularizados para os óxidos CaO e MgO, respectivamente. Observa-se que não houve alterações significativas na média amostral após a compositagem das amostras. As maiores alterações se deram nas unidades CLI e VMV para a variável CaO e na unidade CLI para a variável MgO. Tais unidades representam apenas uma pequena fração do total amostrado, onde os domínios CLI e VMV equivalem a 10,15% e 11,48% do total amostrado, respectivamente. Além disso, a variação dos teores, representada pelo desvio padrão, não foi alterada substancialmente.

Tabela 1.2 Comparativo entre dados originais e regularizados em relação à média e ao desvio padrão para a variável CaO

Domínio	Média (%)		Desvio Padrão (%)	
	Original	Compositagem	Original	Compositagem
CLC	45,24	45,42	2,89	2,69
CLI	33,64	31,10	5,54	7,10
MAG	37,97	38,68	4,47	3,48
DOL	30,49	30,75	2,55	2,48
VMV	16,82	17,62	8,68	7,71

Fonte: Autoria própria (2016)

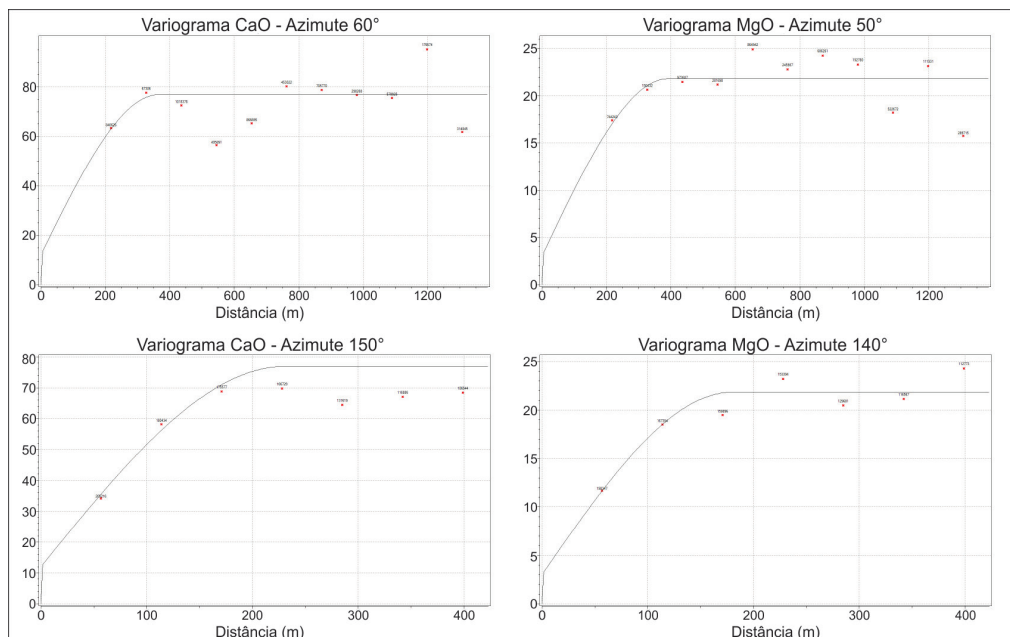
Tabela 1.3 Comparativo entre dados originais e regularizados em relação à média e ao desvio padrão para a variável MgO

Domínio	Média Amostral (%)		Desvio Padrão (%)	
	Original	Compositagem	Original	Compositagem
CLC	1,59	1,71	1,37	1,30
CLI	3,18	4,62	3,98	3,74
MAG	8,23	8,16	2,17	1,98
DOL	14,04	14,12	1,48	1,73
VMV	1,12	1,84	0,89	1,33

Fonte: Autoria própria (2016)

O procedimento convencional na elaboração dos variogramas é calculá-los para cada variável (CaO e MgO) e para cada domínio geológico de forma separada. Em casos de similaridade estatística e/ou de gênese entre domínios geológicos é possível agrupá-los em um domínio de estimativa e tratá-los então como um único domínio. Portanto, devido à similaridade na formação geológica (gênese) dos domínios CLC, MAG e DOL, tais unidades foram agrupadas em uma só, denominada “Calcários” (CALC). Os demais (CLI e VMV) foram tratados de forma separada. Entretanto, não foram calculados variogramas de cada variável e para cada domínio de forma separada por duas razões: (i) indisponibilidade de amostras, particularmente das unidades CLI e VMV, para cálculo dos variogramas, e; (ii) baixa contribuição dos domínios CLI e VMV no total amostrado, já que representam 10,15% e 11,48% do total de amostras, respectivamente.

Os variogramas foram então calculados a partir do total de amostras, onde, para cada óxido, foram calculados três variogramas perpendiculares entre si, dois no plano horizontal e um no plano vertical (inclinação = 90°). Todos os ajustes variográficos foram feitos por uma única estrutura esférica (Figura 1.2).



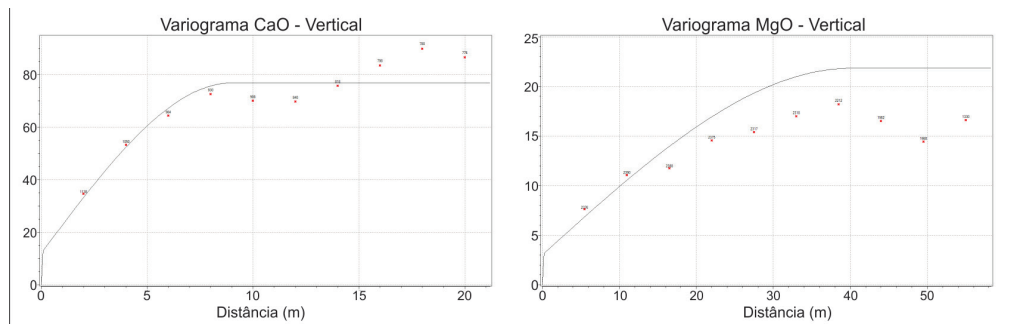


Figura 1.2 Variogramas experimentais (pontos) e ajuste teórico (linha contínua) das variáveis CaO (coluna esquerda) e MgO (coluna direita)

Fonte: Autoria própria (2016)

As estimativas dos domínios foram realizadas de forma separada, cada um a partir somente das suas respectivas amostras, uma vez que os domínios dos calcários (CALC), do “calcário impuro” (CLI) e das rochas não carbonáticas (VMV) se tratam de domínios de estimativa distintos. Portanto, embora os variogramas tenham sido calculados a partir do total de amostras, as estimativas foram realizadas de forma separada, a partir dos parâmetros variográficos obtidos.

A classificação dos recursos minerais foi feita a partir do volume de busca utilizado. Desta forma, foram gerados três volumes de busca: um com eixos correspondentes de 2/3 do respectivo alcance variográfico, atribuído ao Recurso Medido; um com eixos correspondentes aos respectivos alcances totais, atribuído ao Recurso Indicado; e outro com eixos maiores que os respectivos alcances variográficos, atribuído ao Recurso Inferido.

3 Resultados e Discussão

A quantificação do inventário mineral quanto aos teores e tonelagens em cada domínio geológico (Tabela 1.4) mostrou que aproximadamente 70,37% dos recursos minerais seriam atribuídos ao Calcário Calcítico, o que condiz de forma aproximada com a amostragem, onde 51% do total amostrado é atribuído a este domínio. A tonelagem total efetivamente classificada quanto ao domínio geológico foi de 234.613.829,19 toneladas, com teores médios de CaO e MgO de 40,38% e 3,97%, respectivamente. Tais resultados evidenciam que o calcário predominante no depósito mineral é, de fato, o Calcítico.

A avaliação quanto às categorias de recursos minerais (Tabela 1.5) evidenciou que 42,60% do total dos recursos são da categoria Inferido, referente à categoria com o menor grau de confiança geológica. As demais categorias exibiram proporções similares. A categoria de maior confiança (Recurso Medido)

correspondeu à 30,12% do total, e a de confiança intermediária (Recurso Indicado), a 27,28%. A quantidade de material classificado como Recurso Inferido seria reduzida com um aporte maior de informações amostrais, já que, de fato, haveria uma melhoria no estabelecimento das continuidades geológica e de teores.

Tabela 1.4 Quantificação das tonelagens e teores médios do inventário mineral quanto aos domínios geológicos

Domínios	Massa (t)	CaO (%)	MgO (%)
CLC	165.096.536,92	43,22	3,20
MAG	24.259.839,77	38,76	7,42
DOL	18.080.618,43	35,93	8,58
CLI	12.830.541,99	32,53	3,52
VMV	14.597.871,34	20,85	1,34
Total	234.613.829,19	40,38	3,97

Fonte: Autoria própria (2016)

Tabela 1.5 Quantificação das tonelagens e teores médios do inventário mineral quanto às categorias de recursos minerais

Recurso	Massa (t)	CaO (%)	MgO (%)
Medido	71.495.516,82	41,13	4,08
Indicado	64.743.475,30	41,10	4,13
Inferido	101.118.872,17	41,51	4,07
Total	237.357.864,29	41,31	4,09

Fonte: Autoria própria (2016)

A análise comparativa visual entre os teores estimados e amostrais indicou uma proximidade substancial entre o modelo estimado e a situação real. Na Figura 1.3 pode-se observar que o teor estimado de CaO (valor em azul) é 3,48% maior que o teor médio ponderado das amostras dentro do bloco (valores em vermelho). Tal diferença se deve ao fato de que outras amostras, tanto acima quanto abaixo do bloco, colaboraram com a estimativa do mesmo.

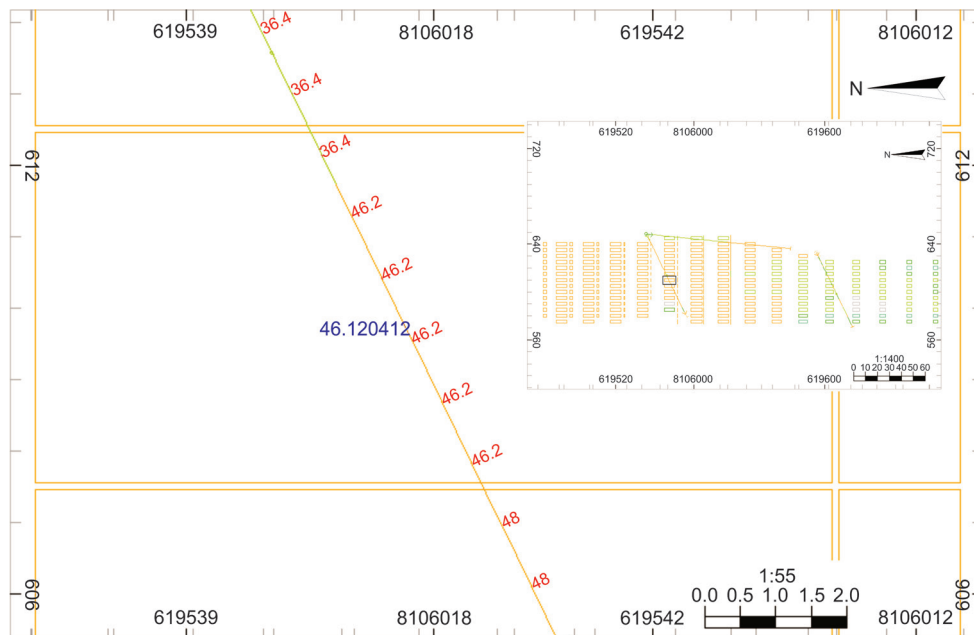


Figura 1.3 Exemplo de uma seção transversal do modelo geológico estimado mostrando um bloco e amostras passantes (furo de sondagem)

Fonte: Autoria própria (2016)

A comparação entre as estatísticas (média e variância) dos teores amostrais e as do modelo de teores mostraram desvios significativos. Quanto à variável CaO (Tabela 1.6), o maior desvio da média foi na unidade VMV, com um aumento de 18,35%, seguido pelo domínio DOL, com um aumento de 16,83%, ambos em relação aos dados amostrais. Quanto à variância, houve um aumento geral em relação aos dados amostrais, exceto no domínio CLI. Comparando-se estatísticas de teores amostrais e estimados para a variável MgO (Tabela 1.7), nota-se que há diferenças substanciais entre os teores médios estimados e reais. Tal diferença chega a um aumento de 87,13% em relação ao teor médio amostral na unidade CLC. Já as demais unidades mostraram uma diminuição em relação ao teor médio amostral. Quanto à variância, houve um aumento em relação à estatística amostral, exceto nos domínios CLI e VMV.

Comparando-se os resultados (média e variância) do modelo de cada domínio geológico com os respectivos limites inferior e superior obtidos por testes de hipóteses ao nível de confiança de 95%, nos quais se considerou os dados amostrais como sendo a população (parâmetros μ e σ^2), nota-se que, no caso da variável CaO, 50% dos indicadores estatísticos não estão em conformidade com os limites estabelecidos pelo teste de hipóteses, e no caso do MgO, este valor é de

80%, evidenciando não conformidade com os dados amostrais. Entretanto, 60% de tais valores não conformes se encontram muito próximos dos limites inferior ou superior.

As diferenças estatísticas, tanto em relação à variável CaO quanto à variável MgO, podem ser devido, em parte, à presença de blocos de um domínio na estimativa de um outro domínio nos limites dos contatos geológicos, consequência do corte do modelo de blocos por um sólido triangulado (*wireframe*), onde o bloco de um domínio, por possuir o seu centroide fora do sólido do respectivo domínio, é excluído deste e atribuído ao domínio vizinho.

Tabela 1.6 Comparativo entre estatísticas amostrais e do modelo para a variável CaO

Domínio	Parâmetros	Amostras	Modelo	Limite Inferior	Limite Superior
CLC	Média (%)	45,42	43,21	44,87	45,62
	Variância (% ²)	7,24	18,16	7,00	10,10
MAG	Média (%)	38,68	38,76	36,96	38,99
	Variância (% ²)	12,10	15,37	14,86	28,18
DOL	Média (%)	30,75	35,93	29,74	31,24
	Variância (% ²)	6,16	32,55	4,49	10,25
CLI	Média (%)	31,10	32,53	32,00	35,29
	Variância (% ²)	50,38	32,71	21,00	48,64
VMV	Média (%)	17,62	20,86	14,41	19,24
	Variância (% ²)	59,49	102,30	52,91	115,85

Fonte: Autoria própria (2016)

Os desvios também podem ser consequência dos parâmetros de estimativa utilizados, especificadamente números mínimo e máximo de amostras, totais e por octante. Neste caso, como o domínio dos calcários (CALC) contém três tipos de calcário, inevitavelmente ocorrem interferências de um tipo de calcário na estimativa de outro, e vice-versa. Tais interferências podem ser reduzidas adotando-se parâmetros que priorizem estimativas mais localizadas, ou seja, realizadas somente com as amostras mais próximas ao bloco a ser estimado, e/ou desmembrando o domínio dos calcários em três domínios isolados, cada um associado a um tipo de calcário.

Tabela 1.7 Comparativo entre estatísticas amostrais e do modelo para a variável MgO

Domínio	Parâmetros	Amostras	Modelo	Limite Inferior	Limite Superior
CLC	Média (%)	1,71	3,20	1,42	1,77
	Variância (% ²)	1,69	7,08	1,57	2,26
MAG	Média (%)	8,16	7,42	7,74	8,72
	Variância (% ²)	3,90	6,74	3,50	6,65
DOL	Média (%)	14,12	8,57	13,60	14,47
	Variância (% ²)	3,01	13,40	1,50	3,43
CLI	Média (%)	4,62	3,52	2,00	4,36
	Variância (% ²)	13,95	8,64	10,91	25,17
VMV	Média (%)	1,84	1,34	0,87	1,37
	Variância (% ²)	1,78	1,64	0,56	1,22

Fonte: Autoria própria (2016)

O gráfico Q-Q (*Q-Q Plot*) da variável CaO entre dados estimados e amostrais (Figura 1.4-A) torna exposto que somente há correspondência entre modelo e realidade em teores de CaO acima de 40% aproximadamente. Conforme a diminuição do teor, há um distanciamento substancial do modelo em relação à realidade. Já em teores elevados, acima de 40%, há boa compatibilidade entre teores reais e estimados, a qual se torna maior com o aumento do teor. A baixa precisão das estimativas em faixas de teores baixos está atribuída à pequena parcela de amostras dos respectivos domínios em relação ao total amostrado, particularmente nos domínios CLI e VMV, os quais representam 10,15% e 11,48% do total de amostras, respectivamente.

O fato de haver uma baixa precisão da estimativa em teores baixos de CaO, particularmente nos domínios CLI e VMV, não impacta na análise econômica futura, já que se tratam de domínios de material estéril (não aproveitável), de tal forma que uma alta precisão nestes domínios não se faz essencial. Do contrário, os calcários necessitam de uma estimativa precisa por se tratarem de minério. De acordo com a Figura 1.4-A, os domínios dos calcários se encontram razoavelmente bem caracterizados, principalmente o domínio do Calcário Calcítico, ao qual estão atribuídos os teores mais elevados de CaO.

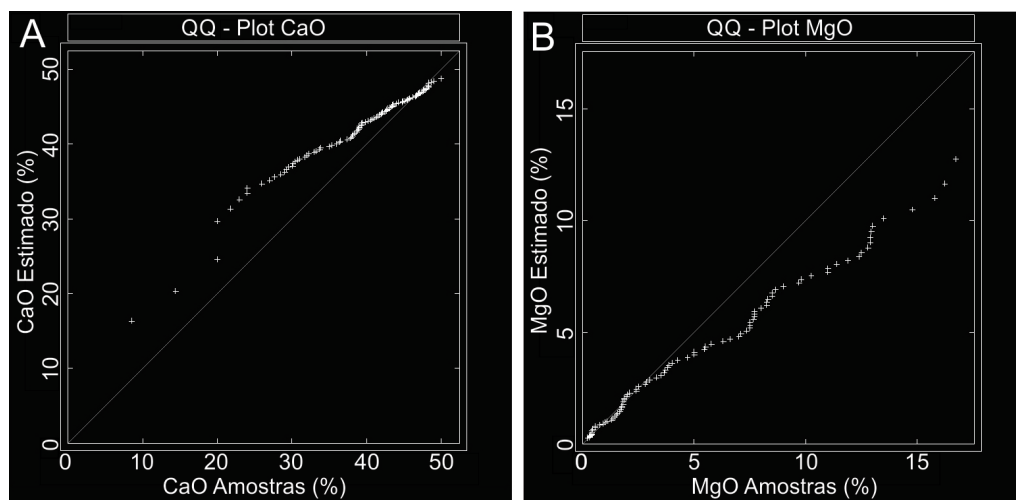


Figura 1.4 Gráficos Q-Q das variáveis CaO (A) e MgO (B)

Fonte: A autoria própria (2016)

A análise do Gráfico Q-Q da variável MgO (Figura 1.4-B) mostrou uma boa compatibilidade entre os teores de MgO reais e estimados até teores na faixa de 4% aproximadamente, dentro da faixa de teores de MgO do Calcário Calcítico (MgO máximo de 5%), com uma deterioração progressiva da similaridade dos quantis com o aumento do teor. Tal fato está vinculado à mesma causa da imprecisão em faixas de teores baixos observada no Gráfico Q-Q da variável CaO (Figura 1.4-A).

Portanto, pelos gráficos Q-Q, observa-se que o domínio do Calcário Calcítico se encontra bem definido no modelo geológico estimado, principalmente devido à grande quantidade de amostras desta unidade em relação ao total. Já as demais unidades, particularmente a CLI e a VMV, não estão bem caracterizadas, consequência da pequena parcela destes domínios no total amostrado.

Conclusões

A elaboração de inventários minerais é uma das principais atividades na etapa de Exploração Mineral, visto que as informações contidas no modelo estimado são a base para os estudos de viabilidade econômica do empreendimento. Uma boa caracterização das zonas mineralizadas e arredores quanto à continuidade geológica e aos teores associados pode ser obtida por meio de uma amostragem adequada e uso de técnicas de estimativa que fornecem resultados precisos.

A análise dos resultados da estimativa por Krigagem Ordinária evidenciaram que, embora o domínio do calcário calcítico esteja a princípio razoavelmente bem

caracterizado, como observado no gráfico Q-Q (Figura 1.4), os testes de hipóteses mostraram que há divergências substanciais entre o modelo e os dados amostrais, não só no calcário calcítico, mas nos demais domínios, principalmente no que tange à variável MgO, onde a média do modelo se mostrou em conformidade com os limites somente nos domínios CLI e VMV. Portanto, pretende-se, como trabalhos futuros, realizar as estimativas com outros parâmetros e/ou tratar o domínio dos calcários (CALC) como três domínios isolados com o intuito de aproximar mais o modelo aos dados amostrais. Tal procedimento poderá reduzir as interferências das amostras de um calcário em outro e vice-versa, aumentando a qualidade da estimativa. Além disso, pretende-se realizar testes de inferência com outras distribuições estatísticas com o intuito de se verificar a compatibilidade dos estimadores (média e variância).

Observa-se ainda que embora não seja essencialmente necessário um refinamento da estimativa nos domínios CLI e VMV, por se tratarem de material estéril, e portanto não aproveitáveis comercialmente, recomenda-se também a coleta de amostras adicionais, o que certamente: (i) melhorará a qualidade das estimativas; (ii) fornecerá um melhor delineamento dos contatos geológicos, e; (iii) diminuirá a quantidade de material classificado como Recurso Inferido, aumentando, portanto, as reservas de minério *in situ*.

Referências

- GLACKEN, I. M.; SNOWDEN, D. V. Mineral Resource Estimation. In: EDWARDS, A. C. (Ed.). **Mineral Resource and Ore Reserve Estimation – The AusIMM Guide to Good Practice**. Melbourne: The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 2001. p. 189-198.
- HUSTRULID, W.; KUCHTA, M.; MARTIN, R. Orebody description. In: _____. **Open Pit Mine Planning & Design**. 3. ed., vol. 1. Boca Raton: CRC Press, 2013. cap. 3, p. 186-289.
- MARJORIBANKS, R. Prospecting and the Exploration Process. In: _____. **Geological Methods in Mineral Exploration and Mining**. 2. ed. Berlin: Springer, 2010. cap. 1, p. 1-12.
- MATHERON, G. Principles of Geostatistics. **Economic Geology**, vol. 58, 1246-1266. 1963.
- ROSSI, M. E.; DEUTSCH, C. V. Definition of Estimation Domains. In: _____. **Mineral Resource Estimation**. Dordrecht: Springer, 2014. cap. 4, p. 51-65.

SINCLAIR, A. J.; BLACKWELL, G. H. Kriging. In: _____. **Applied Mineral Inventory Estimation**. Cambridge: Cambridge University Press, 2004. cap. 10, p. 215-241.

SINCLAIR, A. J.; BLACKWELL, G. H. Mineral Inventory: An Overview. In: _____. **Applied Mineral Inventory Estimation**. Cambridge: Cambridge University Press, 2004. cap. 1, p. 1-30.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. Conceitos Básicos. In: _____. **Geoestatística: Conceitos e Aplicações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. cap. 1, 19-32.

