

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais
Curso de Especialização em Engenharia de Recursos Minerais

RODRIGO DINIZ GROSSI

**ESTIMATIVA PRELIMINAR DE RECURSO MINERAL PARA DEPÓSITO DE
OURO**

Belo Horizonte

2024

Rodrigo Diniz Grossi

**ESTIMATIVA PRELIMINAR DE RECURSO MINERAL PARA DEPÓSITO DE
OURO**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Engenharia de Recursos Minerais, como requisito para obtenção do título de Especialista em Engenharia de Recursos Minerais.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Henrique Alves Campos

Belo Horizonte

2024



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MINAS
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE RECURSOS MINERAIS

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
MONOGRAFIA/ARTIGO

Aos três dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e vinte e cinco, às 15 horas, o estudante Rodrigo Diniz Grossi, matrícula 2023662227, defendeu o Trabalho intitulado "**ESTIMATIVA PRELIMINAR DE RECURSO MINERAL PARA DEPÓSITO DE OURO**".

Participaram da banca examinadora os professores abaixo indicados, que, por nada mais terem a declarar, assinam eletronicamente a presente ata.

Situação: Aprovado. Nota: 90.

Orientador: Professor Pedro Henrique Alves Campos

Examinadora: Professora Débora Silvano Moreira



Documento assinado eletronicamente por **Pedro Henrique Alves Campos, Professor do Magistério Superior**, em 03/02/2025, às 16:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Débora Silvano Moreira, Professor(a)**, em 05/02/2025, às 10:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3932503** e o código CRC **D867DC10**.

INSTRUÇÕES

Este documento deve ser editado apenas pelo Orientador e deve ser assinado eletronicamente por todos os membros da banca.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de deixar a todos aqueles que estiveram comigo durante a realização deste trabalho o meu muito obrigado! Um agradecimento especial à Seequent na figura das pessoas Guilherme Araújo e Robson Lima por auxiliarem na liberação das licenças acadêmicas. O suporte da Seequent às universidades brasileiras é um processo contínuo e importante, trazendo benefícios mútuos à empresa e aos estudantes.

Agradeço, também de forma especial, a Jaguar Mining por permitir a realização desse trabalho. Empresa que apoia e incentiva o desenvolvimento dos seus profissionais, mantendo um ambiente de trabalho diverso e alegre para que, com muita excelência, o trabalho possa ser desenvolvido.

Agradeço ao professor e orientador Pedro Campos, pela confiança e ajuda na realização desse trabalho. Saúdo também o amigo Lucas Mariano Oliveira Santos pelas discussões que tanto somaram no aprendizado ao longo de todo o curso de especialização.

RESUMO

O Quadrilátero Ferrífero (QF) em Minas Gerais, Brasil representa uma importante província mineral brasileira, com depósitos de classe mundial para substâncias como ouro e ferro. Os depósitos de ouro começaram a ser explorados ainda no século XVII em diversas localidades no QF. Ainda são identificadas escavações superficiais e galerias subterrâneas desenvolvidas pelos bandeirantes e que, ao longo do tempo, se tornaram alvos de pesquisa e exploração por diversas empresas. Um desses alvos de pesquisa, cuja localização não será informada, foi pesquisado e, utilizando dados de mapeamento geológico-estrutural, descrição e análises químicas de sondagem diamantada, foi elaborado um modelo geológico de mineralização. A partir dos sólidos construídos, foi realizada uma estimativa preliminar de recursos minerais utilizando o Leapfrog Geo/Edge. Os recursos totais de ouro para esta área foram estimados em 62.660,86 onças com teor de 0,53g/t. Por estar em fase inicial de pesquisa, com poucos dados de sondagem (6600m e parcialmente amostrado), foi realizada, de forma ilustrativa, uma classificação dessa estimativa de recurso. O depósito apresenta grande parte dos teores próximos a superfície, uma geologia favorável e grande potencial para aumento dos recursos, já que o corpo se encontra em aberto lateralmente e em profundidade.

Palavras-chave: Quadrilátero Ferrífero; ouro; pesquisa mineral; estimativa de recursos minerais.

ABSTRACT

The Iron Quadrangle (QF) in Minas Gerais, Brazil, represents an important Brazilian mineral province, with world-class deposits of substances such as gold and iron. Gold deposits were discovered in the 17th century, but until nowadays surface excavations and underground galleries developed by the “bandeirantes” still have been identified and have become research and exploration targets. One of these targets, whose location will not be disclosed, was drilled and a geological model of mineralization was developed using geological-structural mapping data, description and chemical analyses of diamond drilling. A preliminary estimate of mineral resources was made using Leapfrog Geo/Edge. The total gold resources for this area were estimated at 62,660.86 ounces with a grade of 0.53 g/t. Because it is in the early stages of research, with few drilling data (6600m and partially sampled), a classification of this resource estimate was made for illustrative purposes. The deposit has a large proportion of its contents close to the surface, favorable geology and great potential for increasing resources, since the ore body still opens laterally and at depth.

Keywords: Iron Quadrangle; gold; mineral exploration; mineral resource estimation.

Lista de Abreviações

Au – Ouro

CIX – Clorita Xisto

FF- Formações Ferríferas Bandadas

G/T – Gramas por tonelada

Ma - Metandesito

Mch - Metachert

NR – Não recuperado

Oz - Onças

QAQC – Quality Assurance Quality Control

QF - Quadrilátero Ferrífero

SGRV - Supergrupo Rio das Velhas

SI - Solo

SQZX – Sericita Quartzo Xisto

TX – Talco Xisto

US\$ - Dólar americano

VQz – Veio de Quartzo

X1 - Carbonato Quartzo Sericita Xisto com material carbonoso

X2 - Quartzo Carbonato Sericita Xisto

X2Cl - Sericita Clorita Quartzo/Carbonato Xisto

X2Qz - X2 ou X2Cl com abundantes lentes de Veios de Quartzo

XS - Carbonato Clorita Sericita Quartzo Xisto (presença de quartzo vulcânico)

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	9
2 – OBJETIVOS	10
3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
4 – METODOLOGIA	16
4.1 – SONDAGEM DIAMANTADA	16
4.2 – AMOSTRAGEM, ANÁLISES QUÍMICAS, DENSIDADE E QAQC.....	17
4.3 – SOFTWARES.....	18
5 – RESULTADOS	19
5.1 – GEOLOGIA	19
5.2 – DOMÍNIOS DE ESTIMATIVA.....	20
5.3 – ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS	22
5.4 – ANÁLISE DE FRONTEIRAS E ESTIMADORES	30
5.5 – VARIOGRAMAS.....	38
5.6 – DESAGRUPAMENTO	49
5.7 – ESTIMATIVA	56
6 – VALIDAÇÃO	57
6.1 – VALIDAÇÃO VISUAL	58
6.2 – VALIDAÇÃO ESTATÍSTICAS	59
6.3 – VALIDAÇÃO SWATH PLOT.....	60
7 – ESTIMATIVA DE RECURSOS MINERAIS	62
8 – DISCUSSÕES	67
9 – CONCLUSÕES	68
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

1 – INTRODUÇÃO

Esse trabalho consiste na elaboração de um modelo geológico 3D com base em dados de campo e de sondagem diamantada. A partir desse modelo geológico serão definidos domínios de estimativas e, no interior desses sólidos, será feita uma estimativa de recursos de ouro.

A área estudada está situada na porção central do Quadrilátero Ferrífero/MG (QF) onde estão expostas rochas pertencentes ao Supergrupo Rio das Velhas (SGRV), com destaque para as unidades inferiores e intermediária, sendo essas representadas por sequência de rochas metassedimentares (químicas e clásticas) e metavulcânicas de composição máfica-ultramáfica.

As mineralizações auríferas estão ligadas a forte alteração hidrotermal, com predomínio de carbonatação, cloritização, sericitização, silicificação e sulfetação. O ouro é encontrado em zonas de sulfetos associados a massas de quartzo e carbonato. Essas zonas se desenvolvem tanto nos horizontes de formações ferríferas bandadas e metachert quanto encaixadas em metassedimentos de origem clásticas.

Os domínios de estimativa foram construídos combinando atributos geológicos com análises da distribuição de ouro por litotipo descrito. A partir desse entendimento, foram construídos sólidos 3D de cada um dos domínios, formando assim o arcabouço geológico e estatístico da área de estudo.

Por ser um prospecto em fase inicial de pesquisa, com poucas informações de sondagem e amostragem, as estimativas encontradas podem ser consideradas parciais. Mas ainda sim são importantes para o entendimento do potencial do depósito mineral e auxiliar na decisão de continuidade da pesquisa mineral, principalmente na alocação de novos furos de sondagem. Para depósitos nesta fase de pesquisa, mais importante que a conversão de recursos, é o aumento do conhecimento e tamanho do depósito. Ou seja, sondar e pesquisar áreas que permitam aumentar os recursos disponíveis e o conhecimento geológico, independente da sua classificação.

A primeira etapa para se chegar a uma estimativa de recursos foi o entendimento do conjunto de informações de sondagem a partir da análise exploratória de dados. Após essa etapa foram construídos os variogramas que melhor representam a continuidade esperada para as mineralizações. A estimativa de recursos foi feita utilizando o método de interpolação da Krigagem Ordinária.

2 – OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo avaliar, do ponto de vista geológico e estatístico, o conjunto de dados de sondagem (análise exploratória de dados), criar domínios com características geológicas e estatísticas semelhantes, avaliar a continuidade das mineralizações a partir dos variogramas, interpolar os teores a partir da técnica da krigagem ordinária e gerar modelos de blocos com teores estimados para os domínios.

3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Recurso mineral é uma concentração anômala de um determinado mineral com interesse econômico em quantidades que apresentam perspectiva de extração. São divididos em três categorias a depender da confiabilidade das informações. Recurso inferido é aquele que apresenta dados limitados, mas que as informações sugerem continuidade. Os recursos indicados são aqueles com uma maior confiabilidade, os dados já são suficientes para avaliações de viabilidade e embasar planos de lavra/produção. Já os recursos medidos são aqueles com maior confiança na informação e possuem a mesma aplicabilidade que os recursos indicados.

Já reserva mineral é a parte passível de ser lavrada dentro de um recurso mineral indicado ou medido. Pode ser considerada como provável e provada, também de acordo com a confiabilidade das informações.

Os fatores modificadores e de conversão entre recursos e reservas minerais podem ser ligados a métodos de lavra, processamento do material lavrado, metalurgia, infraestrutura, aspectos ambientais, sociais e governamentais.

A avaliação de reservas e recursos minerais é sempre feita com base em blocos de cubagem, que devem ser estimados a partir das amostras coletadas em sua vizinhança. Amostras situadas próximas ao bloco a ser estimado deverão apresentar teores altamente relacionados com ele e poderão, portanto, ser utilizadas para estimar seu valor médio, e, à medida que se situem a distância maiores, o seu relacionamento diminui até se tornarem independentes. A influência de cada amostra é inversamente proporcional à distância (Yamamoto & Landim, 2013).

Para se chegar até os valores de recursos minerais são necessárias várias técnicas e metodologias. Conforme foi dito por Matheron no livro *Mining Geostatistics*:

A distribuição de teores em um depósito mineral é de caráter misto, sendo parcialmente estruturado e parcialmente aleatório. Por um lado, o processo de mineralização tem uma estrutura geral e segue certas leis, geológicas ou metalogênicas: em particular, zonas de alto e baixo valores sempre existem, e isso é possível apenas se a variabilidade dos teores possui um certo grau de continuidade. Dependendo do tipo do depósito mineral, esse grau de continuidade será mais ou menos evidente, mas sempre existirá (Matheron, 1978).

Portanto, para se chegar a um recurso mineral, se faz necessário apoiar-se sobre o estudo da geologia local e da estatística dos dados (amostras) e assim ser capaz de estimar de forma confiável a quantidade de recurso existente em determinada área.

Antes de se estimar os recursos minerais, é necessário conhecer a estatística dos dados das amostras que serão utilizadas para embasar a estimativa. Portanto, é necessário que se faça a análise exploratória dos dados, obtendo as principais características estatísticas das informações disponíveis.

Existem uma série de representações gráficas que ajudam na avaliação estatística do conjunto de dados. Estes gráficos são utilizados tanto para estatística univariada (Figura 1), quanto para bivariada (Figura 2). Alguns dos gráficos mais importantes e utilizados são o histograma, o *scatter-plot*, o *Q-Q plot* e o *box plot*.

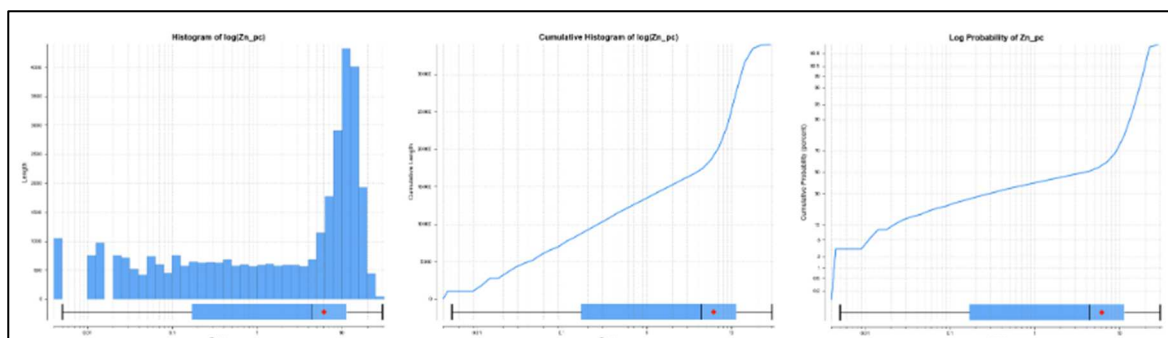


Figura 1: Variados tipos de histograma. A imagem da esquerda mostra a função densidade de probabilidade para os valores, a imagem do centro representa o histograma cumulativo e a da direita representa histograma cumulativo em escala logarítmica. Retirado da função *Help* do software *Leapfrog*.

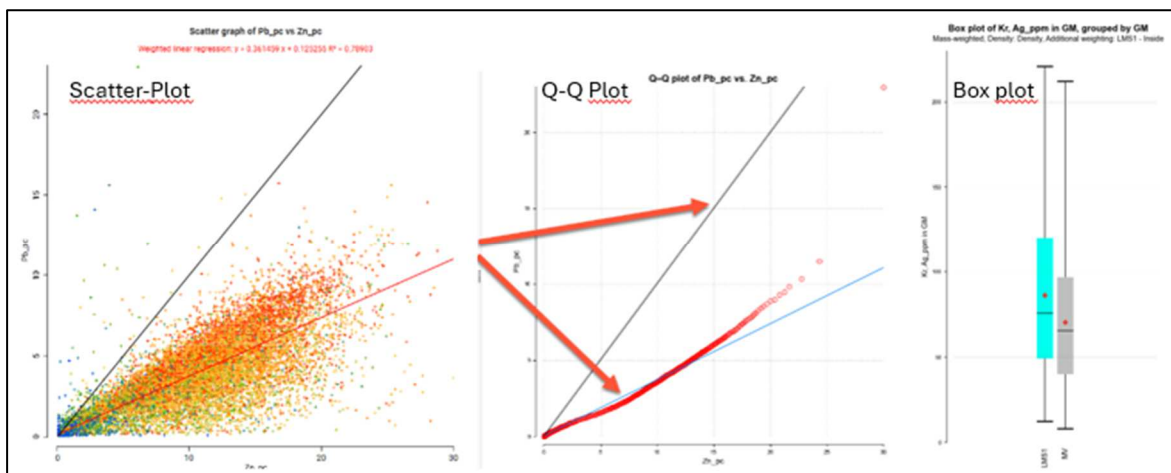


Figura 2: Gráficos utilizados para análises bivariadas. A figura da esquerda representa um gráfico de dispersão ou scatter-plot, a imagem central representa um gráfico Q-Q Plot e a imagem da direita é um *box-plot* de variáveis contínuas. Retirado da função *Help* do software *Leapfrog*.

O histograma é um gráfico de barras que representa a distribuição de frequências de dados, mostra uma função de densidade de probabilidade para os valores. O histograma cumulativo mostra uma função de distribuição cumulativa para os valores como um gráfico de linhas.

O *Scatter Plot* (gráfico de dispersão) é útil para entender as relações entre duas variáveis.

O *Q-Q Plot* é uma ferramenta gráfica que compara um conjunto de dados com um modelo teórico ou com outra distribuição. É útil para validar suposições sobre a natureza das distribuições de dados.

O *Box Plot* fornece uma visualização das principais estatísticas para um conjunto de dados. Características importantes desse gráfico: a média é indicada pelo diamante vermelho, a mediana é indicada pela linha que atravessa o interior da caixa, a caixa envolve o intervalo interquartil em torno da mediana (Q1 e Q3), os “bigodes” representam os valores máximo e mínimo.

A Figura 3 representa uma área hipotética em que se deseja estimar os recursos minerais a partir da amostragem realizada. Como existe uma concentração de amostras, se faz necessário aplicar técnicas de desagrupamento, ou seja, equiparar e modificar o peso que vai incidir em cada amostra. Os métodos mais conhecidos são o da Poligonal e do Células Móveis. O método da poligonal consiste em traçar linhas que unem as amostras realizadas e, na sequência traçar linhas bissetrizes (divide um segmento em duas partes de igual tamanho) a esses segmentos.

Esse conjunto de linhas formam polígonos que correspondem ao peso/influência de cada amostra. Polígonos de área menor correspondem a uma maior concentração de amostras em seu entorno e, conseqüentemente, menor peso individual daquela amostra. Já o método das Células Móveis (Deutsch, 1989), funciona através da criação de células ao longo da área/volume de estudo. Cada dado recebe um peso igual ao inverso da multiplicação entre nd X noc sendo nd o número de dados dentro da mesma célula que o dado considerado, e noc o número de células ocupadas por pelo menos uma amostra ($1/ nd \times noc$). (Campos, 2023).

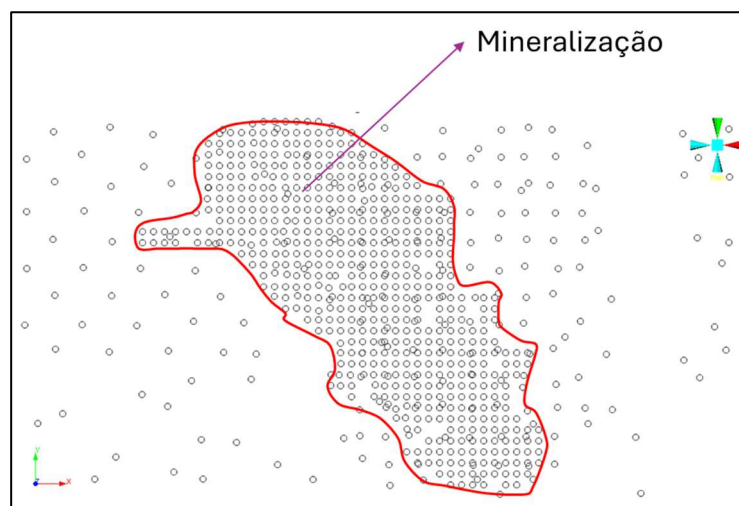


Figura 3: Amostragem realizada afim de se estimar a quantidade de recursos de determinado metal nessa área. Observa-se que a distribuição das amostras não é homogênea. Retirado de Campos, 2023.

Os fenômenos da natureza apresentam variabilidade espacial, seja ela grande ou pequena, portanto, a modelagem da continuidade espacial dos dados se faz necessária para se chegar a uma estimativa de recursos. Algumas das ferramentas que medem essa variabilidade espacial são: variogramas (semi-variograma), correlograma e covariograma (Rossi & Deutsch, 2014).

O variograma ou semi-variograma é a ferramenta básica, que permite descrever quantitativamente a variação no espaço de um fenômeno regionalizado (Yamamoto & Landim, 2013). Deve refletir as características espaciais do fenômeno em estudo. O variograma experimental mede quão diferentes, na média, são duas amostras separadas por um vetor h de comprimento e direção definidos (Campos, 2023). A orientação geológica regional ou local fornece as direções principais para cálculo dos variogramas experimentais. Os variogramas experimentais são calculados para as direções específicas por meio da função variograma (Yamamoto & Landim, 2013):

Equação 1 – Equação da função variograma.

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

Ao utilizar-se o variograma nas principais direções de anisotropia, é possível calcular as dimensões médias de continuidade (alcance variográfico) ao longo destas direções. Quando estas dimensões são iguais em todas as direções, o modelo é chamado isotrópico e depende somente do comprimento do vetor h ; já quando as dimensões variam conforme a direção, o modelo é dito anisotrópico. Na prática as amostras nunca estão exatamente separadas por um vetor h , por isso devem ser estabelecidas tolerâncias como: tolerância angular, largura de banda, tolerância de passo (Figura 4). Quanto maior forem as tolerâncias, mais “suavizado” será o variograma, por outro lado, quanto menor forem as tolerâncias menos pares de pontos, maior o ruído (Campos, 2023).

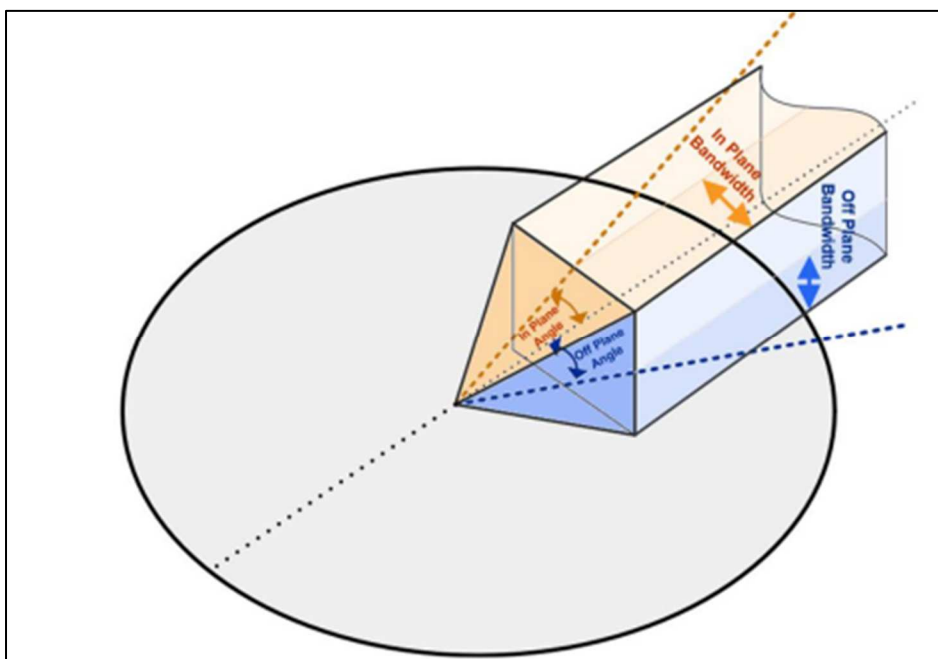


Figura 4: Tolerâncias angular, de passo e largura de banda. Retirado da função *Help* do software *Leapfrog*.

A modelagem do variograma é a definição da curva que melhor se adequa aos pontos do variograma experimental em determinada direção (Figura 5). Essas curvas são construídas a partir de uma função (esféricas, exponenciais ou gaussianas).

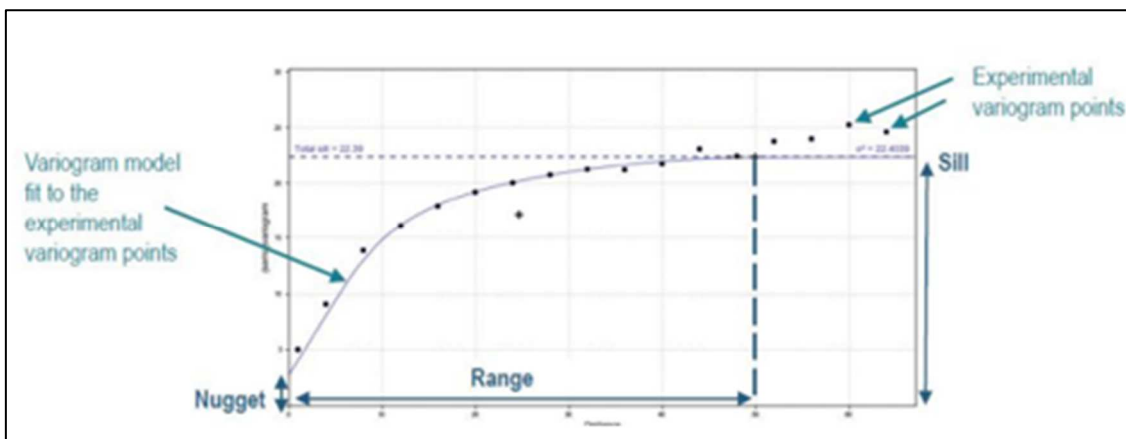


Figura 5: Modelagem do variograma a partir dos variogramas experimentais. Retirado da função *Help* do software *Leapfrog*.

A Krigagem é um processo estatístico de estimativa de valores de variáveis distribuídas no espaço e/ou tempo, com base em valores adjacentes quando considerados interdependentes pela análise variográfica. Pode ser comparado com os métodos tradicionais de estimativa por médias ponderadas ou por médias móveis, mas a diferença fundamental é que somente a krigagem apresenta estimativas não tendenciosas e a mínima variância associada ao valor estimado. O estimador mais usual é a Krigagem ordinária. (Yamamoto & Landim, 2013). Todas as krigagem são variações de um estimador de regressão linear $Z^*(\mu)$:

Equação 2 – Equação linear genérica.

$$Z^*(\mu) - m(\mu) = \sum_{\alpha=1}^{n(\mu)} \lambda_{\alpha}(\mu) [Z(u_{\alpha}) - m(u_{\alpha})]$$

Onde $\lambda(\mu)$ é o peso associado a amostras, $Z(\mu_{\alpha})$ é o valor da variável regionalizada. As variáveis $m(\mu)$ e $m(\mu_{\alpha})$ são os valores esperados das variáveis regionalizadas $Z(\mu)$ e $z(\mu_{\alpha})$ Goovaerts et al. (1997).

O número de dados envolvidos na estimativa bem como seus pesos podem mudar de acordo com a localização. Na prática, apenas as amostras $n(\mu)$ na localização μ são estimados dentro de uma determinada vizinhança centrada em μ . As diferenças entre os valores estimado e amostras conhecidas, $z^*(\mu) - z(\mu)$ definem o erro da estimativa segundo Goovaerts *et al.* (1997). Todos os tipos de krigagem tem sempre o mesmo objetivo, minimizar o erro da variância, como demonstrado na Equação 3.

Equação 3 - Equação do erro da estimativa.

$$E\{Z^*(\mu) - Z(\mu)\} = 0$$

4 – METODOLOGIA

4.1 – SONDAGEM DIAMANTADA

Dentro da área de estudo ao todo foram realizados 70 furos de sondagem diamantada, totalizando 6600,75 metros (Figura 6). Todos os furos de sondagem apresentam, integralmente, o mesmo diâmetro de bitola NQ. Os testemunhos foram recuperados, dispostos em caixas plásticas próprias e direcionadas ao galpão de geologia. Neste local foram integralmente descritos, sendo classificados em litotipos com características e gênese semelhantes. Também foram descritos os minerais formadores de rocha e os minerais relativos à alteração hidrotermal.

Após a etapa de descrição, foi elaborado o plano de amostragem, em que contatos geológicos foram respeitados evitando que uma mesma amostra englobe litotipos diferentes.

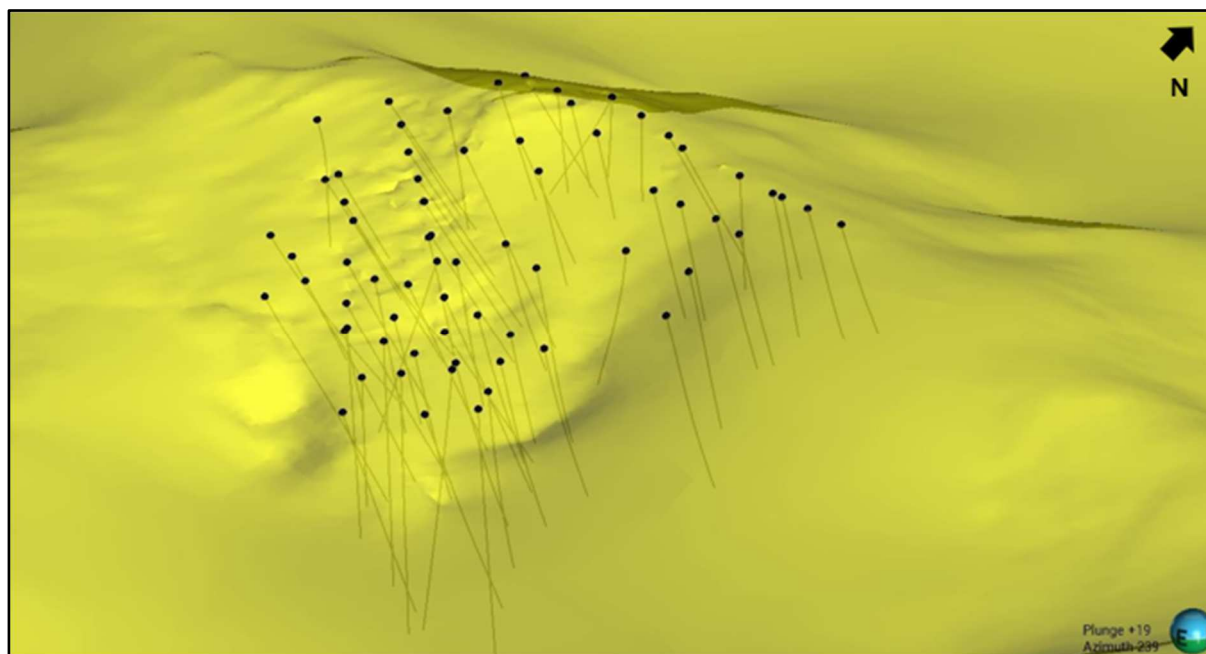


Figura 6: Disposição dos furos de sondagem em campo.

Os furos de sondagem não possuem uma distribuição uniforme, existe porções da área de pesquisa com uma maior concentração de informações. Por ser uma malha irregular, pode ser considerar um espaçamento médio de 35 metros entre as “bocas” dos furos de sondagem. Na porção SE, zona com maior número de furos, esse espaçamento é da ordem de 20-25 metros, para a porção N esse espaçamento aumenta para 40-50 metros.

4.2 – AMOSTRAGEM, ANÁLISES QUÍMICAS, DENSIDADE E QAQC

O plano de amostragem foi elaborado, respeitando os contatos geológicos e buscando com que cada amostra tenha tamanho entre 0,5m e 1,20m. Idealmente procurou-se manter um suporte amostral regular e igual a 1,0m.

Os testemunhos de sondagem diamantada não foram integralmente amostrados; após a descrição geológica, foram selecionados os intervalos que seriam enviados ao laboratório para análise química. O critério para a seleção de amostras foram aspectos com feições geológicas relativas à alteração hidrotermal e que por consequência poderiam apresentar resultados positivos para ouro. A Tabela 1 sintetiza quantos metros foram perfurados e quanto desse total foi amostrado. Por ser um depósito típico de ouro, não foram realizadas análises químicas para outros elementos.

Tabela 1: Síntese da quantidade de amostras em relação ao total perfurado.

Metros Perfurados (m)	Amostrado (m)	Não Amostrado (m)
6600,75	3630,85	2969,90

As amostras possuem comprimento variando entre 0,3m e 4,55m. Amostras com tamanho acima de 1,20m representam intervalos em que houve baixa recuperação dos testemunhos durante a sondagem de saprólitos e rochas desagregadas. Nos demais trechos, a grande maioria das amostras possuem tamanho igual a 1,0 metro.

As amostras foram enviadas para laboratório certificado, onde foram realizadas análises químicas para Au utilizando o método *Screen Fire Assay*.

O método *Screen Fire Assay* é largamente utilizado na mineração de ouro como método analítico para conhecimento dos teores de uma determinada amostra. Durante o processo, o material a ser analisado é inteiramente derretido, resultando na desagregação do ouro em relação ao elemento que ele está associado, como por exemplo o quartzo ou sulfeto. Dessa forma, é possível analisar qual a porcentagem do material derretido é realmente ouro em relação ao todo.

Para esse método de aferição dos teores de ouro o limite de detecção é de 0,05g/t. Ou seja, apenas teores de ouro maiores que o limite de detecção podem ser quantificados. Valores menores que o limite de detecção foram atribuídos como 0,025g/t, que corresponde à metade

do limite de detecção. Essa é uma prática comum e utilizada por empresas de mineração. Para as partes não amostradas dos testemunhos foi atribuído o valor de -1.

Foram realizadas poucas análises de densidade nos diferentes litotipos descritos. Para o cálculo da densidade foi utilizado o método de deslocamento de volume. Como a densidade pode ser calculada dividindo a massa pelo volume, algumas amostras de um mesmo litotipo foram pesadas em balança de precisão e o volume foi medido a partir do deslocamento de água dentro de uma proveta milimetrada. A partir desses resultados chegamos a valores médios para cada um dos domínios estabelecidos (Tabela 2).

Tabela 2: Resultados das análises de densidade realizadas para os litotipos modelados.

Litotipo	Densidade (g/cm³)
Unidade Química I e II	3,20
Unidade Metassedimentar mineralizada	2,93
Unidade Metassedimentar	2,70
Talco Xisto	2,75

O controle de QAQC foi realizado com a inserção de amostras brancas (amostras que sabidamente não apresentam teores de ouro) e padrões (amostras com teor de ouro já conhecido e certificado). A cada 10 amostras uma amostra de controle é inserida, intercalando entre amostras brancas e amostra padrão.

As amostras brancas têm objetivo de checar possíveis contaminações no laboratório que realiza as análises químicas. Já as amostras padrão tem como objetivo checar a acurácia do laboratório, já que os resultados serão comparados com aqueles fornecidos pelos certificados como valor de referência.

4.3 – SOFTWARES

Para a análise exploratória dos dados e modelagem 3D dos litotipos agrupados, foi utilizado o *software* Leapfrog Geo da Seequent (Bentley Systems). Já para a estimativa de recursos, utilizou-se o módulo Edge da mesma empresa.

5 – RESULTADOS

5.1 – GEOLOGIA

Estratigraficamente a sequência litológica, que ocorre neste alvo, está inserida na Unidade Morro Vermelho do Grupo Nova Lima (unidade inferior e intermediária) (Baltazar, O.F. & Zucchetti, M. (2007)). Esta associação de litofácies de origem vulcanossedimentar-química consiste em uma sequência de talco xisto (TX), sericita-xisto carbonoso (X1), sericita-quartzo-xisto (SQzX), clorita-sericita-quartzo-xisto (XS, ClX, X2Cl e X2Qz) e por formações ferríferas bandadas na fácies óxido (FF) com níveis de metachert (Mch).

A base da estratigrafia local é marcada pelas rochas ultramáficas xistificadas, definidas como talco-xisto. Logo acima ocorre a sequência de xistos com níveis de formação ferrífera bandada e metachert intercalados.

Na área estudada, a estruturação geológica é marcada por um amplo sinforme, com traço axial N65E, a foliação principal, sub-paralela ao bandamento, mostra as atitudes dos planos dobrados, em que o nível formação ferrífera se comporta com o horizonte guia. Eixos de microdobras e lineações de interseção têm comumente atitudes em torno de N65-90E/30°. As lineações de interseção e os eixos de dobra são as estruturas lineares controladoras (*plunge*) dos corpos de minério.

As mineralizações auríferas estão hospedadas nas formações ferríferas bandadas, metachert e em sericita xisto com níveis carbonosos e feições típicas de alteração hidrotermal (veios de quartzo com clorita, carbonato e sulfeto – pirita predominantemente) (Figura 7).



Figura 7: A - Testemunhos de sondagem disposto em caixas plásticas próprias para o armazenamento. B - Zona mineralizada dos testemunhos de sondagem.

5.2 – DOMÍNIOS DE ESTIMATIVA

Os litotipos descritos nos testemunhos de sondagem foram agrupados de acordo com suas características genéticas. As formações ferríferas bandadas e metacherts foram agrupados compondo a Unidade Química e Unidade Química II, separadas espacialmente uma da outra. As rochas de protólito metassedimentar foram divididas entre aquelas que sofreram processos de alteração hidrotermal (X2) daquelas que seguem com suas características sedimentares e metamórficas preservadas (X1). Já o talco xisto (TX) correspondem as rochas ultramáficas e formam o embasamento dessa sequência na área de estudo (Figura 8).

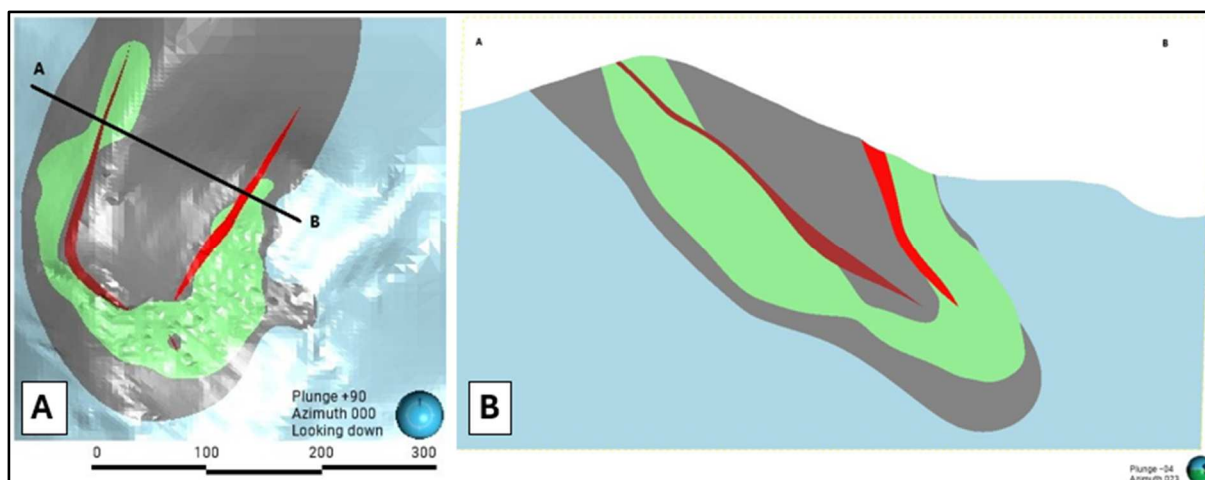


Figura 8: A - Vista em planta do modelo geológico 3D. Vista em planta do modelo geológico 3D. B - Seção esquemática representando a estruturação geológica da área estudada. Em tons de vermelho observamos as duas Unidades Químicas, em verde a litologia X2, em cinza a litologia X1 e em azul o talco xisto (TX).

O ouro está associado às zonas de sulfetos frescos a limonitizados desenvolvidas nos horizontes de formação ferrífera e de metachert ou então associado a zonas de silicificação e sulfetação encaixadas na unidade metassedimentar. São justamente as massas de quartzo (silicificação) com sulfetos que caracterizam à zona de alteração hidrotermal.

Além das características geológicas, uma outra análise realizada para a definição dos domínios de estimativa foi a respeito das distribuições dos teores de ouro em relação aos litotipos descritos nos testemunhos de sondagem (Figura 9). Em uma primeira análise observa-se que a mineralização se encontra pouco padronizada, com teores de Au em vários dos litotipos descritos. Para essa análise foi utilizado o filtro excluindo os valores iguais a -1.

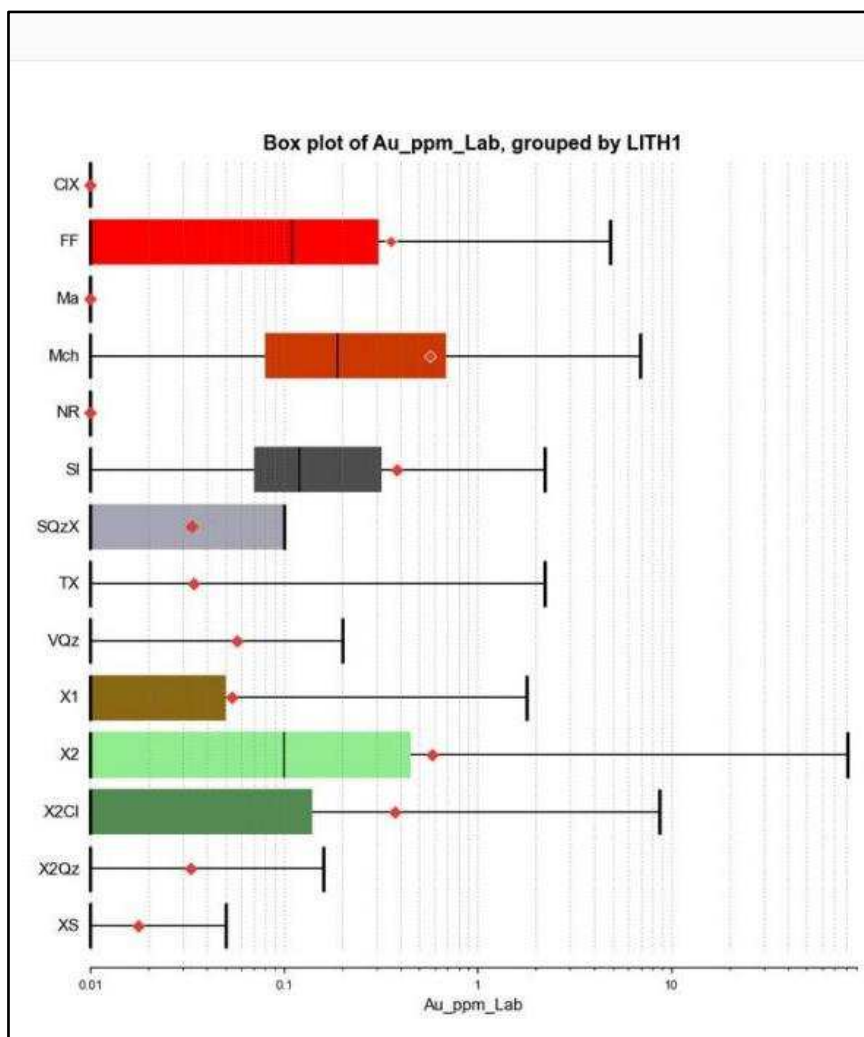


Figura 9: Distribuição dos teores de Au por litotipo descritos nos testemunhos de sondagem.

Os litotipos descritos nos testemunhos de sondagem foram agrupados seguindo os mesmos critérios utilizados na definição dos domínios. Dessa forma, a distribuição dos teores de ouro passa a apresentar um padrão mais nítido. Os domínios que podem ser classificados como hospedeiras da mineralização são formações ferríferas e metachert (unidades sedimentares químicas I e II) e xistos com presença de alteração hidrotermal (X2) (Figura 10).

Os teores de Au identificados em outros domínios que não as Unidades Químicas I e II e X2, estão relacionadas as porções mais rasas do depósito em que ocorre uma dispersão dos teores nas rochas desagregadas e perfis de solo. Essas amostras podem ser consideradas *outliers* dentro dos domínios considerados estéreis.

A partir da combinação dos aspectos geológicos (litologia, estilo de mineralização e alteração hidrotermal), conhecimento estrutural da área e dados estatísticos dos teores de ouro

por litotipo, foram definidos os domínios que seriam usados para as estimativas de recursos. Para construção desse *Box-Plot* foi utilizado o filtro excluindo os valores iguais a -1.

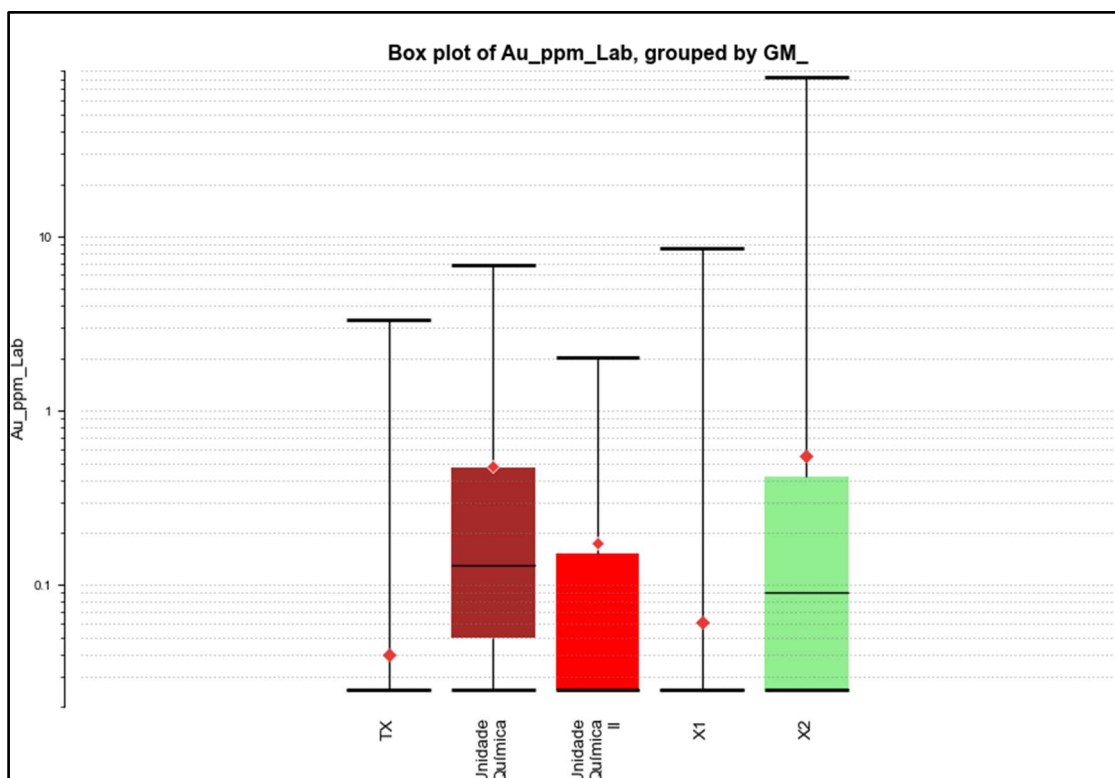


Figura 10: Distribuição dos teores de Au por domínios modelados.

5.3 – ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS

Com os domínios de estimativa definidos e um entendimento completo das informações de amostragem, a análise exploratória dos dados foi realizada. Nesse momento, foram adicionadas as informações dos domínios modelados ao banco de dados original, ou seja, os furos de sondagem foram carimbados com informações relativas à modelagem geológica realizada. Com isso, em zonas de contatos entre diferentes domínios, as amostras podem ser subdivididas. Dessa forma, a Figura 11 e a Tabela 3 demonstram a distribuição do tamanho das amostras e as estatísticas básicas dos testemunhos de sondagem após o carimbo da modelagem realizada.

Conforme citado anteriormente, para as porções não amostradas dos testemunhos, inicialmente foi atribuído o valor de -1, dessa forma filtros que excluíssem esse valor foram criados para realizar a análise exploratória dos dados e entender o padrão de amostragem.

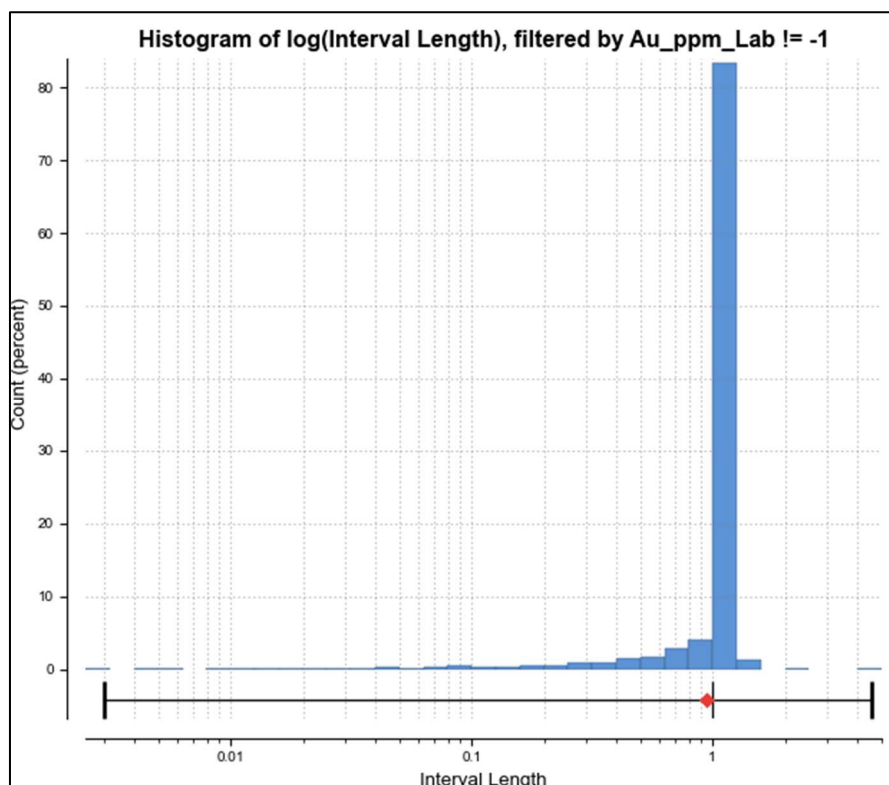


Figura 11: Distribuição do tamanho das amostras realizadas após carimbo das amostras com relação aos domínios geológicos modelados.

Tabela 3: Estatísticas dos testemunhos de sondagem amostrados carimbados pelos domínios geológicos modelados.

	Valor
Total	3895
Média	0,932747
Desvio Padrão	0,22845
Coefficiente de Variância	0,244922
Variância	0,0521894
Mínimo	0,003
Q1	1
Q2	1
Q3	1
Máximo	4,55

A análise da distribuição do tamanho das amostras demonstra que a grande maioria das amostras tem tamanho de 1,0 metro, logo não seria necessário uma regularização do suporte

amostral (compositar), já que existe regularidade. Outra análise a ser feita é a distribuição dos teores de Au já considerando o cruzamento de informações entre tores identificados nas amostras e domínios de estimativa (Figura 12).

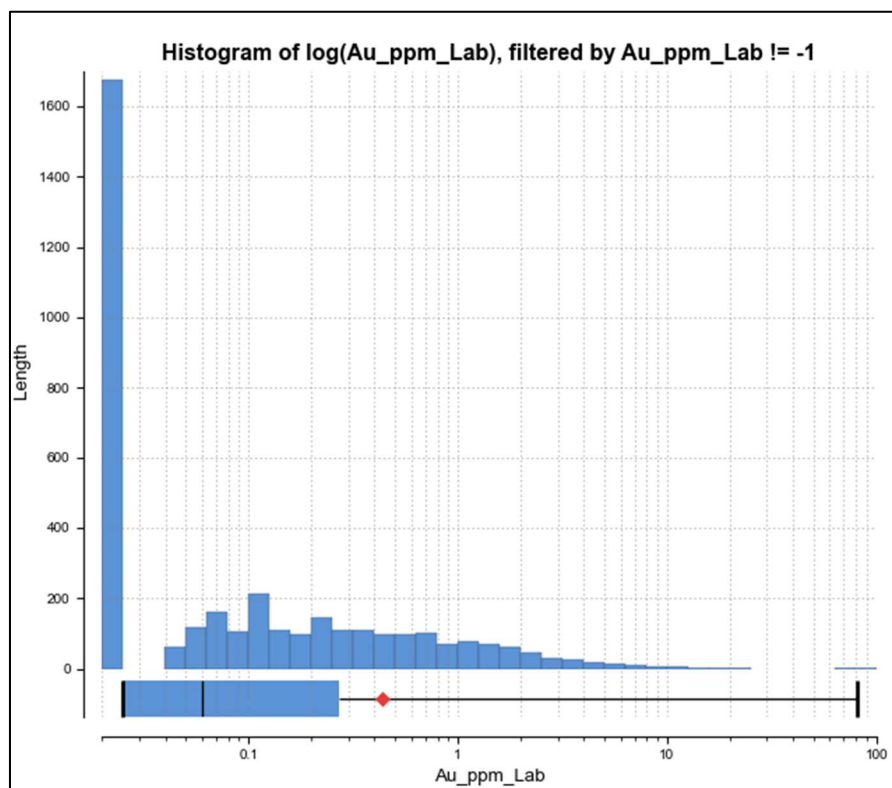


Figura 12: Distribuição dos teores de Au, aplicando filtro que exclui os intervalos não amostrados (teor atribuído de -1).

Podemos também analisar a distribuição dos teores de ouro dentro de cada um dos domínios de estimativa. A partir dessa avaliação, percebemos que a mineralização se concentra nos domínios X2, Unidade Química e Unidade Química II, conforme esperado a partir da criação dos domínios sobre critérios geológicos. Dessa forma, não serão realizadas estimativas de recursos dentro dos domínios X1 e TX, já que são considerados estéreis e não trariam novos recursos que se somassem a estimativa realizada. Esse entendimento geológico da área foi fundamental inclusive na seleção de testemunhos de sondagem que seriam ou não amostrados.

A análise estatística da distribuição de ouro para o domínio TX é apresentada na Figura 13 e Tabela 4. Os mesmos dados para o domínio X1 é apresentado na Figura 14 e Tabela 5. Para o domínio X2 os dados estão dispostos em Figura 15 e Tabela 6, para a Unidade Química em Figura 16 e Tabela 7 e para a Unidade Química II em Figura 17 e Tabela 8.

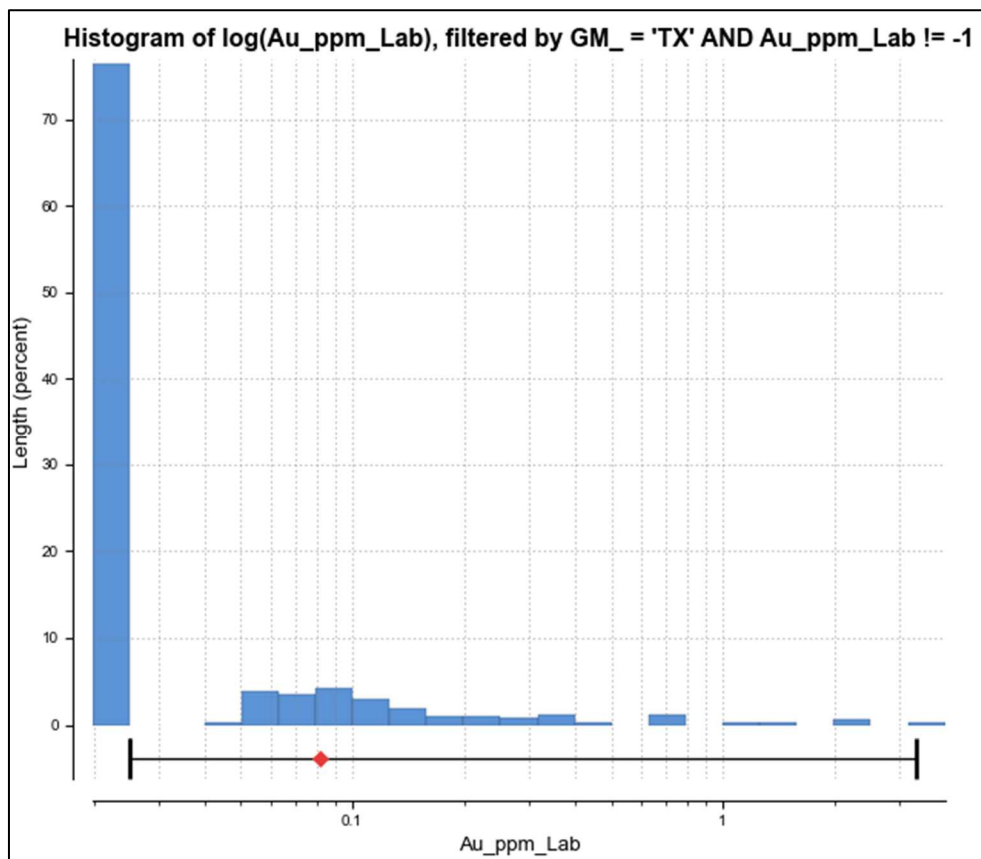


Figura 13: Distribuição dos teores de Au em porcentagem dentro do domínio TX, aplicando filtro que exclui os intervalos não amostrados (teor atribuído de -1).

Tabela 4: Estatísticas básicas do domínio TX.

	Valor
Total	378
Tamanho	352,9
Média	0,0822562
Desvio Padrão	0,269881
Coefficiente de Variância	3,28099
Variância	0,0728359
Mínimo	0,025
Q1	0,025
Q2	0,025
Q3	0,025
Máximo	3,33

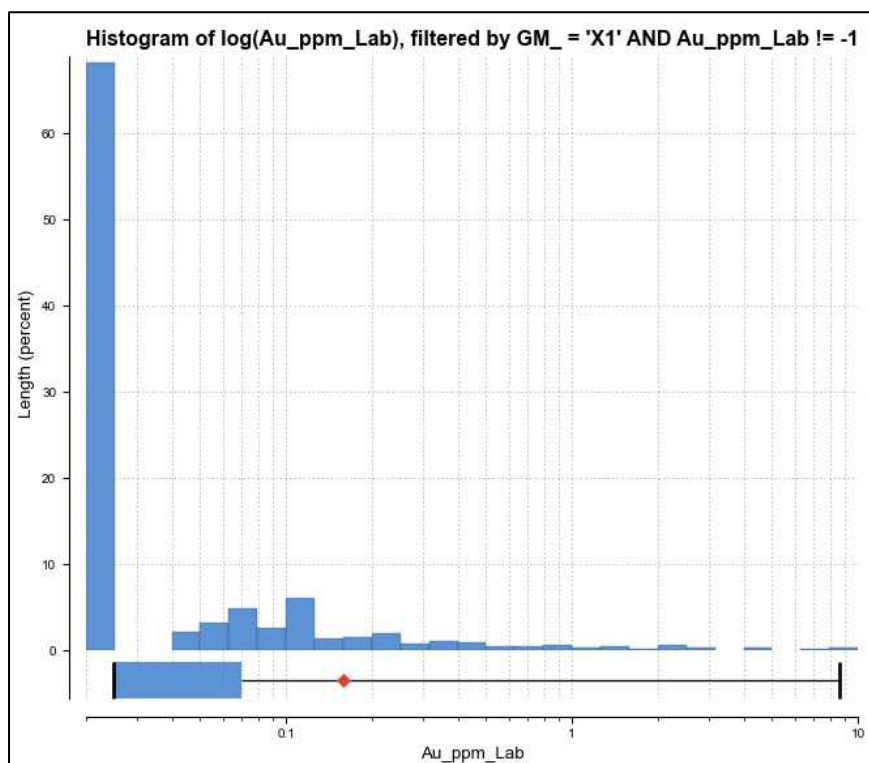


Figura 14: Distribuição dos teores de Au em porcentagem dentro do domínio X1, aplicando filtro que exclui os intervalos não amostrados (teor atribuído de -1).

Tabela 5: Estatísticas básicas do domínio X1.

	Valor
Total	775
Tamanho	687,5
Média	0,158833
Desvio Padrão	0,662186
Coefficiente de Variância	4,16907
Variância	0,43894
Mínimo	0,025
Q1	0,025
Q2	0,025
Q3	0,07
Máximo	8,58

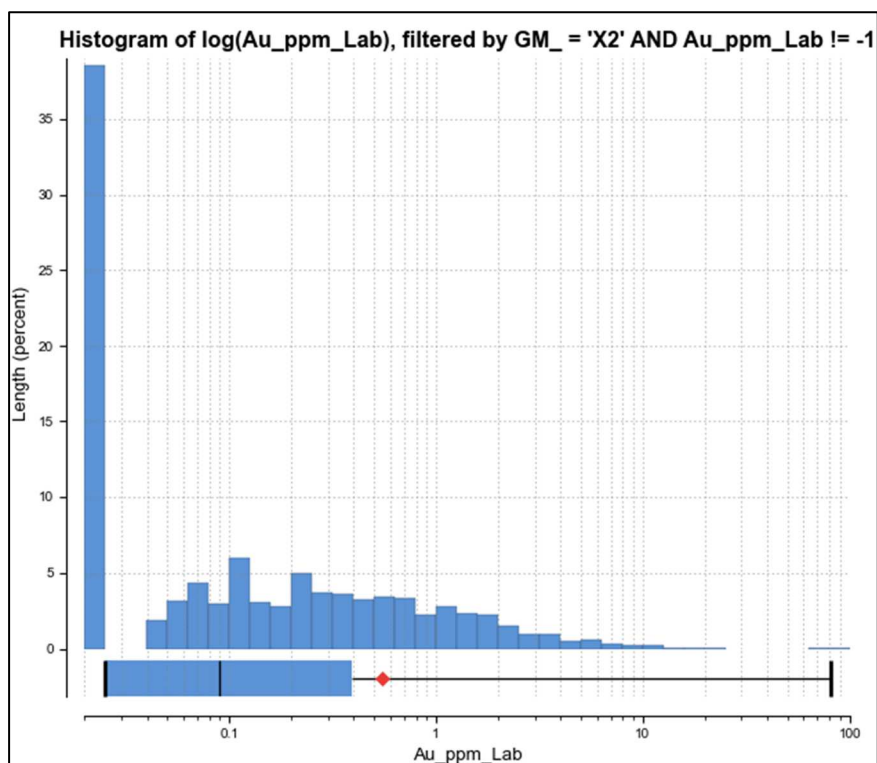


Figura 15: Distribuição dos teores de Au em porcentagem dentro do domínio X2, aplicando filtro que exclui os intervalos não amostrados (teor atribuído de -1).

Tabela 6: Estatísticas básicas do domínio X2.

	Valor
Total	2444
Tamanho	2348,2
Média	0,575928
Desvio Padrão	2,50616
Coefficiente de Variância	4,35152
Variância	6,28084
Mínimo	0,025
Q1	0,025
Q2	0,09
Q3	0,44
Máximo	81,15

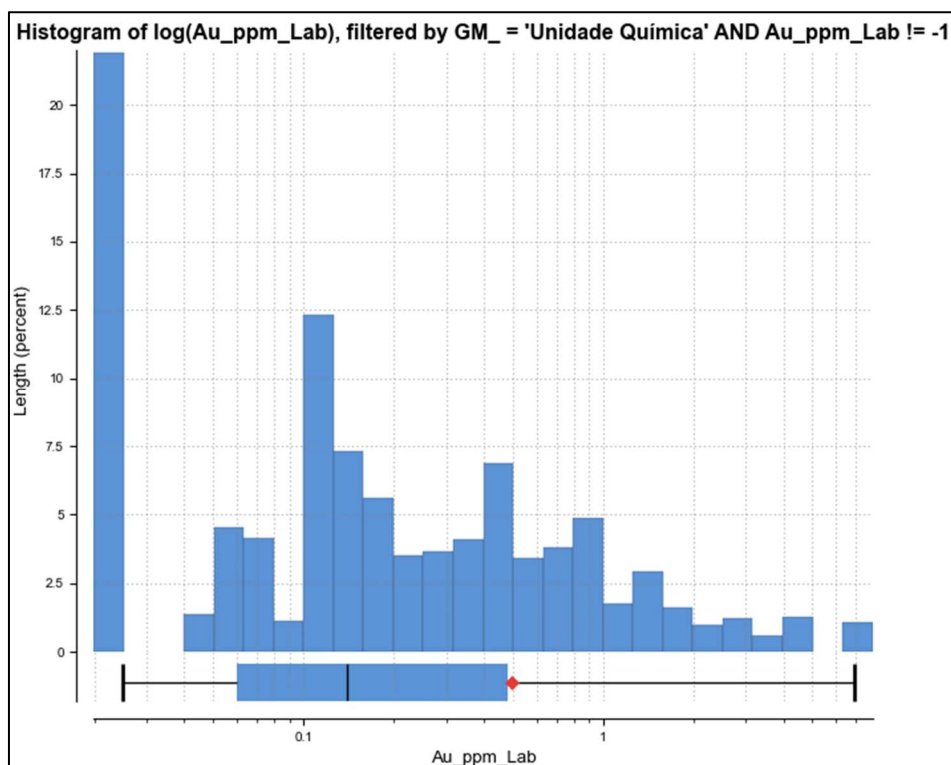


Figura 16: Distribuição dos teores de Au em porcentagem dentro do domínio Unidade Química, aplicando filtro que exclui os intervalos não amostrados (teor atribuído de -1).

Tabela 7: Estatísticas básicas do domínio Unidade Química.

	Valor
Total	211
Tamanho	171,3
Média	0,495237
Desvio Padrão	0,987211
Coefficiente de Variância	1,99341
Variância	0,974585
Mínimo	0,025
Q1	0,06
Q2	0,14
Q3	0,48
Máximo	6,88

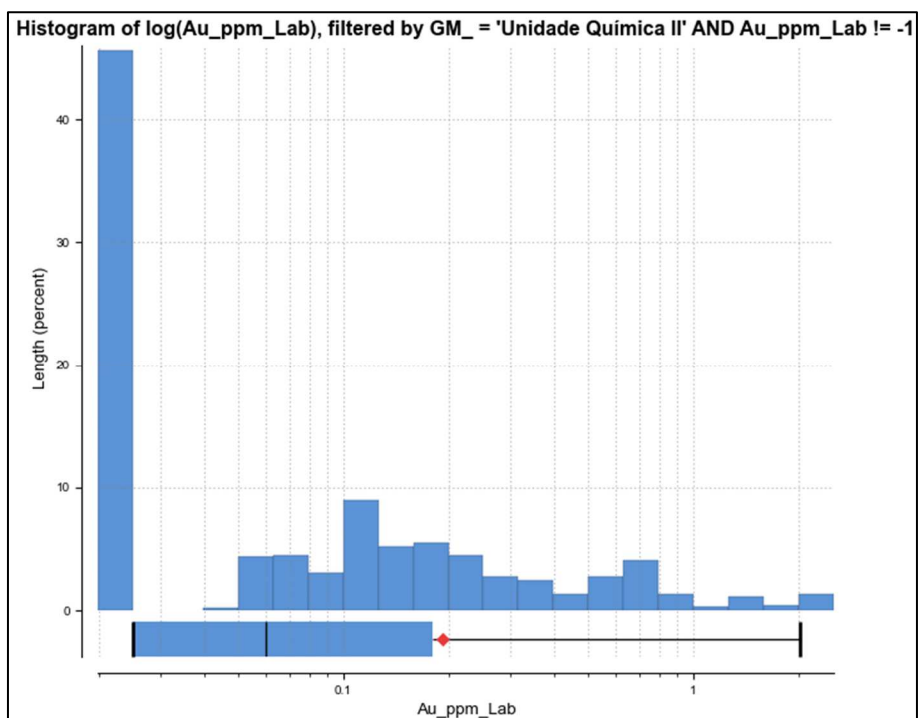


Figura 17: Distribuição dos teores de Au em porcentagem dentro do domínio Unidade Química II, aplicando filtro que exclui os intervalos não amostrados (teor atribuído de -1).

Tabela 8: Estatísticas básicas do domínio Unidade Química II.

	Valor
Total	87
Tamanho	73
Média	0,192425
Desvio Padrão	0,34513
Coefficiente de Variância	1,79358
Variância	0,119114
Mínimo	0,025
Q1	0,025
Q2	0,06
Q3	0,18
Máximo	2,01

5.4 – ANÁLISE DE FRONTEIRAS E ESTIMADORES

Os modelos de estimativa apresentam significativas incertezas nas proximidades dos contatos entre diferentes domínios. Uma das incertezas é sobre utilizar ou não amostras externas ao domínio para a realização da estimativa. Além do entendimento da geologia local, bem como dos modelos de mineralização, fazer uma análise da transição dos teores dentro e fora dos sólidos é fundamental (*boundary analyses*).

Essa análise será feita apenas para os domínios que contém mineralização, ou seja, X2, Unidade Química e Unidade Química II.

Observa-se que mesmo com um suporte amostral constante e próximo a 1 metro, optou-se por realizar a compositagem a fim de garantir o mesmo peso a todas as amostras. A compositagem será realizada nos furos de sondagem apenas dentro de cada um dos domínios individualmente. O tamanho das compostas é de 1 metros, seguindo o suporte amostral predominante. Foi utilizado o mesmo filtro excluindo os valores atribuídos como -1. Ao realizar a compositagem, em caso de sobras no final dos testemunhos que possuam tamanho menor que 50% do tamanho da composta (0,50m), esses resultados devem ser adicionados ao intervalo anterior. A cobertura mínima estabelecida foi de 20%.

O primeiro estimador construído foi para o domínio de estimativa X2, conforme pode ser visto na Figura 18, a análise de fronteira para este domínio nos demonstrou que deveríamos utilizar uma *Hard Boundary*. Os teores de ouro decrescem muito após a fronteira do domínio e se tratando de aspectos geológicos, essa mineralização está inserida em um pacote de xisto e não dentro de um pacote de formação ferrífera/metachert como no caso dos domínios das unidades químicas (Figura 19). Por se tratar de rochas com características e aspectos diferentes, optou-se, para esse domínio, utilizar o *Hard Boundary*.

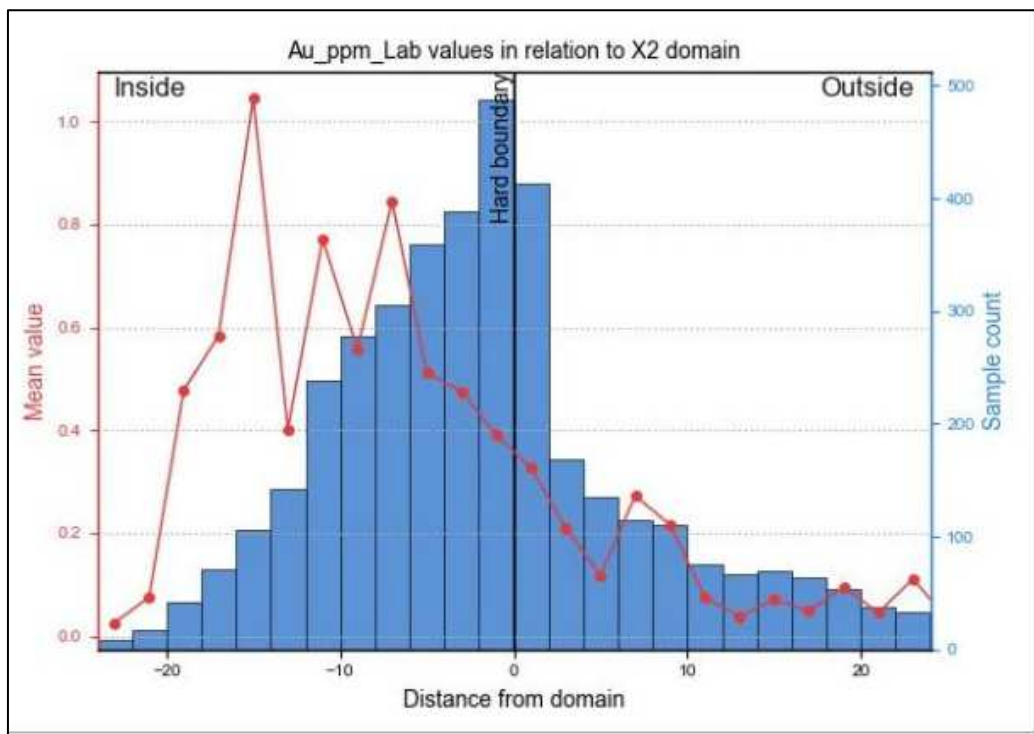


Figura 18: *Boundary Analyses* para o domínio X2.

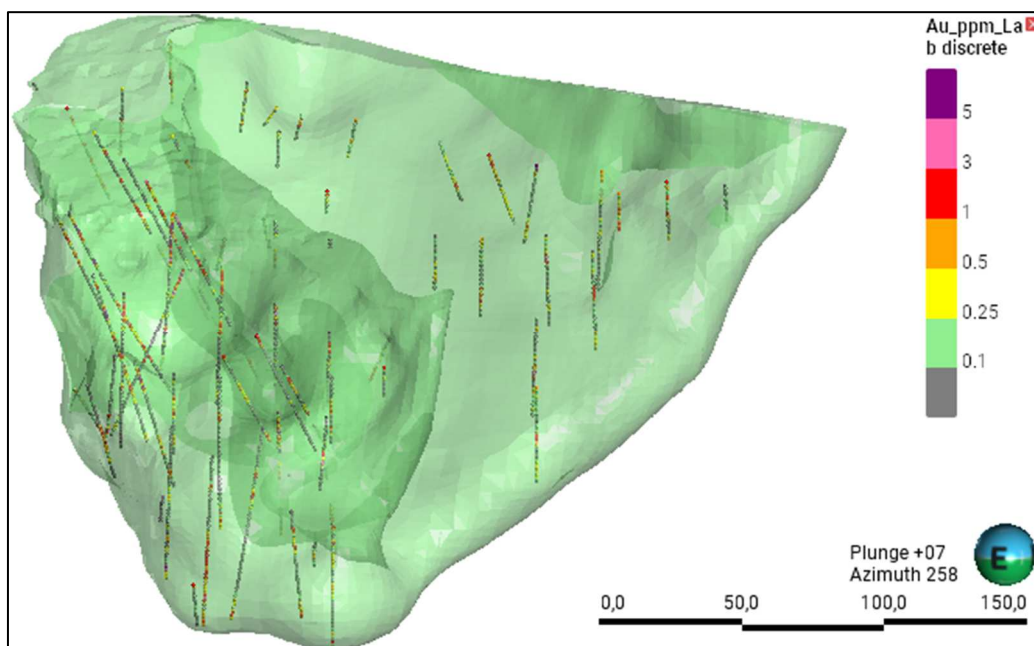


Figura 19: Domínio X2 com as amostras compostadas em seu interior. Os *midpoints*, que representam as compostas em seu centróide, também estão representados na imagem.

É possível fazer uma comparação estatística de teores entre as amostras compostadas e não compostadas, conforme Tabela 9. As estatísticas demonstram que existem suaves diferenças, a quantidade de amostras utilizadas diminuiu, e os teores seguem valores muito próximos. Um ponto interessante, apesar da pequena diferença, é a diminuição do coeficiente de variância das amostras compostadas em relação as não compostadas.

Tabela 9: Comparação entre as amostras compositadas e não compositadas para X2.

	Compositadas	Não Compositadas
Total	2356	2444
Tamanho	2353,893	2348,247
Média	0,5746	0,5759
Desvio Padrão	2,3153	2,5061
C. de Variância	4,0294	4,3515
Variância	5,3608	6,2808
Mínimo	0,0250	0,0250
Q1	0,0250	0,0250
Q2	0,1232	0,100
Q3	0,4909	0,4400
Máximo	79,001	81,500

Em relação ao tamanho das amostras, observamos que anteriormente 87,40% das amostras tinham tamanho de 1 metro e após a compositagem 96,26% das amostras passam a ter tamanho de 1 metro (Figura 20), melhorando o suporte amostral para as estimativas.

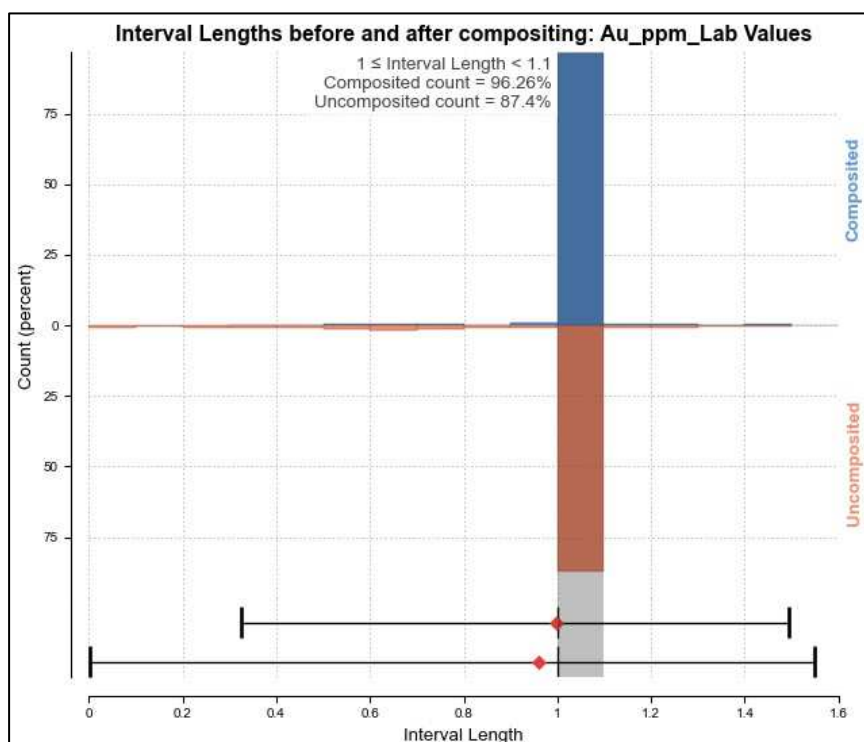


Figura 20: Tamanho das amostras antes e depois do processo de compositagem.

O segundo estimador construído foi para o domínio Unidade Química. Os parâmetros para construção do estimador foram diferentes para o domínio X2 (Figura 21).

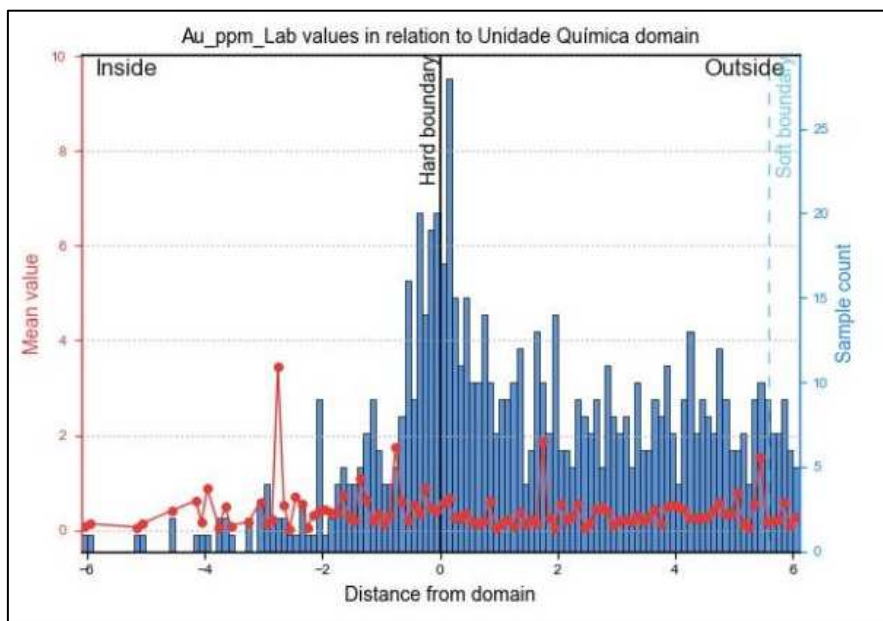


Figura 21: *Boundary Analyses* para o domínio Unidade Química.

Para este estimador, a análise de fronteiras mostrou teores de mesma ordem tanto dentro quanto fora do domínio, sendo realizada compositagem utilizando os furos de sondagem, independente da sua posição em relação ao domínio de estimativa. Portanto, para este domínio foi considerado um *Soft Boundary*, com isso as amostras fora do domínio também serão consideradas, como pode ser visto na Figura 22.

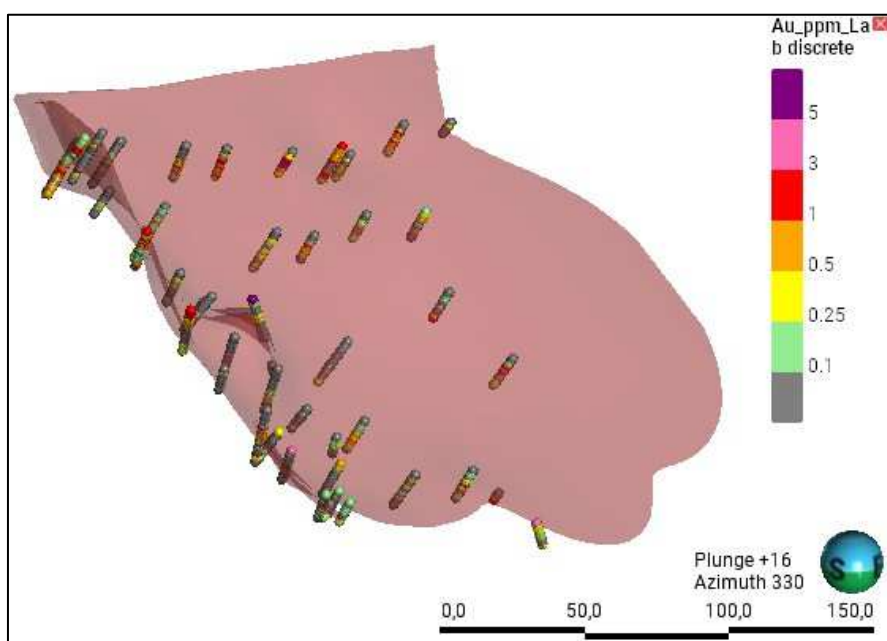


Figura 22: Domínio Unidade Química com o conjunto de amostras compostadas em seu interior e exterior. Os *midpoints*, que representam as compostas em seu centróide, também estão representados na imagem.

A mesma comparação estatística entre amostras compositadas e não compositadas realizadas anteriormente é feita para este domínio, conforme Tabela 10. Observam-se poucas diferenças entre os valores, sendo que mais uma vez houve uma diminuição no coeficiente de variância.

Já em relação ao tamanho das amostras, as diferenças foram significativas, anteriormente 67.27% das amostras tinham tamanho de 1m e após a compositagem 99.84% das amostras passam a ter tamanho de 1 metro (Figura 23).

Tabela 10: Comparação estatística entre as amostras compositadas e não compositadas para o domínio Unidade Química.

	Compositadas	Não Compositadas
Total	642	721
Tamanho	641,95	631,253
Média	0,394606	0,400456
Desvio Padrão	0,903507	1,03069
C. de Variância	2,289643	2,57379
Variância	0,816325	1,06232
Mínimo	0,025	0,025
Q1	0,025	0,025
Q2	0,1	0,1
Q3	0,37	0,36
Máximo	9,914	16,29

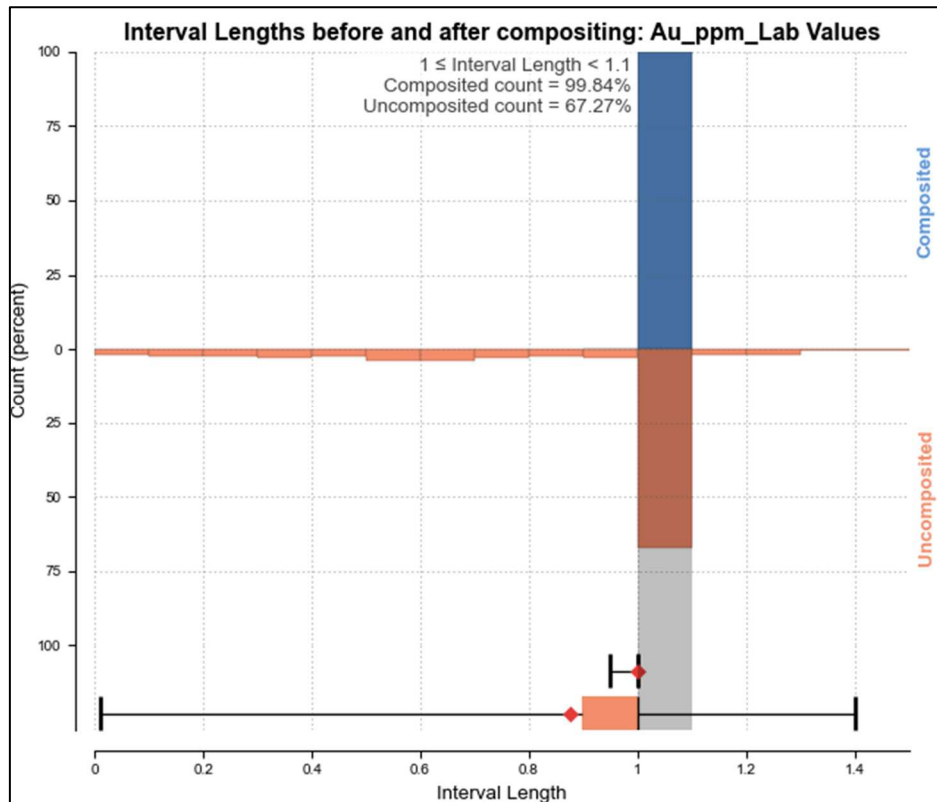


Figura 23: Tamanho das amostras antes e depois do processo de compositagem para o domínio Unidade Química.

O último estimador construído foi para o domínio Unidade Química II. Os parâmetros para construção do estimador foram exatamente o mesmo daquele utilizado para o domínio Unidade Química. A análise de fronteira desse domínio é apresentada na Figura 24.

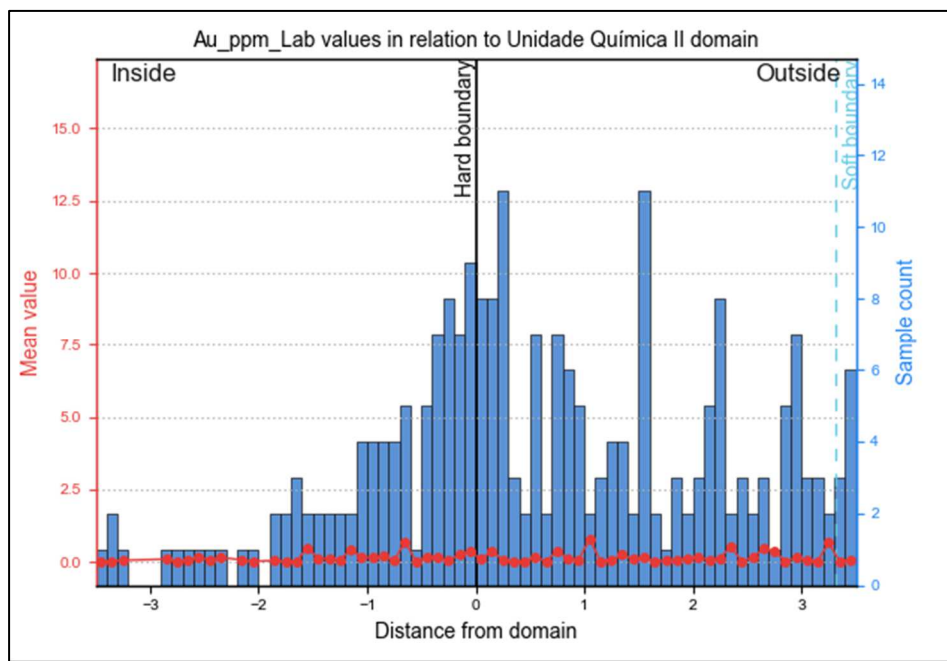


Figura 24: *Boundary Analyses* para o domínio Unidade Química II.

Assim como para o domínio Unidade Química, para o estimador da Unidade Química II a análise de fronteiras mostrou teores de mesma ordem tanto dentro quanto fora do domínio. Portanto, para este domínio foi considerado uma *Soft Boundary*, com isso as amostras fora do domínio também serão consideradas, como pode ser visto na Figura 25. Outro fator importante para a utilização desse tipo de fronteira é a baixa quantidade de amostras dentro desse domínio, o que atrapalharia e traria incertezas as estimativas.

A mesma comparação estatística entre amostras compositadas e não compositadas realizadas para os domínios anteriores é feita para este domínio, conforme Tabela 11. Mais uma vez observam-se poucas diferenças, mas para este domínio o coeficiente de variância se manteve basicamente inalterado, sendo observado uma discreta diminuição nos valores para as amostras compositadas.

Já em relação ao tamanho das amostras, assim como para o domínio Unidade Química, as diferenças no suporte amostral foram significativas. Anteriormente 65,64% das amostras tinham tamanho de 1m e após a compositagem 100% das amostras passaram a ter tamanho de 1 metro (Figura 26).

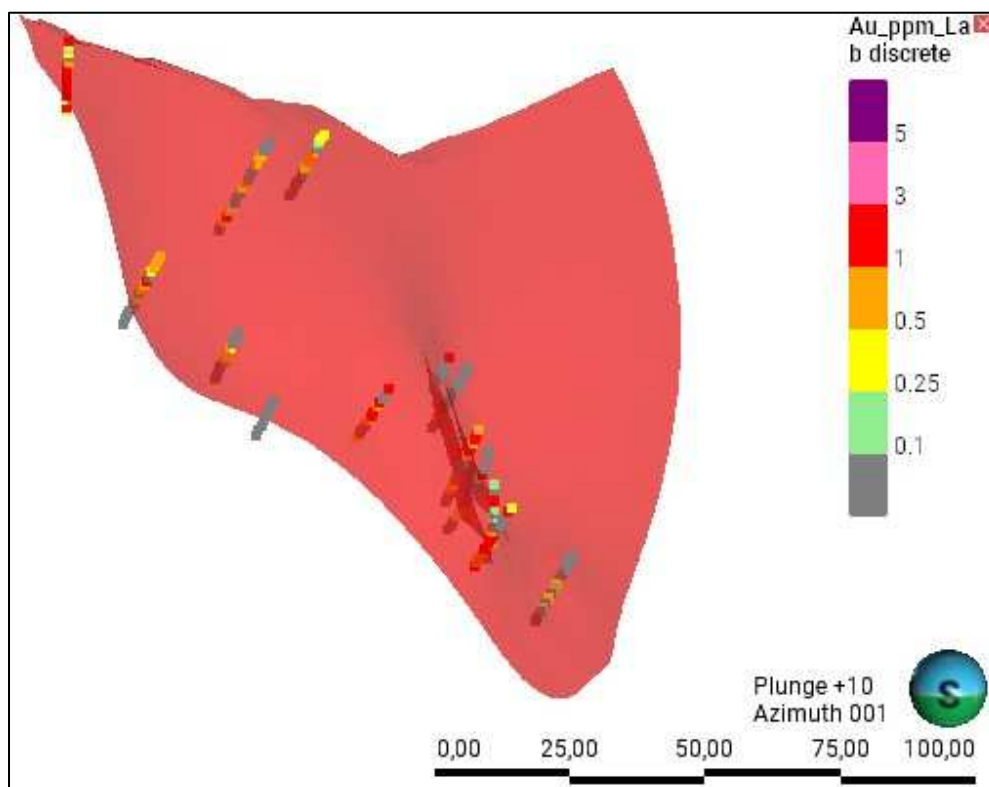


Figura 25: Domínio Unidade Química II com o conjunto de amostras compositadas em seu interior e exterior. Os *midpoints*, que representam as compostas em seu centróide, também estão representados na imagem.

Tabela 11: Comparação estatística entre as amostras compostadas e não compostadas para o domínio Unidade Química II.

	Compositadas	Não Compositadas
Total	201	227
Tamanho	201	196,6
Média	0,179021144	0,182934893
Desvio Padrão	0,332471009	0,34511174
C. de Variância	1,857160562	1,886527682
Variância	0,110536972	0,119102113
Mínimo	0,025	0,025
Q1	0,025	0,025
Q2	0,025	0,025
Q3	0,16525	0,16
Máximo	2,18	2,18

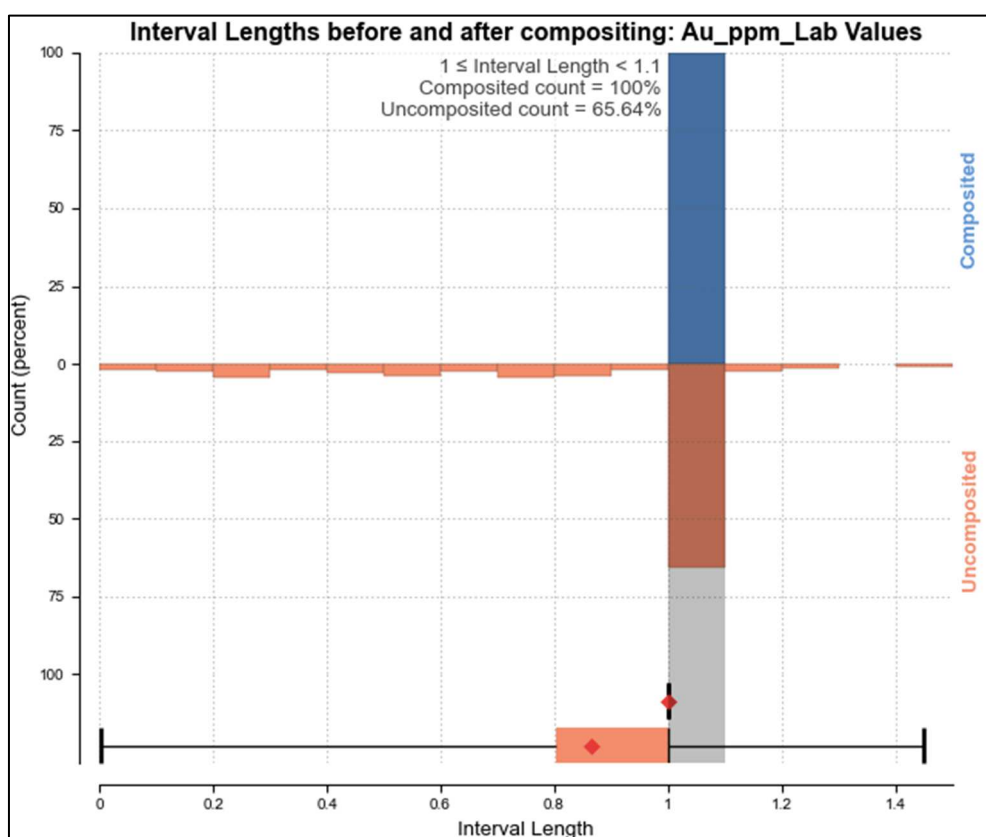


Figura 26: Tamanho das amostras antes e depois do processo de compositagem para o domínio Unidade Química II.

5.5 – VARIOGRAMAS

Após a construção e análise dos estimadores, devemos criar o variograma para cada um dos domínios de estimativa. A ferramenta do variograma nos ajuda a entender a variabilidade do ouro nas diferentes direções. A partir da sua construção iremos utilizá-lo na krigagem para estimar a quantidade de Au em cada um dos domínios.

Os variogramas devem ser construídos para cada um dos domínios respeitando as características geológicas e geoestatísticas individuais.

Os variogramas, para os três domínios mineralizados, foram construídos seguindo a direção e mergulho das lineações de interseção. Para esta área as lineações de interseção são as feições físicas que orientam o *plunge* das mineralizações, sendo considerada a melhor direção de continuidade. Portanto, podemos utilizar as medidas de campo dessa feição para orientarmos nossos variogramas. Como as medidas de campo apresentam pequenas variações, foi utilizado um valor médio de 075/30 (*Dip Azimuth/Dip*). Os valores de *Pitch* são relativos a cada um dos domínios, seguindo sempre a direção de menor variância, ou maior correlação.

Para o domínio X2, maior em volume e área, o variograma foi construído de acordo com as seguintes direções (Tabela 12).

Tabela 12: Direção para construção do variograma para o domínio X2.

Parâmetro	Valor
Dip	30
Dip Azimuth	75
Pitch	155

A direção do *Pitch* foi definida a partir de uma análise no *Radial Plot*, observando as direções de menor variância (Figura 27) e, conseqüentemente, de maior correlação.

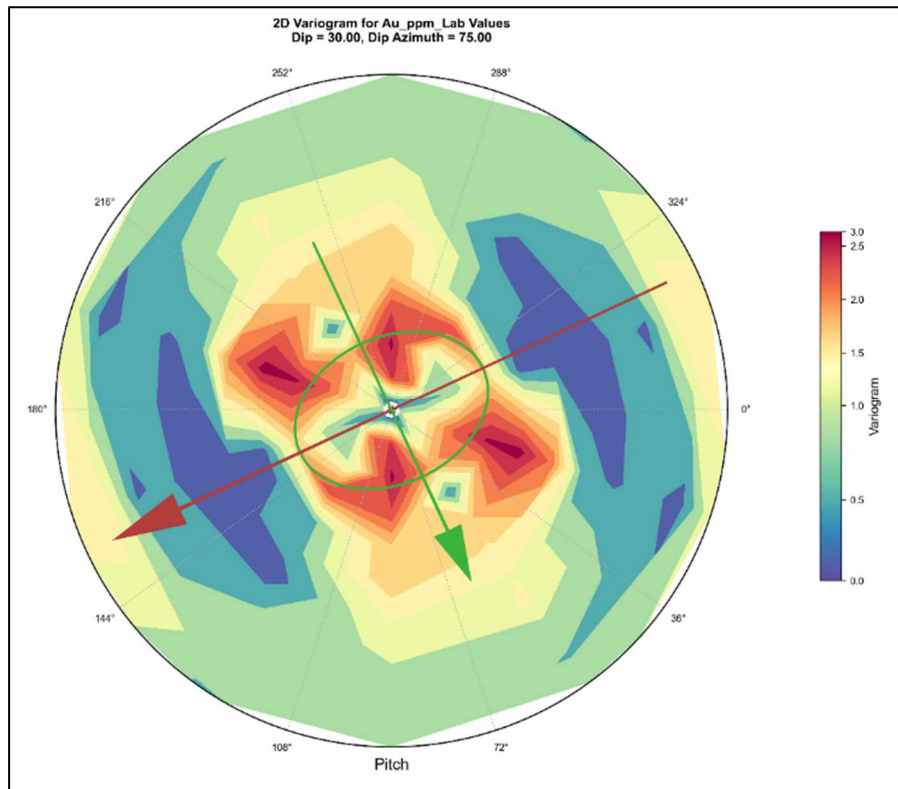


Figura 27: *Radial Plot* do variograma do domínio X2.

Para a definição do efeito pepita, ou seja, grande variabilidade de teor em curtas distâncias, foi construído um variograma específico ao longo do furo de sondagem. Essa seria a melhor forma de avaliar seu efeito, já que os furos de sondagem são justamente os locais que temos as menores distâncias entre amostras. Para este domínio o valor de 0,30 foi definido, posição estimada de uma curva hipotética que liga os pontos dos semi-variogramas encontraria o eixo Y do gráfico abaixo (Figura 28).

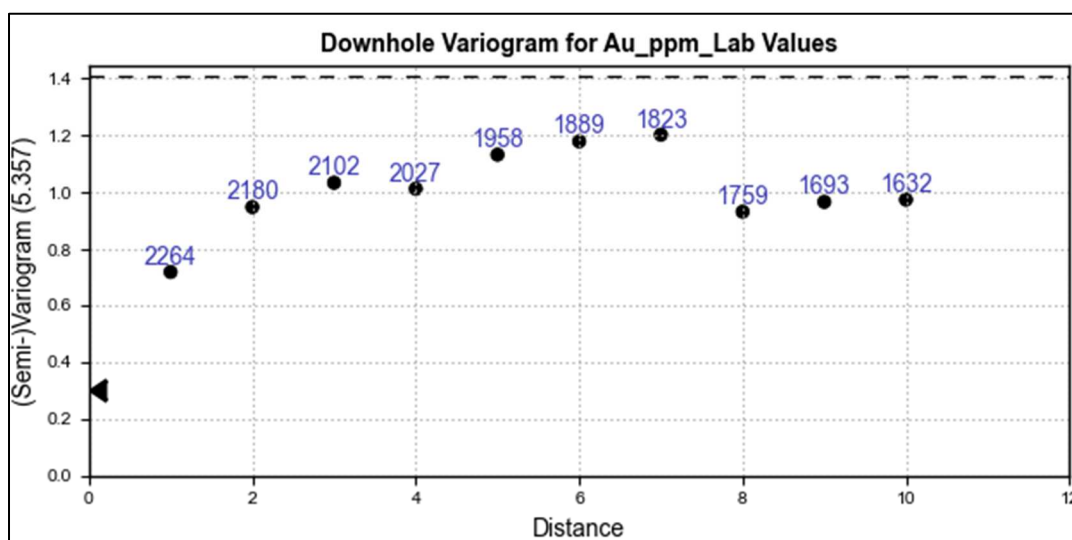
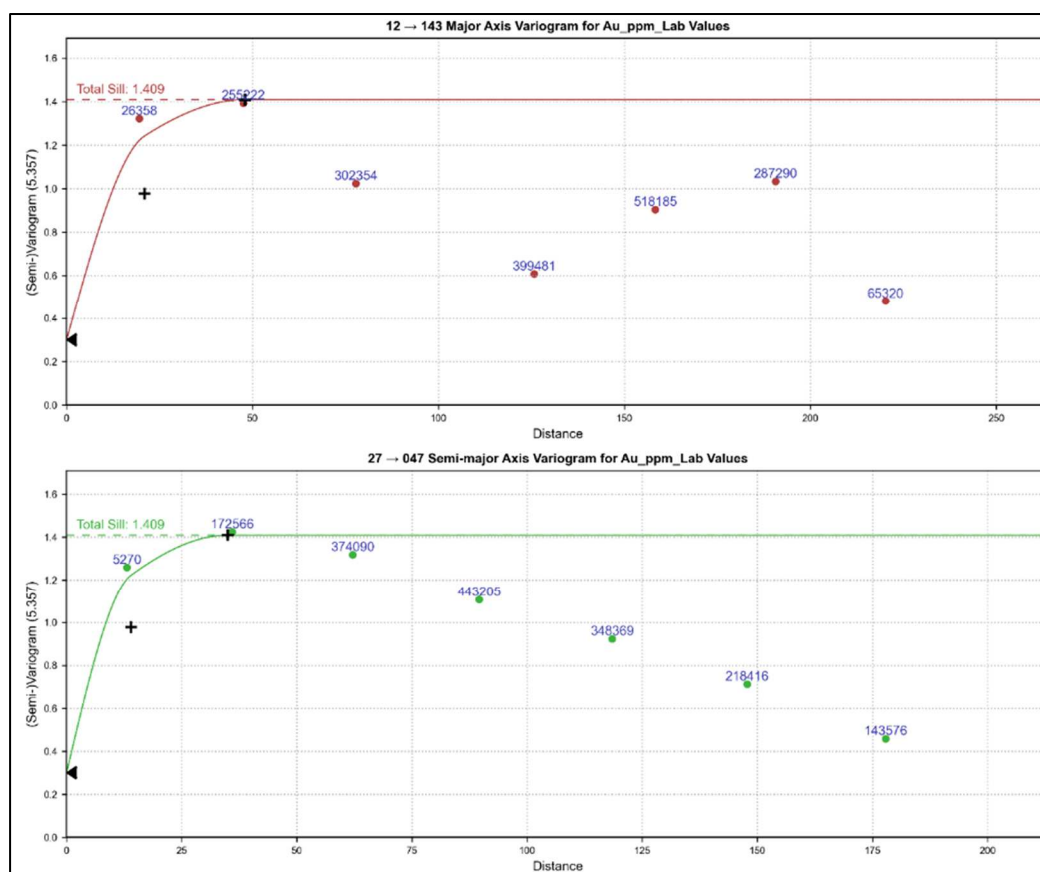


Figura 28: Gráfico de semi-variograma ao longo dos furos de sondagem para o domínio X2.

Definido o efeito pepita, foi feita a modelagem do variograma para os três eixos ortogonais entre si: de maior continuidade, de menor continuidade e de continuidade intermediária. A Figura 29 sintetiza os semi-variogramas para cada uma das direções. Para a construção das curvas foi utilizada a função *Spherical*. O semi-variograma de cor vermelha é relativo ao eixo de maior continuidade, o de cor verde ao eixo intermediário e o azul o de menor continuidade. Para a modelagem desse variograma ficaram definidos os seguintes parâmetros:

Tabela 13: Parâmetros estabelecidos para o variograma do domínio X2.

Eixo	Geral	Valor
Eixo Maior	Lag Distance	40
	Lag Tolerance	32
	Number of Lags	6
	Angle Tolerance	45
Semi Eixo	Lag Distance	30
	Lag Tolerance	20
	Number of Lags	6
	Angle Tolerance	45
Eixo Menor	Lag Distance	18
	Lag Tolerance	5
	Number of Lags	6
	Angle Tolerance	45



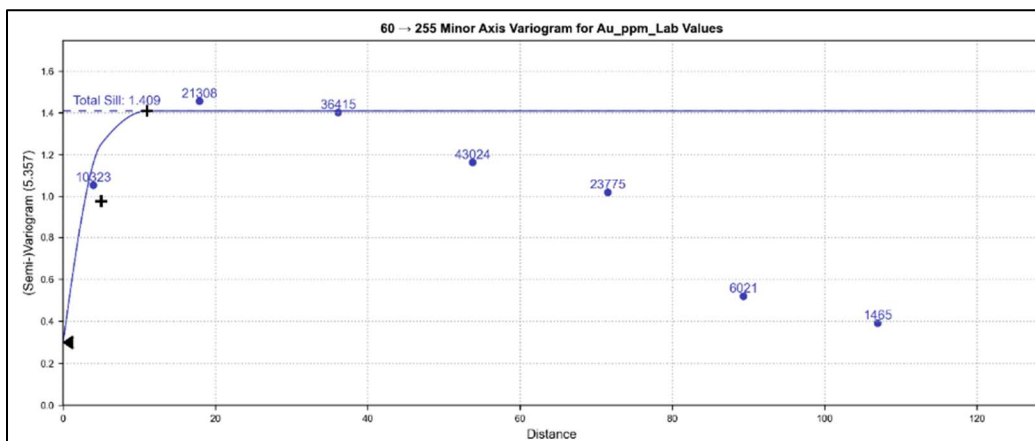


Figura 29: Semi variogramas para os eixos de maior, intermediária e menor continuidade que formam o elipsoide de variograma.

Dessa forma, para o domínio X2, o variograma foi modelado da seguinte maneira (Figura 30 e Figura 31).

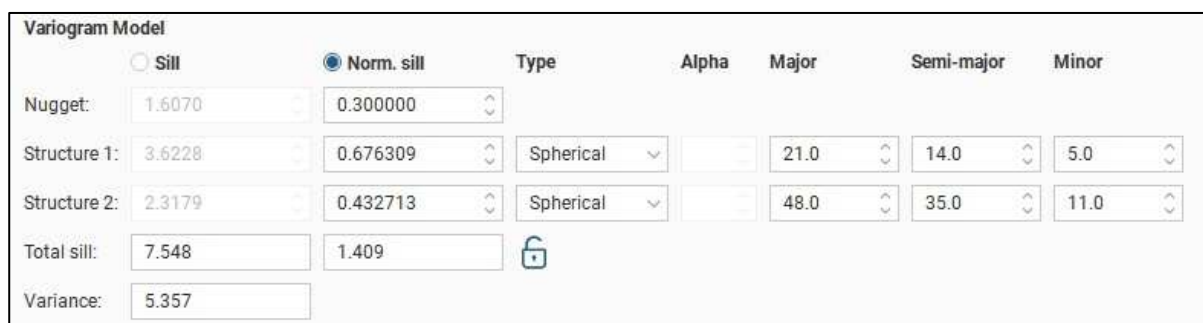


Figura 30: Parâmetros de modelagem do variograma para o domínio X2.

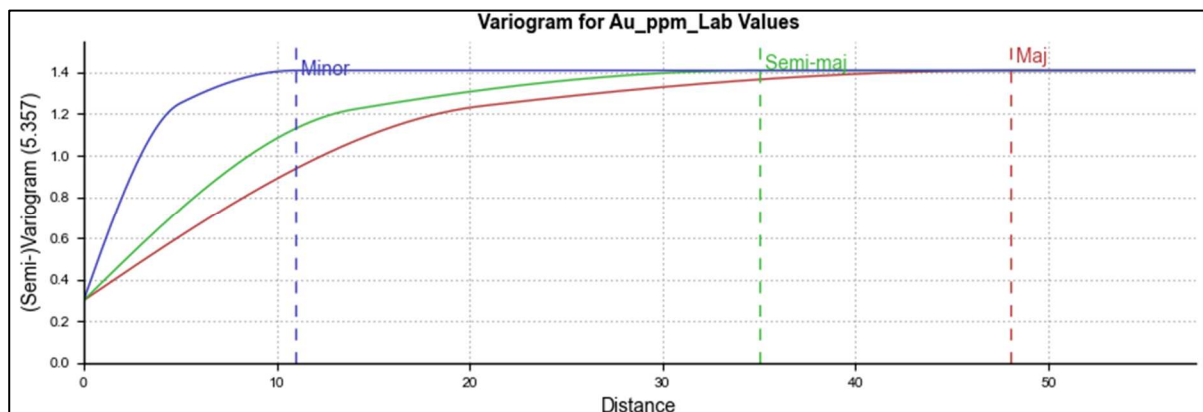


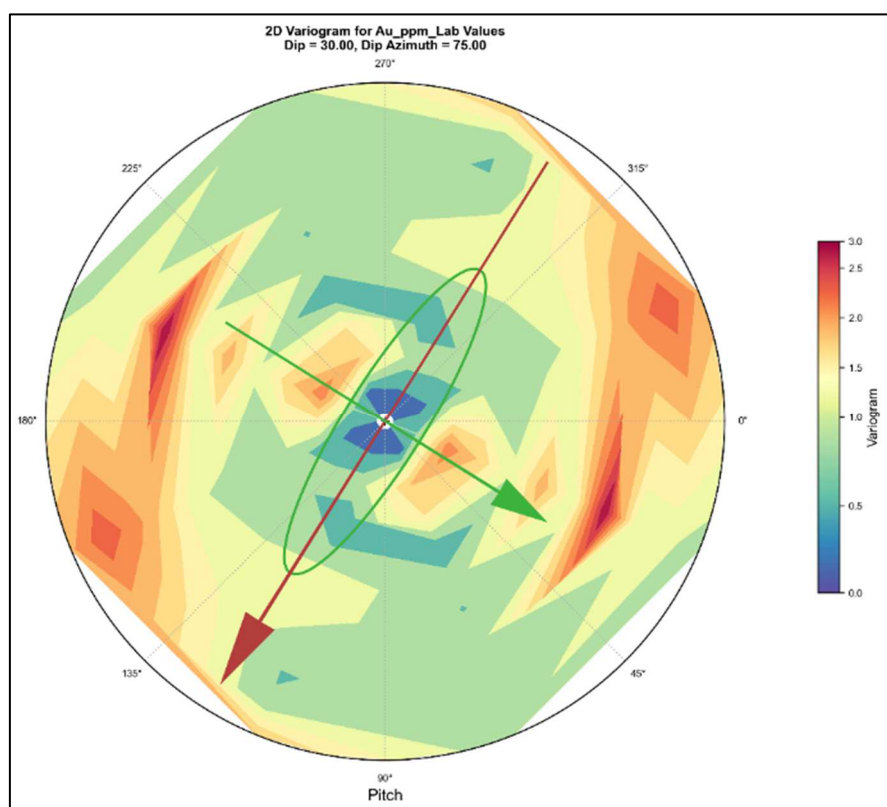
Figura 31: Eixos modelados do variograma para o domínio X2.

Para o domínio Unidade Química o variograma foi construído de acordo com as seguintes direções (Tabela 14).

Tabela 14: Direção para construção do variograma para o domínio Unidade Química.

Parâmetro	Valor
Dip	30
Dip Azimuth	75
Pitch	122

Assim como para o domínio X2 a direção do *Pitch* foi definida a partir de uma análise no *Radial Plot*, observando as direções de menor variância (Figura 32).

Figura 32: *Radial Plot* do variograma do domínio Unidade Química.

Para a definição do efeito pepita foi construído um segundo variograma ao longo dos furos de sondagem. Para este domínio o valor de 0,25 foi definido, posição estimada de uma curva hipotética que ligaria os pontos dos semi-variogramas e encontraria o eixo Y do gráfico abaixo (Figura 33).

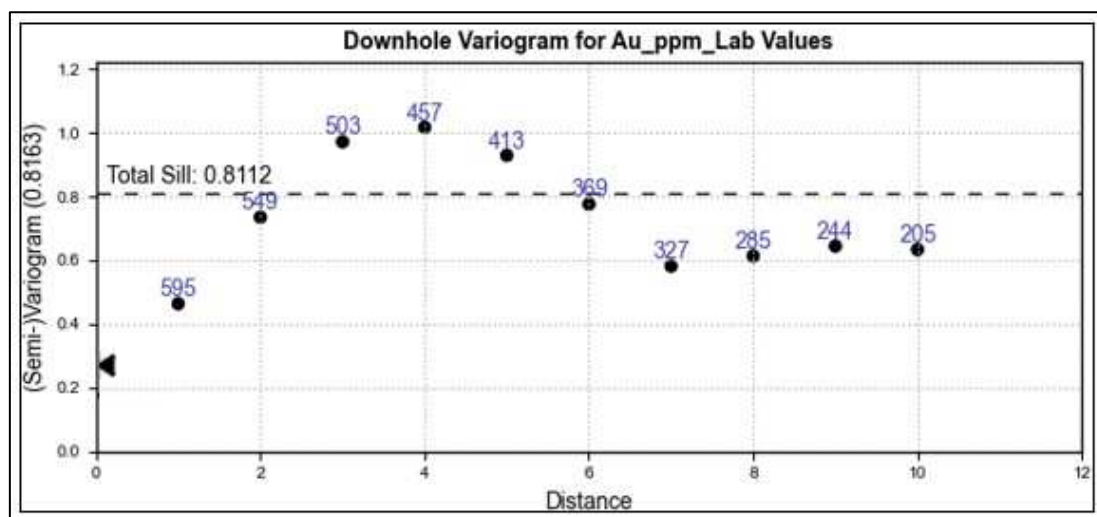


Figura 33: Gráfico de semi-variograma ao longo dos furos de sondagem para o domínio Unidade Química.

Definido o efeito pepita, foi feita a modelagem do variograma para os três eixos principais. A Figura 34 sintetiza os semi-variogramas para cada uma das três direções. Para a construção das curvas foi utilizada a função *Spherical*. O semi-variograma de cor vermelha é relativo ao eixo de maior continuidade, o de cor verde ao eixo intermediário e o azul o de menor continuidade.

Para a modelagem desse variograma ficaram definidos os seguintes parâmetros:

Tabela 15: Parâmetros estabelecidos para o variograma do domínio Unidade Química.

Eixo	Geral	Valor
Eixo Maior	Lag Distance	40
	Lag Tolerance	16
	Number of Lags	5
	Angle Tolerance	45
Semi Eixo	Lag Distance	17
	Lag Tolerance	9.5
	Number of Lags	6
	Angle Tolerance	45
Eixo Menor	Lag Distance	8
	Lag Tolerance	5
	Number of Lags	11
	Angle Tolerance	45

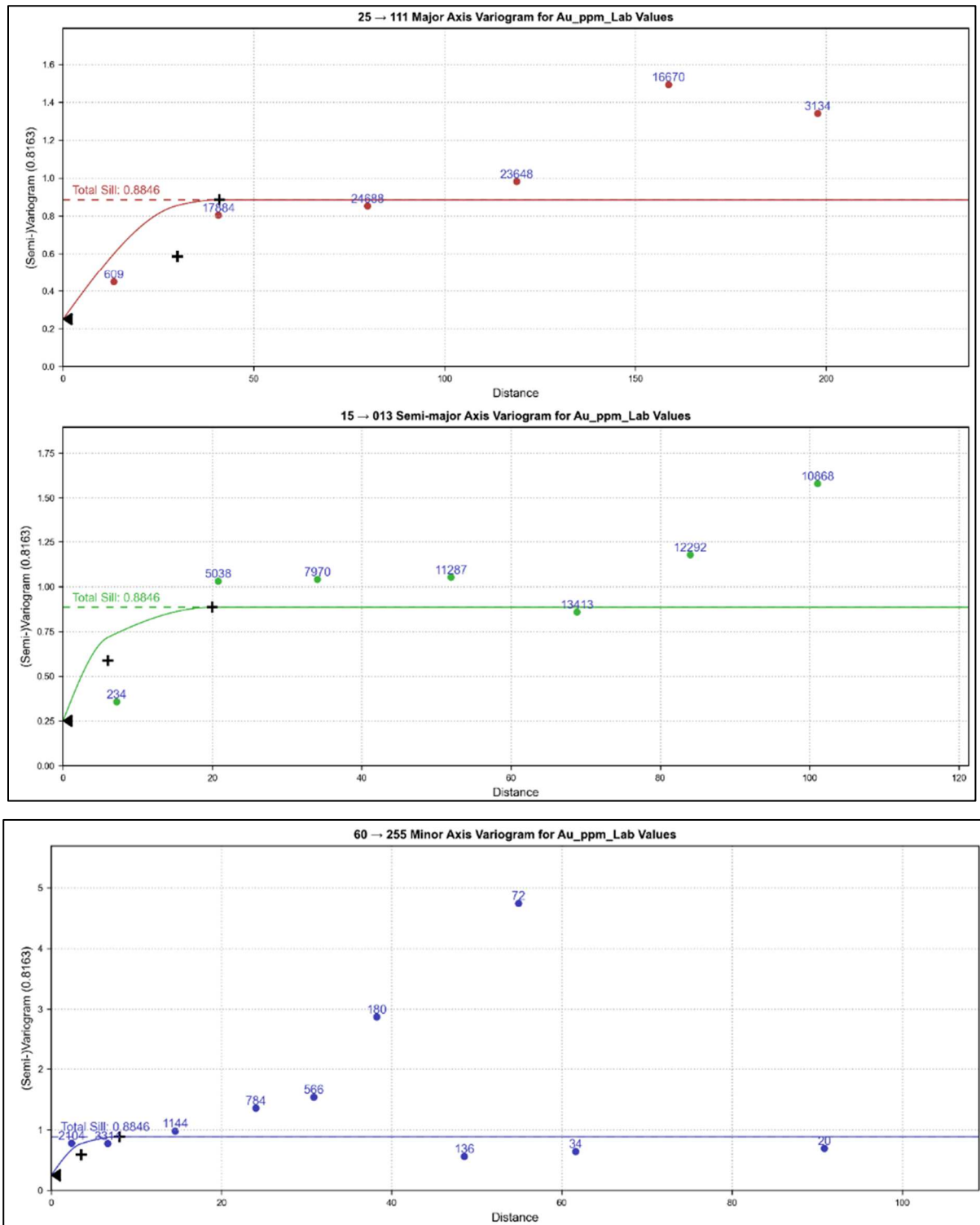


Figura 34: Semi variogramas para os eixos de continuidade que formam o elipsoide de variograma para o domínio Unidade Química.

Dessa forma, para o domínio Unidade Química, o variograma foi modelado da seguinte maneira (Figura 35 e Figura 36).

Variogram Model		Type	Alpha	Major	Semi-major	Minor
<input type="radio"/> Sill <input checked="" type="radio"/> Norm. sill						
Nugget:	0.2041	0.250000				
Structure 1:	0.2741	0.335834	Spherical	30.0	6.0	3.5
Structure 2:	0.2439	0.298793	Spherical	41.0	20.0	8.0
Total sill:	0.7221	0.8846	🔒			
Variance:	0.8163					

Figura 35: Parâmetros de modelagem do variograma para o domínio Unidade Química.

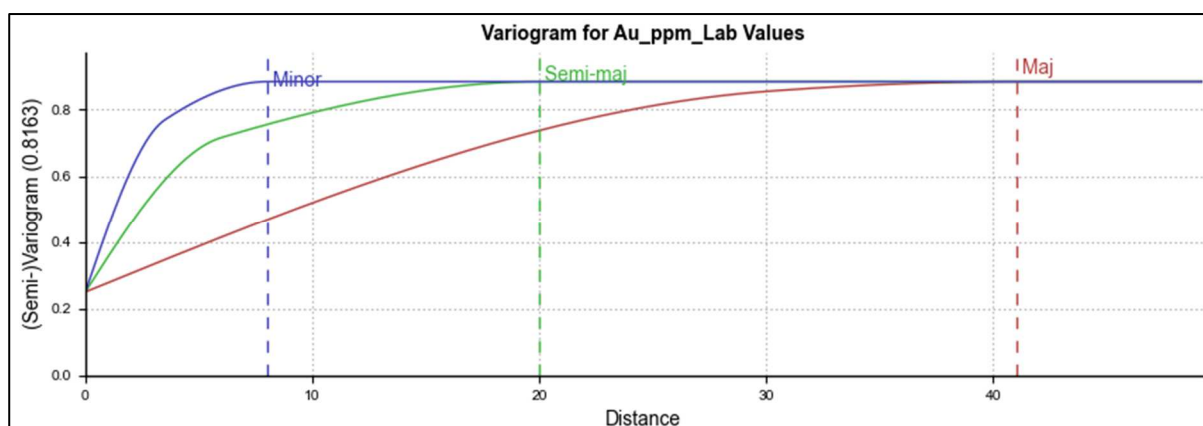


Figura 36: Eixos modelados do variograma para o domínio Unidade Química.

Para o domínio Unidade Química II, o menor e com menos informações de sondagem dos três domínios, o variograma foi construído de acordo com as seguintes direções (Tabela 16).

Tabela 16: Direção para construção do variograma para o domínio Unidade Química II.

Parâmetro	Valor
Dip	30
Dip Azimuth	75
Pitch	100

A direção do *Pitch* foi definida a partir de uma análise no *Radial Plot*, observando as direções de menor variância (Figura 37).

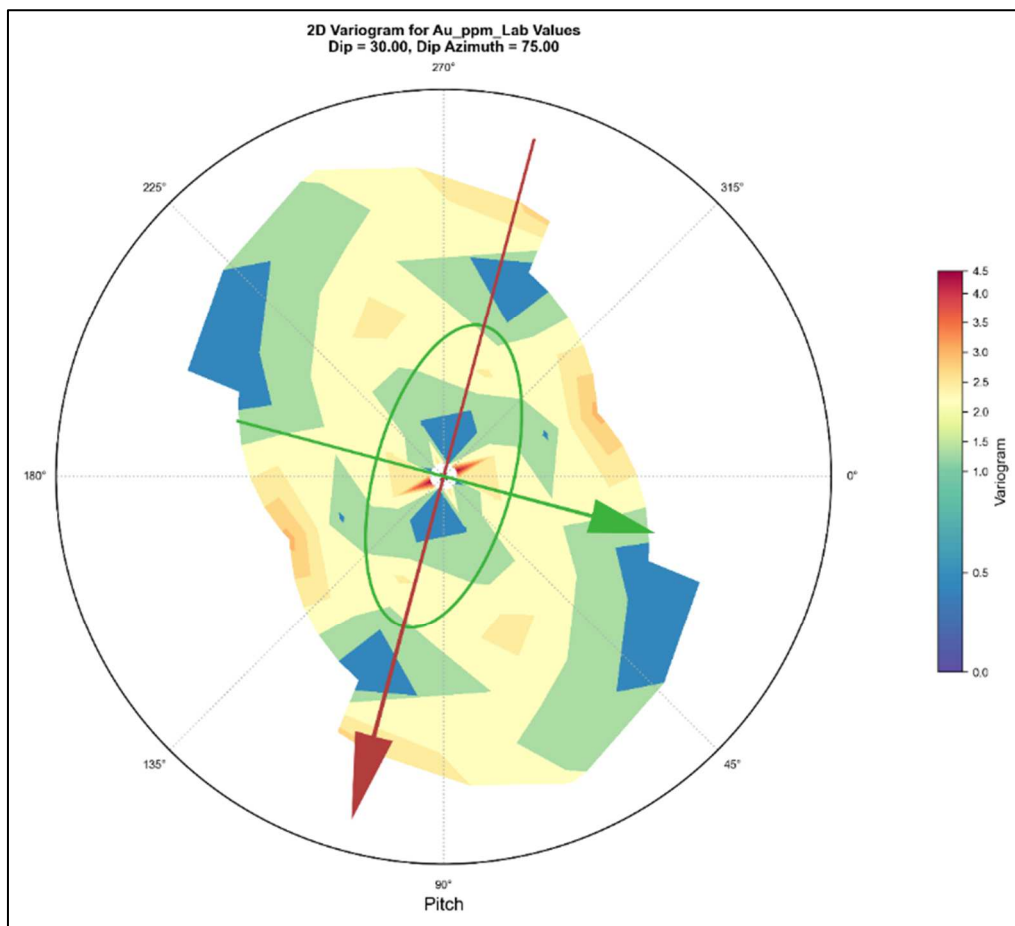


Figura 37: *Radial Plot* do variograma do domínio Unidade Química II.

Para a definição do efeito pepita foi construído um segundo variograma ao longo dos furos de sondagem. Para este domínio o valor de 0,30 foi definido, posição estimada de uma curva hipotética que ligaria os pontos dos semi-variogramas e encontraria o eixo Y do gráfico abaixo (Figura 38).

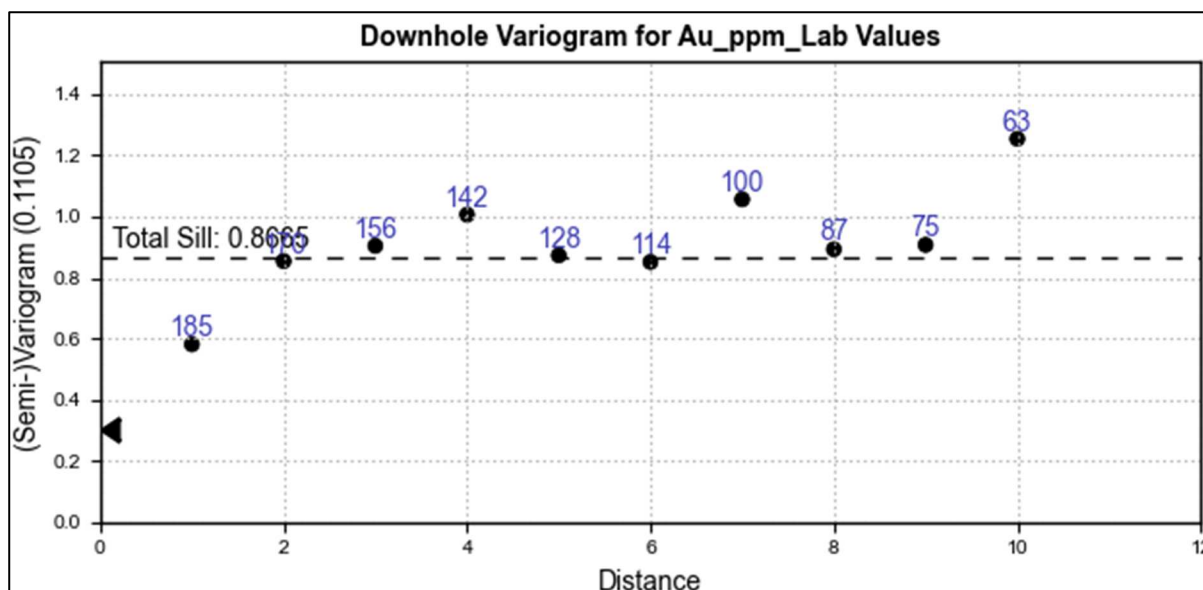


Figura 38: Gráfico de semi-variograma ao longo dos furos de sondagem para o domínio Unidade Química II.

Definido o efeito pepita, foi feita a modelagem do variograma para os três eixos principais. A Figura 39 sintetiza os semi-variogramas para cada uma das três direções. Para a construção das curvas foi utilizada a função *Spherical*. O semi-variograma de cor vermelha é relativo ao eixo de maior continuidade, o de cor verde ao eixo intermediário e o azul o de menor continuidade.

Para a modelagem desse variograma ficaram definidos os seguintes parâmetros:

Tabela 17: Parâmetros estabelecidos para o variograma do domínio Unidade Química II.

Eixo	Geral	Valor
Eixo Maior	Lag Distance	40
	Lag Tolerance	32
	Number of Lags	3
	Angle Tolerance	45
Semi Eixo	Lag Distance	20
	Lag Tolerance	10
	Number of Lags	3
	Angle Tolerance	45
Eixo Menor	Lag Distance	8
	Lag Tolerance	11,5
	Number of Lags	7
	Angle Tolerance	45

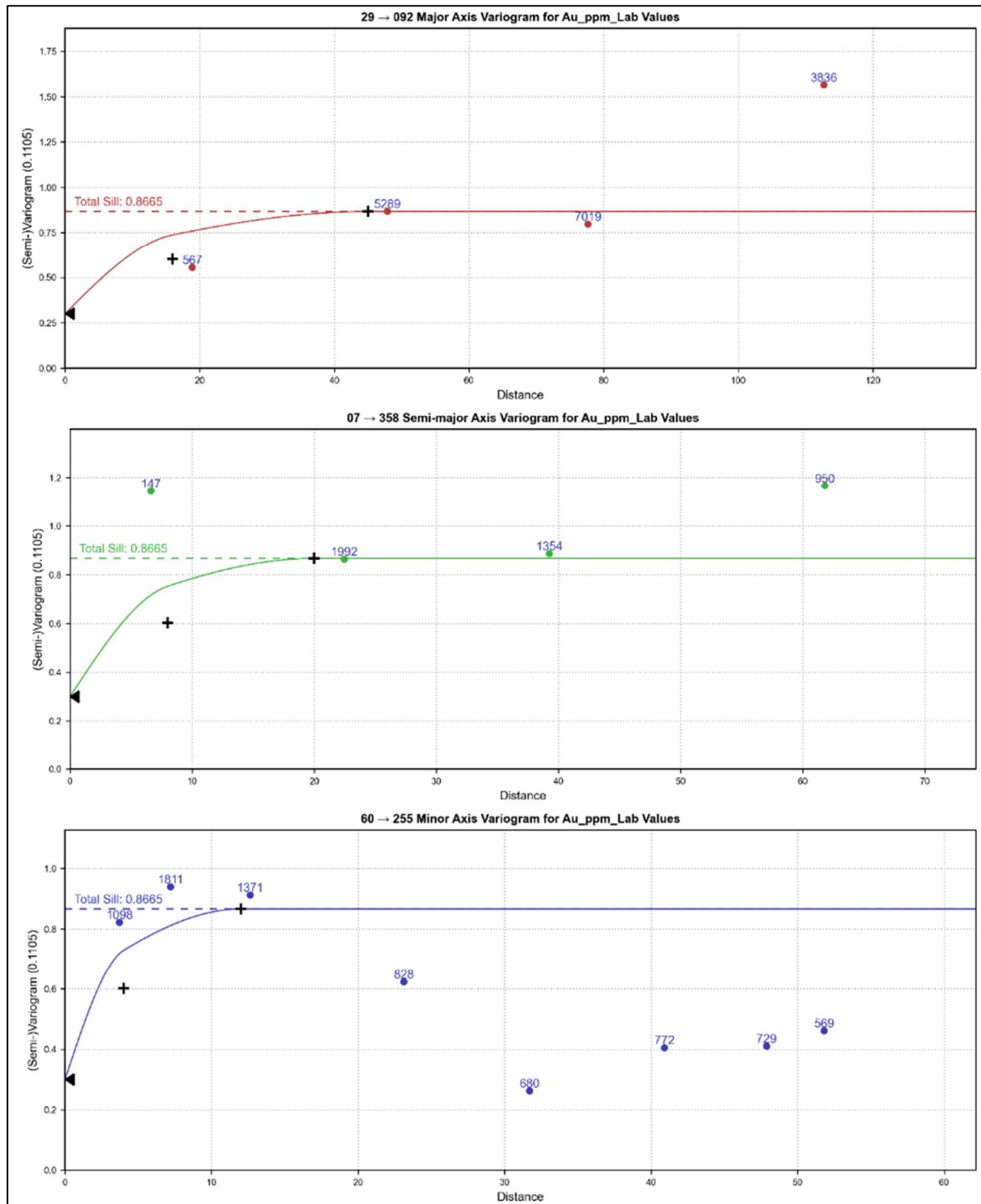


Figura 39: Semi variogramas para os eixos de continuidade que formam o elipsoide de variograma para o domínio Unidade Química II.

Dessa forma, para o domínio Unidade Química II, o variograma foi modelado com os seguintes parâmetros (Figura 40 e Figura 41).

Variogram Model		Type	Alpha	Major	Semi-major	Minor	
<input type="radio"/> Sill	<input checked="" type="radio"/> Norm. sill						
Nugget:	0.0332	0.300000					
Structure 1:	0.0334	0.302062	Spherical		16.0	8.0	4.0
Structure 2:	0.0292	0.264433	Spherical		45.0	20.0	12.0
Total sill:	0.09578	0.8665	🔒				
Variance:	0.1105						

Figura 40: Parâmetros de modelagem do variograma para o domínio Unidade Química II.

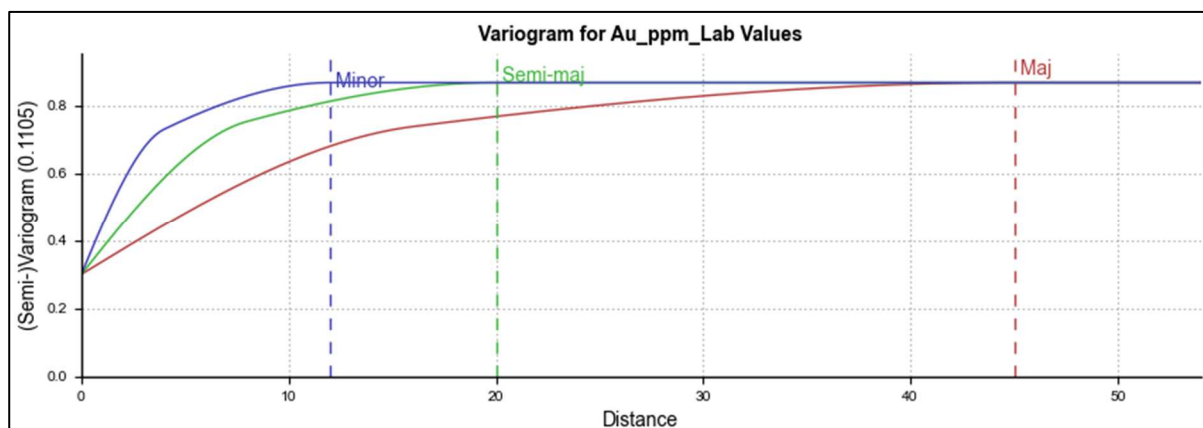


Figura 41: Eixos modelados do variograma para o domínio Unidade Química II.

5.6 – DESAGRUPAMENTO

Entendido a distribuição dos teores dentro de cada domínio de estimativa, é importante que se faça uma nova análise, porém com os dados desagrupados. Para isso utilizaremos a ferramenta de “*Declustering*”.

Para utilizar essa ferramenta devemos escolher uma “janela de declusterização” e um formato para essa janela. Será utilizado um formato *cuboid*, com igual tamanho para todas as direções. O tamanho dessa janela será definido a fim de obtermos a menor média desagrupada (Figura 42, Figura 43 e Figura 44). Os valores da janela também devem estar próximos a distância média entre os furos de sondagem que contribuirão com amostras para a estimativa dentro daquele domínio. As direções estabelecidas foram as mesmas utilizadas na construção dos variogramas.

Para o domínio X2, o espaçamento médio dos furos de sonda que forneceram amostras para a estimativa é de 30 metros. Esse valor foi encontrado de forma empírica, medindo a distância dos furos de sondagem dentro desse domínio. Esse valor é aderente ao valor utilizado para o tamanho de janela de desagrupamento (32,67).

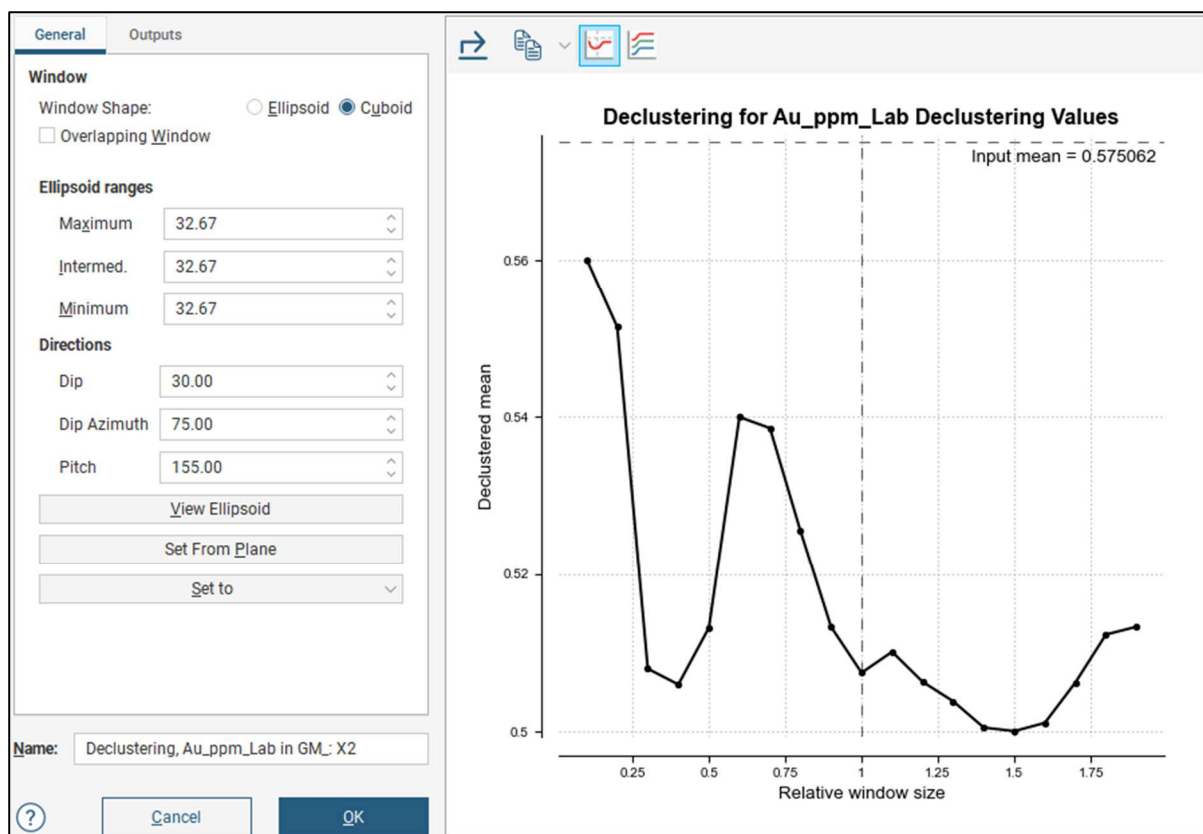


Figura 42: Janela de desagrupamento para o domínio X2.

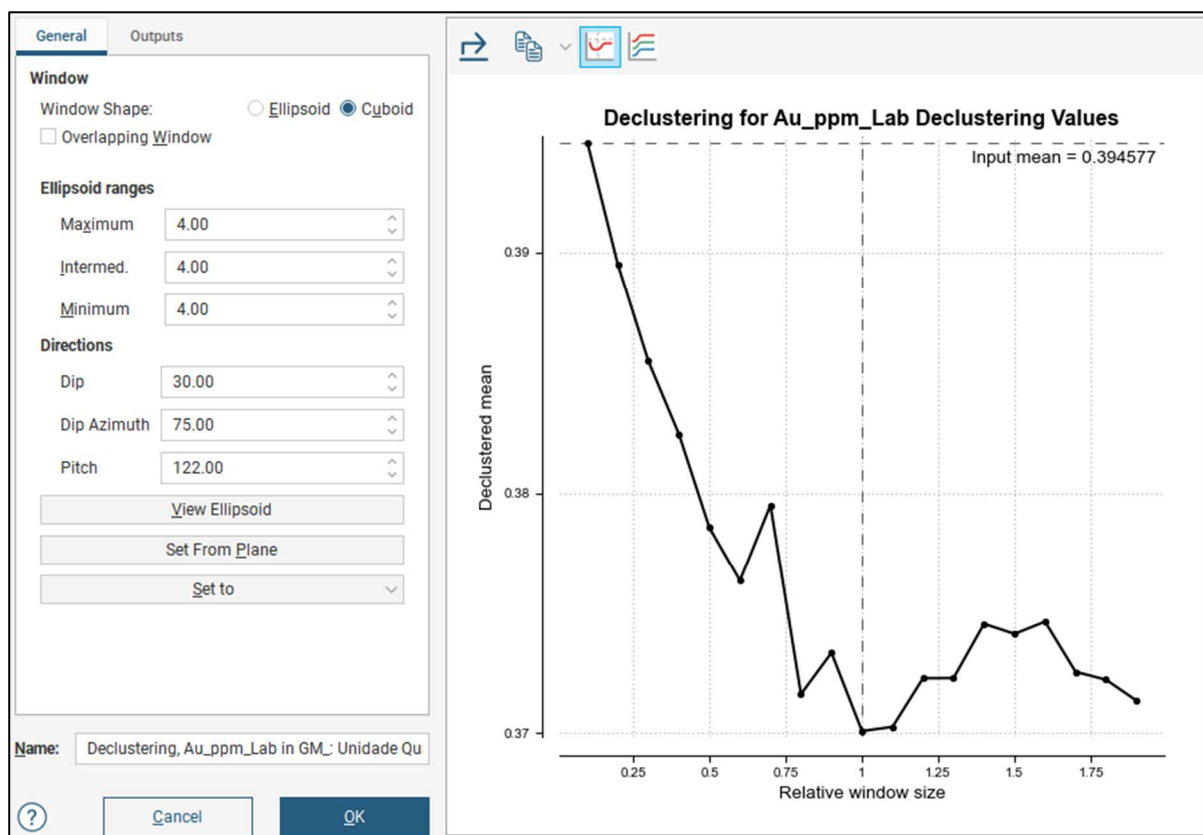


Figura 43: Janela de desagrupamento para o domínio Unidade Química.

Para o domínio Unidade Química, o tamanho de janela considerado foi de 4,00. A malha de sondagem para esse domínio apesar de mais fechada na média em relação ao domínio X2, não apresenta espaçamento tão diminuto quanto o valor de janela. Porém para este caso, priorizou-se manter a menor média desagrupada.

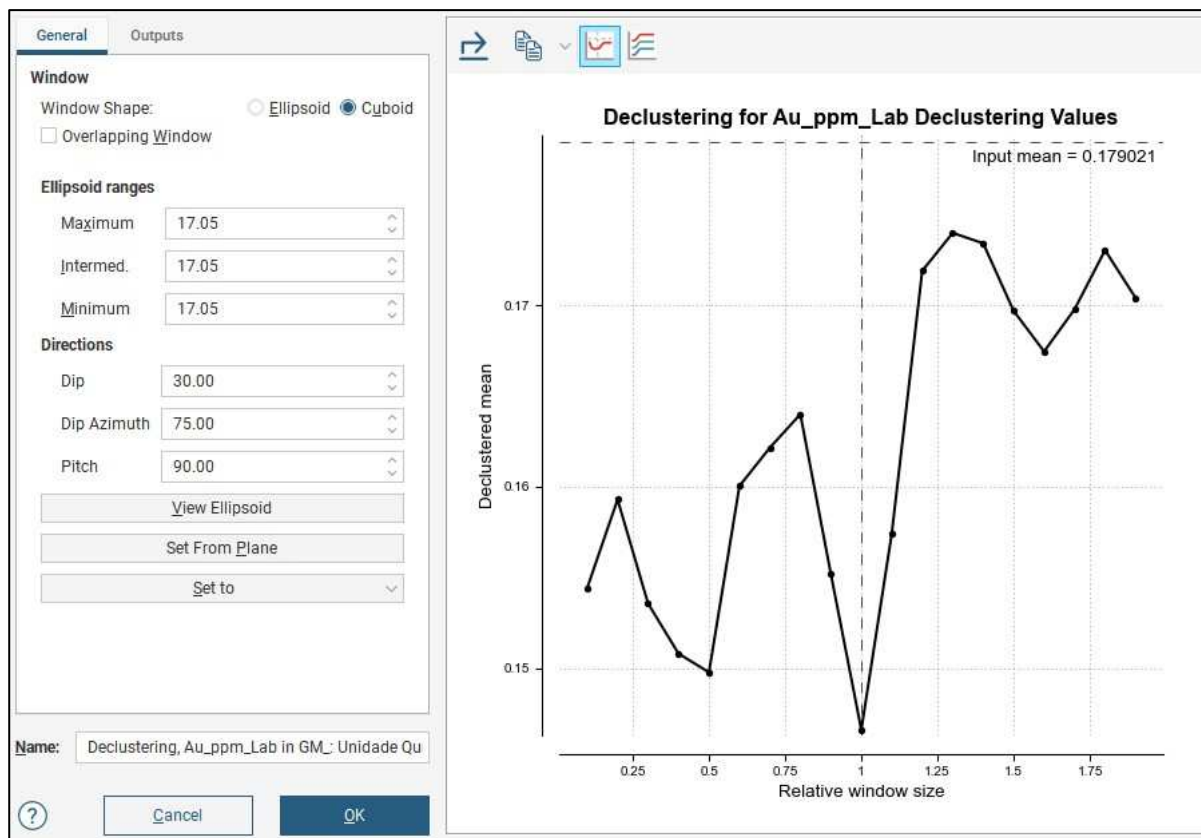


Figura 44: Janela de desagrupamento para o domínio Unidade Química II.

Para o domínio Unidade Química II, o tamanho de janela considerado foi de 17,05. A malha de sondagem para esse domínio é mais fechada, apresentando espaçamento médio de 20-25 metros.

Estabelecidos os parâmetros de desagrupamento, podemos avaliar a distribuição dos teores de Au desagrupados para cada um dos domínios de estimativa. Esses valores serão fundamentais para uma validação global da estimativa realizada utilizando a Krigagem Ordinária. Para o domínio X2 as informações estão na Figura 45 e Tabela 18, para o domínio Unidade Química em Figura 46 e Tabela 19 e para a Unidade Química II em Figura 47 e Tabela 20.

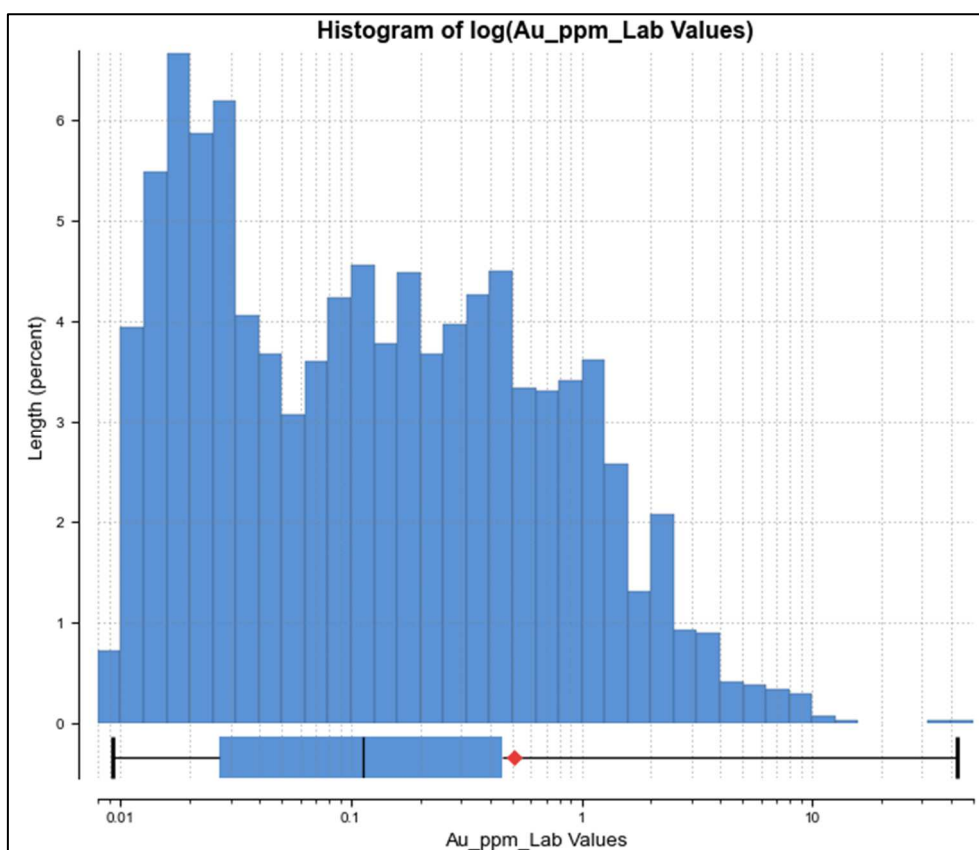


Figura 45: Distribuição dos teores de Au desagrupados para o domínio X2.

Tabela 18: Estatística dos teores de Au desagrupados para o domínio X2.

	Valores Desagrupados
Total	2356
Tamanho	2353,9
Média	0,506223
Desvio Padrão	1,50678
C. de Variância	2,97651
Variância	2,27038
Mínimo	0,00917651
Q1	0,0265817
Q2	0,112994
Q3	0,45088
Máximo	42,7336

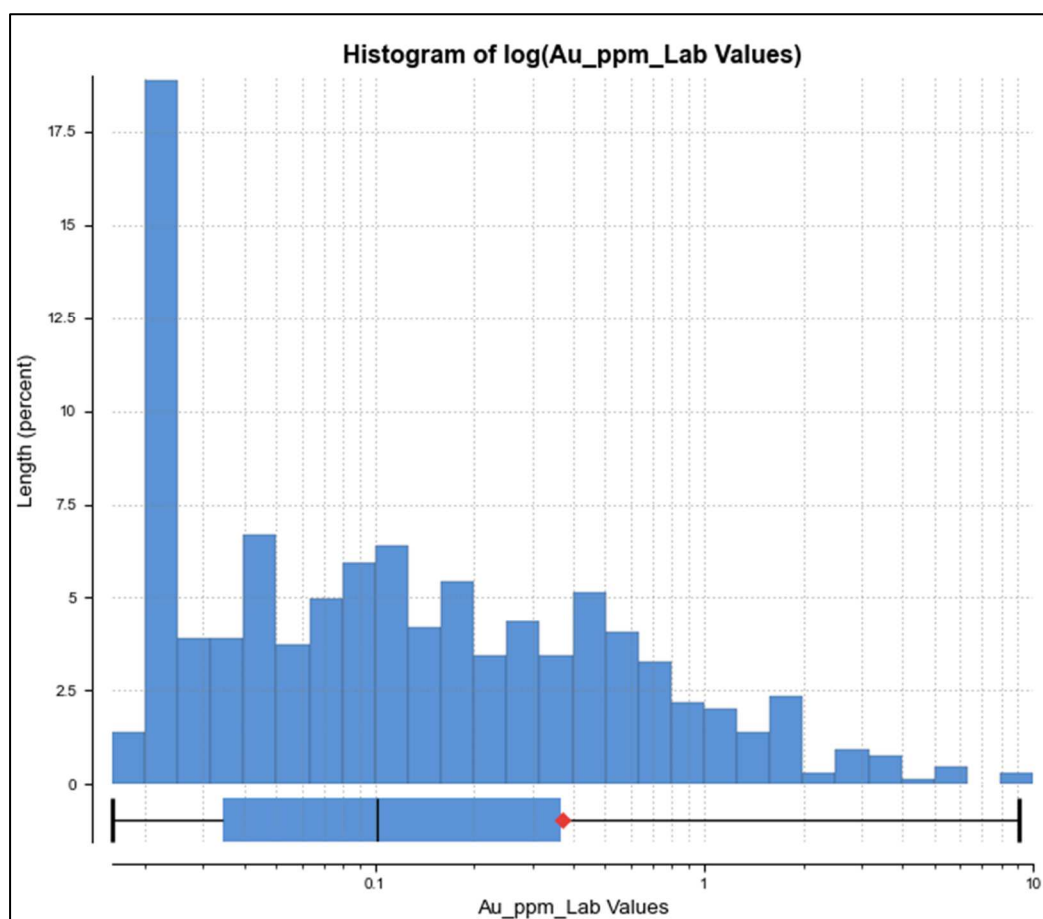


Figura 46: Distribuição dos teores de Au desagrupados para o domínio Unidade Química.

Tabela 19: Estatística dos teores de Au desagrupados para o domínio Unidade Química.

	Valores Desagrupados
Total	642
Tamanho	642
Média	0,370094
Desvio Padrão	0,819784
C. de Variância	2,21507
Variância	0,672046
Mínimo	0,0158556
Q1	0,0343538
Q2	0,100771
Q3	0,36644
Máximo	9,08222

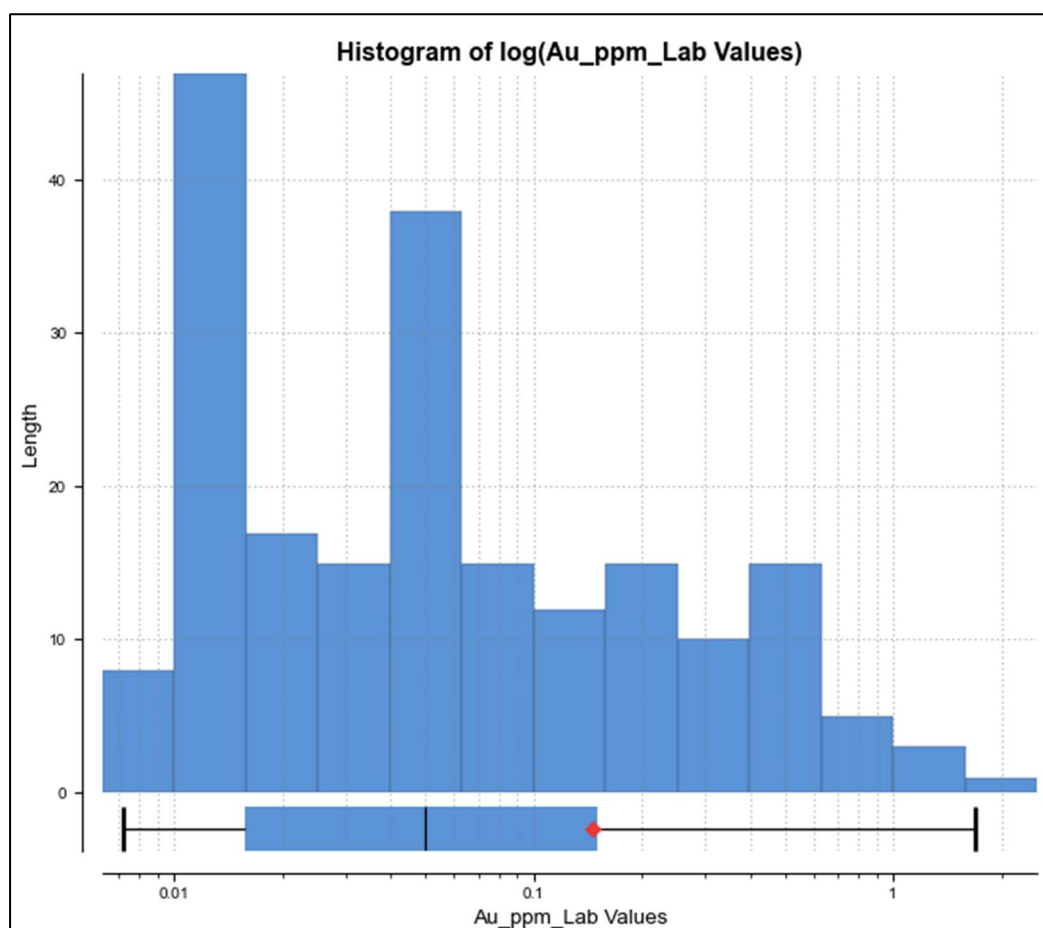


Figura 47: Distribuição dos teores de Au desagrupados para o domínio Unidade Química II.

Tabela 20: Estatística dos teores de Au desagrupados para o domínio Unidade Química II.

	Valores Desagrupados
Total	201
Tamanho	201,0
Média	0,146382
Desvio Padrão	0,248574
C. de Variância	1,69811
Variância	0,0617889
Mínimo	0,0071998
Q1	0,0157804
Q2	0,05000856
Q3	0,150642
Máximo	1,68504

É possível, inclusive, comparar para cada domínio de estimativa os dados originais compostos com os dados desagrupados (Tabela 21, Tabela 22 e Tabela 23).

Tabela 21: Comparação estatística dos teores de Au desagrupados e teores de Au compostos para o domínio X2.

	Desagrupados	Compostos
Total	2356	2356
Tamanho	2353,893	2353,893
Média	0,506222673	0,574606511
Desvio Padrão	1,506777089	2,315358036
C. de Variância	2,976510478	4,029467105
Variância	2,270377197	5,360882834
Mínimo	0,00917561	0,025
Q1	0,026581702	0,025
Q2	0,112994068	0,123235
Q3	0,450879785	0,49096
Máximo	42,73364972	79,00176

Tabela 22: Comparação estatística dos teores de Au desagrupados e teores de Au compostos para o domínio Unidade Química.

	Desagrupados	Compostos
Total	642	642
Tamanho	641,95	641,95
Média	0,370094369	0,394606044
Desvio Padrão	0,819784326	0,903506875
C. de Variância	2,215068355	2,289642768
Variância	0,672046341	0,816324673
Mínimo	0,015855584	0,025
Q1	0,034353766	0,025
Q2	0,100771047	0,1
Q3	0,366440171	0,37
Máximo	9,082219648	9,914

Tabela 23: Comparação estatística dos teores de Au desagrupados e teores de Au compositados para o domínio Unidade Química II.

	Desagrupados	Compositados
Total	201	201
Tamanho	201	201
Média	0,146382492	0,179021144
Desvio Padrão	0,248573743	0,332471009
C. de Variância	1,698111153	1,857160562
Variância	0,061788906	0,110536972
Mínimo	0,007199805	0,025
Q1	0,015780394	0,025
Q2	0,050085599	0,025
Q3	0,150642072	0,16525
Máximo	1,685036694	2,18

5.7 – ESTIMATIVA

Com os variogramas modelados, foram criados os estimadores de Krigagem Ordinária. Os elipsoides de buscas são construídos com base nos elipsoides de variograma, inclusive mesma orientação, e foram utilizadas as mesmas regras para os domínios, mesmo que a quantidade de amostra e sua distribuição seja diferente.

Para todos os domínios a passada 1 (P1) é a mais restrita, seguida pela passada 2 (P2) e a passada 3 (P3) é a mais abrangente. O seguinte critério foi utilizado para todos os domínios: a P1 corresponde a 25% do tamanho do elipsoide de variograma, a P2 corresponde a 50% e P3 corresponde a 75%. O tamanho de cada passada influencia na quantidade de amostras utilizadas para estimar o teor de um determinado ponto não amostrado.

Como os estimadores, variogramas e elipsoides de estimativa construídos, podemos realizar a construção dos modelos de blocos. Os parâmetros de construção desse modelo de blocos são apresentados na Figura 48. A Figura 49 representa o modelo blocos gerado.

Grid	Triggers and Evaluations	Proportions
Blocks		
Parent block size:	X: 5	Y: 5 Z: 5
Sub-block count:	X: 2	Y: 2 Z: 2
Minimum size:	X: 2.5	Y: 2.5 Z: 2.5
Extents		
Base point:	X: []	Y: [] Z: []
Boundary size:	X: 405.00	Y: 400.00 Z: 255.00
Azimuth:	X: 4.60	degrees [Enclose Object]
Dip:	X: 0.00	degrees [Set Angles From]
Pitch:	X: 0.00	degrees
Size in blocks:	81 × 80 × 51 = 330,480	
Name:	Block Model	

Figura 48: Parâmetros de construção do modelo de blocos.

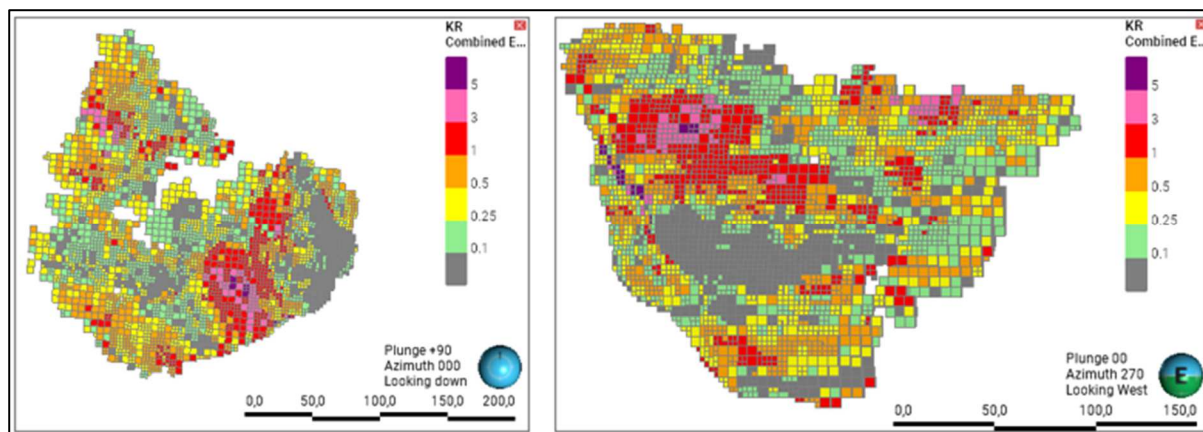


Figura 49: Modelo de blocos.

6 – VALIDAÇÃO

Existem diferentes técnicas e formas para se fazer uma validação do modelo de blocos estimado. Essa etapa é responsável por assegurar que as estimativas estão confiáveis e reproduzem as estatísticas dos dados, que são utilizados como referência.

É importante ressaltar que o depósito em estudo está em fase inicial de pesquisa, apesar de já haver um bom mapeamento geológico de superfície, a quantidade de sondagem é

insuficiente para entender e dimensionar todo o depósito, que se encontra em aberto lateralmente e em profundidade. Exatamente por estar em fase inicial de pesquisa, as estimativas de recursos aqui empregadas possuem um viés de exploração mineral, ou seja, os elipsoides de variograma e de busca de amostra foram aumentados de forma a conectar recursos e demonstrar um potencial otimista para o prospecto.

6.1 – VALIDAÇÃO VISUAL

A primeira validação possível de ser feita é a visual. Esta é a mais das simples das validações, mas também uma das mais importantes e fundamentais. São realizadas comparações visuais em plantas e em diferentes seções, garantindo que os blocos estimados apresentam correlações com os furos de sondagem e a geologia conhecida do depósito estudado.

Na Figura 50 observamos uma das seções traçadas. Duas porções chamam a atenção ao analisar a imagem. A primeira é relativa as poções mais ricas (cores quentes na parte central), em que existe uma clara relação entre as amostras de mais alto teor e os blocos também de mais alto teor. De maneira oposta, percebemos que na porção inferior da imagem (próximo a escala gráfica) existe um furo de sondagem com amostras pobres, da mesma forma os blocos estimados não apresentam teor.

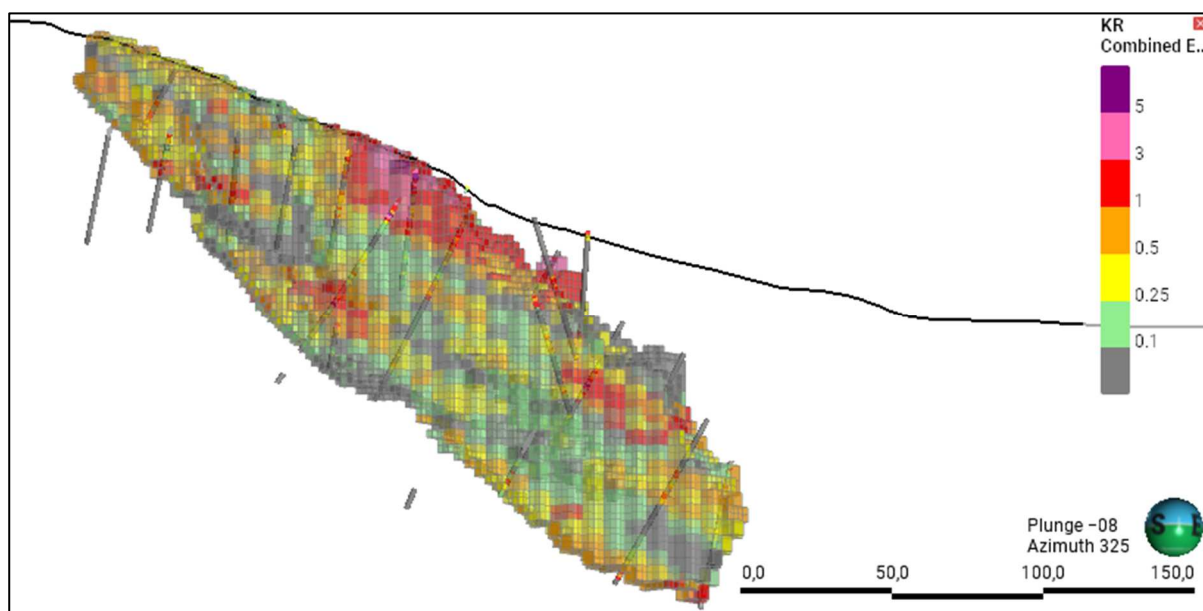


Figura 50: Validação visual.

Uma segunda seção foi traçada com o mesmo objetivo da primeira, confrontar os furos de sondagem amostrados com os teores dos blocos estimados. E mais uma vez, percebe-se uma boa correlação entre os dados estimados e os dados de entrada. Na Figura 51, tanto na região

de tores mais altos na porção central da imagem, quanto no flanco inferior do sinforme modelado (zona mais pobre), a correlação entre as amostras e os blocos estimados são satisfatórias.

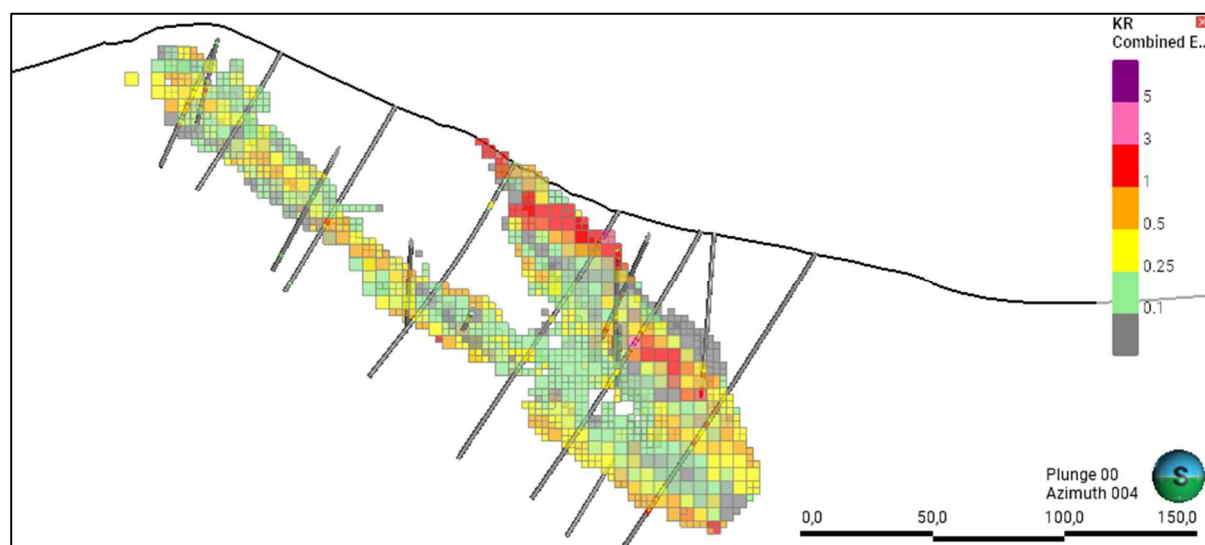


Figura 51: Validação visual.

6.2 – VALIDAÇÃO ESTATÍSTICAS

Nessa etapa de validação as estatísticas globais do modelo de bloco estimado são comparadas com as estatísticas dos dados desagrupados. A Tabela 24 resume essa comparação de informações para alguns parâmetros. A diferença relativa corresponde aos valores estimados menos os valores desagrupados, o resultado dessa subtração é dividido pelos valores desagrupados.

Tabela 24: Validação Estatística.

Domínio	Dados	Média	Variância	Mínimo	Máximo
X2	Desagrupado	0,5062	2,2704	0,0092	42,7336
	Estimado	0,5052	0,7691	0,0033	16,8129
	Diferença Relativa	0,20%	195%	179%	154%
Unidade Química	Desagrupado	0,3701	0,6720	0,0159	9,0822
	Estimado	0,2922	0,1279	0,025	3,2047
	Diferença Relativa	27%	425%	36%	183%
Unidade Química II	Desagrupado	0,1464	0,0618	0,0072	1,6850
	Estimado	0,1546	0,0296	0,025	1,1352
	Diferença Relativa	-5%	109%	-71%	48%

A validação estatística dos dados demonstra que importantes diferenças foram encontradas comparando os dados estimados com os desagrupados. Não se esperavam valores

idênticos devido a relação entre volume e variância, já que as amostras são tratadas pontualmente enquanto os blocos do modelo possuem volume.

Para os três domínios as médias de teores encontradas se mantêm estáveis na comparação, demonstrando que os valores estimados não estão enviesados. Para o X2, o maior domínio e com a maior quantidade de recursos de ouro, a diferença relativa foi de 0,20% comparando os valores estimados com os valores desagrupados, confirmando não haver viés na estimativa. Para o domínio Unidade Química II a diferença relativa de 5% também é considerada satisfatória. Apenas para o domínio Unidade Química a diferença relativa em 27% é que pode ser considerada alta, indicando que existe um pequeno viés na estimativa.

As diferenças relativas para a variância, valores máximos e mínimos são explicadas pelo maior suporte amostral na estimativa. Dessa forma a variância será menor para os valores estimados em relação aos desagrupados. A diferença nos valores mínimos apesar de serem consideradas grandes em porcentagem, se trata de valores absolutos muito baixos e sem efeito prático. Já os valores máximos apresentam diferenças importantes, mas são espacialmente restritos já que poucos blocos são carimbados com esses teores. É esperado que a krigagem suavize os valores de maior e menor valor.

6.3 – VALIDAÇÃO SWATH PLOT

A análise dos gráficos de *Swath Plots* permitiu comparar as estimativas obtidas através da krigagem ordinária com os valores compostos e desagrupados. A validação foi realizada para cada um dos domínios de estimativa, por passada de estimativa. A passada 3 tende a estar mais afastada da linha de referência já que considera amostras mais distantes para realizar sua estimativa.

Para o domínio X2 foi utilizado um espaçamento de 20 metros (quatro vezes o valor do bloco). Como pode ser visto na porção central da Figura 52, as linhas das três passadas estão próximas a linha referente aos dados originais imputados. Já nas bordas as linhas se apresentam mais distantes uma das outras. Isso significa que na parte central do domínio os valores foram estimados de forma coerente em relação aos dados originais, porém não se pode dizer o mesmo para as extremidades do domínio. Isso se deve a menor quantidade de amostras nas extremidades.

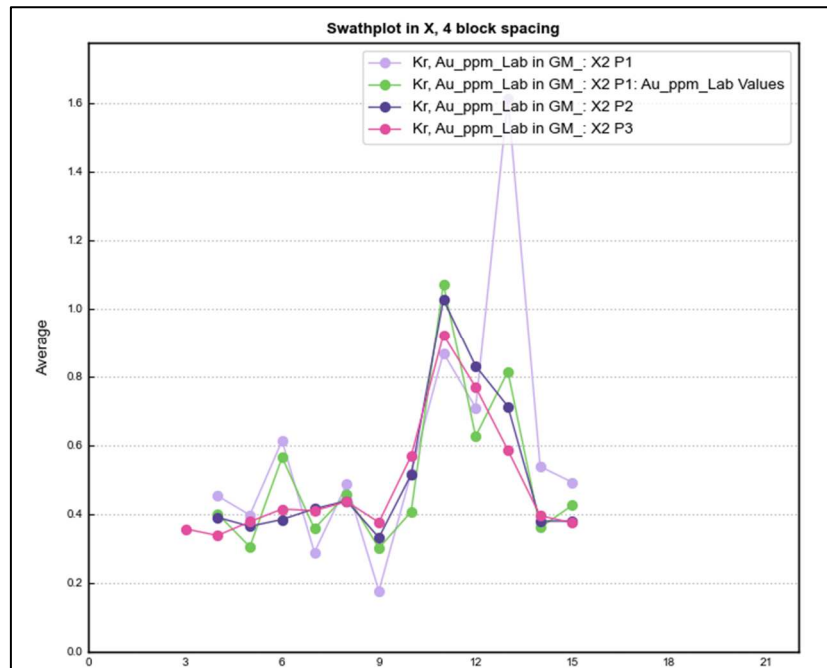


Figura 52: *Swath Plot* para o domínio X2.

O domínio Unidade Química é que apresenta a maior discrepância entre os valores estimadas pelas passadas de krigagem e os dados imputados (Figura 53). O espaçamento utilizado também foi de 20 metros (quatro vezes o valor do bloco).

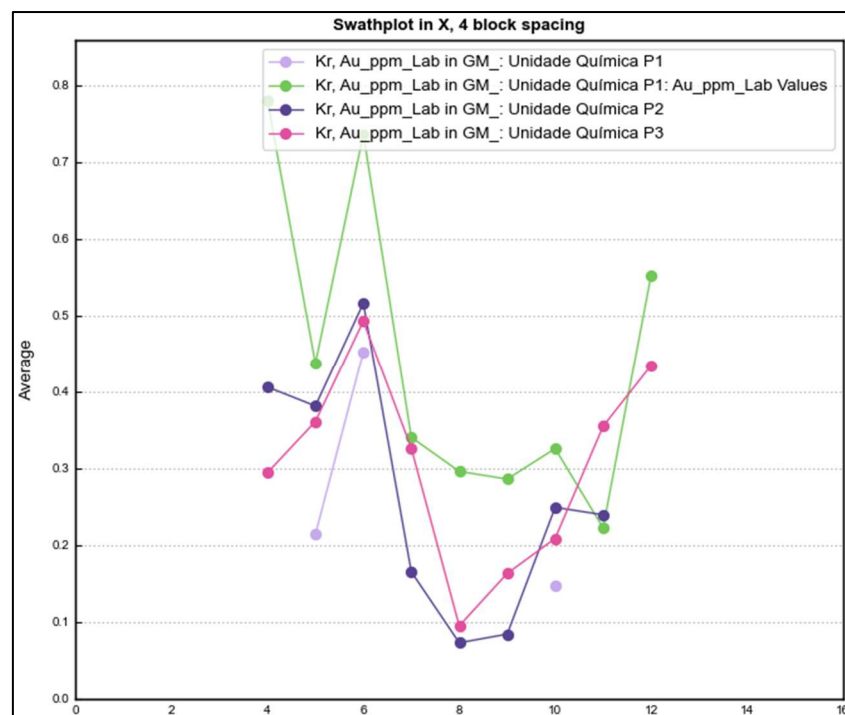


Figura 53: *Swath Plot* para o domínio Unidade Química.

O domínio Unidade Química II repete o padrão observado para o domínio X2, com as estimativas no interior do domínio mais aderentes em relação as bordas (Figura 54). A

explicação é a mesma, relacionado a menor quantidade de amostras nas bordas. O espaçamento utilizado também foi de 20 metros (quatro vezes o valor do bloco).

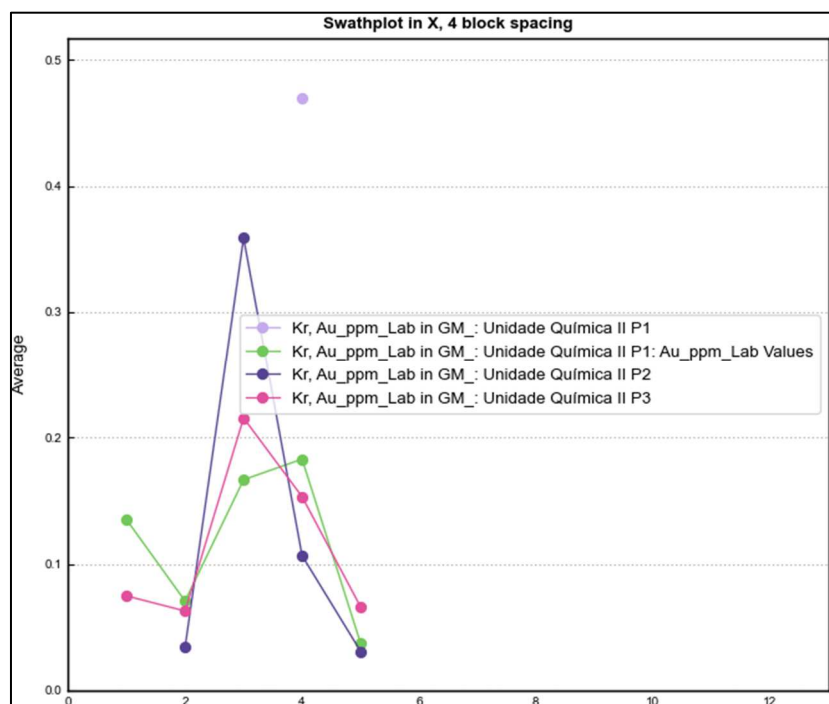


Figura 54: *Swath Plot* para o domínio Unidade Química II.

7 – ESTIMATIVA DE RECURSOS MINERAIS

Para este depósito, chegou-se ao recurso total de **62.660,86oz@ 0,53g/t**. Por se tratar de um depósito em fase inicial de pesquisa e, portanto, com poucas informações de sondagem e amostragem, qualquer tentativa de classificar o recurso total pode ser considerado contraditório e passível de erros. Não existe a intenção de definir os recursos de ouro desse depósito, a título de exercício foi realizada uma tentativa de classificação dos recursos totais em três níveis de confiabilidade, sendo C1 o nível de mais confiança, C2 o nível de confiança intermediária e C3 o nível com menor confiabilidade. Seguindo os critérios internacionais, todo o recurso dessa área deveria ser classificado como inferido.

Os critérios de classificação de recursos variam de acordo com cada empresa, mas existe alguns padrões que são comumente usados. Normalmente essa classificação está relacionada com a confiança e o conhecimento geocientífico, continuidade da mineralização e sua característica física, espaçamento entre furos de sondagem, qualidade das amostras, qualidade da estimativa, quantidade de mineralização exposta e mapeada e histórico de mineração (quando existente).

No relatório NI 43.101 (norma canadense que fornece diretrizes específicas para a divulgação de informações relacionadas a recursos minerais) da empresa Gold Fields para a Mina de Tarkwa em Gana, West Africa, os seguintes critérios são utilizados para a classificação de recursos (Gold Fields, 2021): conhecimento geológico, densidade de furos, eficiência da krigagem e *slope of regression*. Para os recursos medidos o espaçamento da sondagem RC é de 25 metros e o da sondagem diamantada é de 100m. Para os recursos indicados o espaçamento da sondagem diamantada é de 200m em *strike* e 100m no mergulho da estrutura. Para os recursos inferidos o espaçamento da sondagem diamantada é de 400m em *strike* e 200m no mergulho da estrutura. Sempre a depender da continuidade da geologia e dos teores de ouro.

Outros relatórios NI 43.101 foram consultados com a intenção de se verificar os critérios utilizados para a classificação de recursos. Podemos citar aqui Technical Report NI 43-101 on the Minera Don Nicolás Gold Project (Argentina, Cerrado Gold, 2024) e Technical Report NI 43-101 on the Edikan Gold Mine (Ghana, Perseus Mining, 2022). Nesses relatórios os principais critério para essa classificação são o número de furos de sondagem, espaçamento da sondagem diamantada, comprimento dos raios do elipsoide de busca e, para as minas com produção ativa, o histórico existente também é fundamental.

Como o depósito estudado neste trabalho não possui histórico de recursos lavrados e o espaçamento da sondagem diamantada é irregular, os parâmetros de classificação de recursos foram definidos com base em dois itens, “*average distance*” (distância média das amostras que contribuíram para a estimativa) e “*slope of regretion*” (representa uma técnica estatística usada para prever o valor de uma variável com base no valor de outra variável). Esses também são os parâmetros matemáticos indicados em um dos cursos da Seequent de utilização da ferramenta *Edge*. (Figura 55) (Leapfrog Learnings, 2024).



Figura 55: Parâmetros de classificação de recursos utilizado.

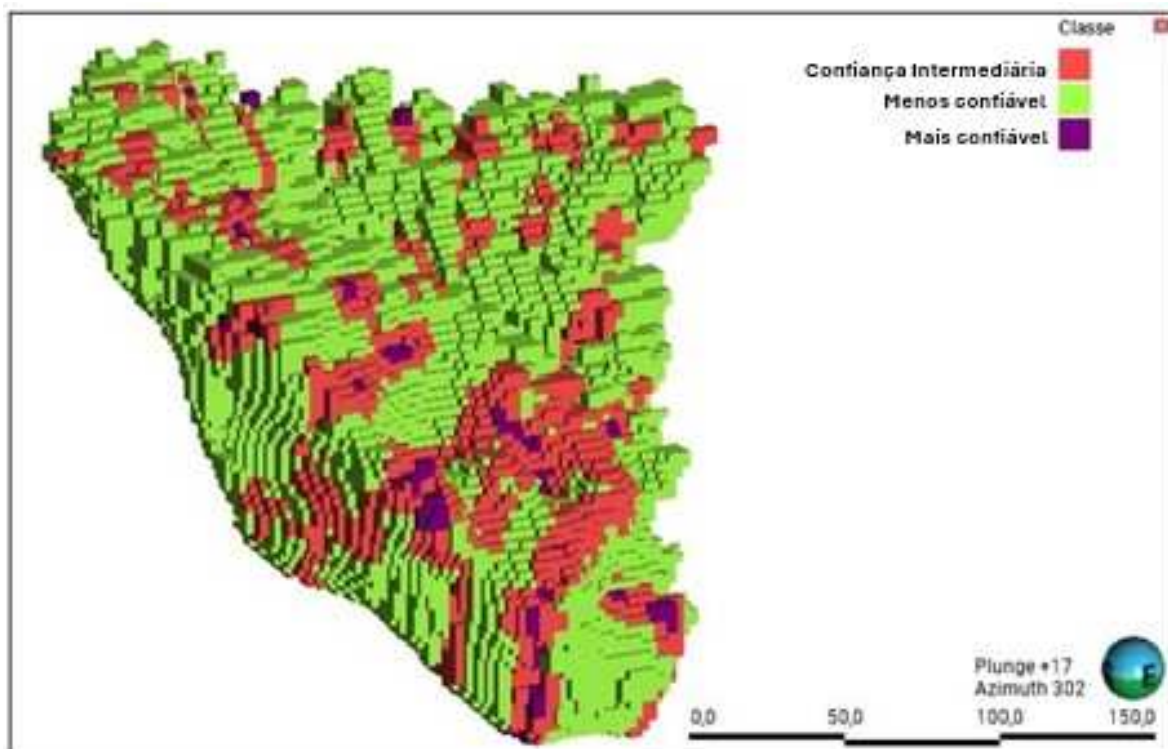


Figura 56: Blocos com a classificação entre medido, estimado e inferido.

A Figura 56 apresenta visualmente a classificação dos recursos realizada de forma matemática, conforme os parâmetros indicados acima em relação ao nível de confiança em cada bloco. Pontualmente observa-se que existem recursos classificados como de maior confiança transitando para blocos de menor confiança sem que haja um recurso de confiança intermediária entre ambos. As classificações estritamente matemáticas necessitam de refinamentos para que problemas como esse não ocorram. Esse problema reforça o caráter ilustrativo da classificação dos recursos de ouro para esse depósito e a necessidade de adensar a malha de sondagem já existente.

Dito isso, chegou-se ao seguinte resultado:

- Recursos Totais: 62.660,86oz@ 0,53g/t
- Recursos de maior confiança: 5.580,96oz@ 0,75g/t
- Recursos de confiança intermediária: 22.258,70oz@ 0,53g/t
- Recursos de menor confiança: 34.821,19oz@ 0,52g/t

A Tabela 25 sintetiza a estimativa de recursos realizada por domínio de estimativa bem como o volume de cada domínio e sua massa calculada a partir das informações de densidades utilizadas.

Tabela 25: Classificação das estimativas realizadas por domínio.

GM_	Classe	Volume m ³	Density g/cm ³	Mass t	Average Value KR g/t	Material Content KR t. oz
Unidade Química	C2	10.421,88	3,20	33.350,00	0,25	262,89
	C3	30.984,38	3,20	99.150,00	0,31	999,07
	C1	1.328,13	3,20	4.250,00	0,53	72,83
	Total	42.734,38	3,20	136.750,00	0,30	1.334,78
Unidade Química II	C2	2.046,88	3,20	6.550,00	0,20	42,18
	C3	4.234,38	3,20	13.550,00	0,12	51,68
	C1	234,38	3,20	750,00	0,18	4,26
	Total	6.515,63	3,20	20.850,00	0,15	98,12
X2	C2	435.593,75	2,93	1.276.289,69	0,54	21.953,64
	C3	677.375,00	2,93	1.984.708,75	0,53	33.770,44
	C1	76.968,75	2,93	225.518,44	0,76	5.503,88
	Total	1.189.937,50	2,93	3.486.516,88	0,55	61.227,96
Total	C2	448.062,50	2,94	1.316.189,69	0,53	22.258,70
	C3	712.593,75	2,94	2.097.408,75	0,52	34.821,19
	C1	78.531,25	2,94	230.518,44	0,75	5.580,96
	Total	1.239.187,50	2,94	3.644.116,88	0,53	62.660,86

A Tabela 26 apresenta a mesma síntese de estimativa de recursos por domínio de estimativa, porém aplicando um filtro de 0,30g/t. Este valor pode ser considerado estéril inclusive pensando em uma possível lavra a céu aberto.

A Figura 57 apresenta a curva de teor por tonelagem para o depósito estudado, ela representa a variabilidade do teor do depósito em função da tonelagem, isto é, representa o inventário mineral do teor e da tonelagem do minério no depósito. Em destaque está o valor de 0,30g/t.

Tabela 26: Classificação das estimativas realizadas por domínio, utilizando filtro de 0,30g/t.

GM_	Classe	Volume m ³	Density g/cm ³	Mass t	Average Value KR g/t	Material Content KR t. oz
Unidade Química	C2	3.234,38	3,20	10.350,00	0,48	160,76
	C3	8.890,63	3,20	28.450,00	0,74	673,48
	C1	593,75	3,20	1.900,00	1,06	64,69
	Total	12.718,75	3,20	40.700,00	0,69	898,93
Unidade Química II	C2	343,75	3,20	1.100,00	0,64	22,67
	C3	468,75	3,20	1.500,00	0,32	15,64
	C1	62,50	3,20	200,00	0,48	3,07
	Total	875,00	3,20	2.800,00	0,46	41,38
X2	C2	200.218,75	2,93	586.640,94	1,00	18.814,40
	C3	347.015,63	2,93	1.016.755,78	0,88	28.860,93
	C1	41.468,75	2,93	121.503,44	1,29	5.039,22
	Total	588.703,13	2,93	1.724.900,16	0,95	52.714,54
Total	C2	203.796,88	2,93	598.090,94	0,99	18.997,83
	C3	356.375,00	2,94	1.046.705,78	0,88	29.550,05
	C1	42.125,00	2,93	123.603,44	1,29	5.106,98
	Total	602.296,88	2,94	1.768.400,16	0,94	53.654,86

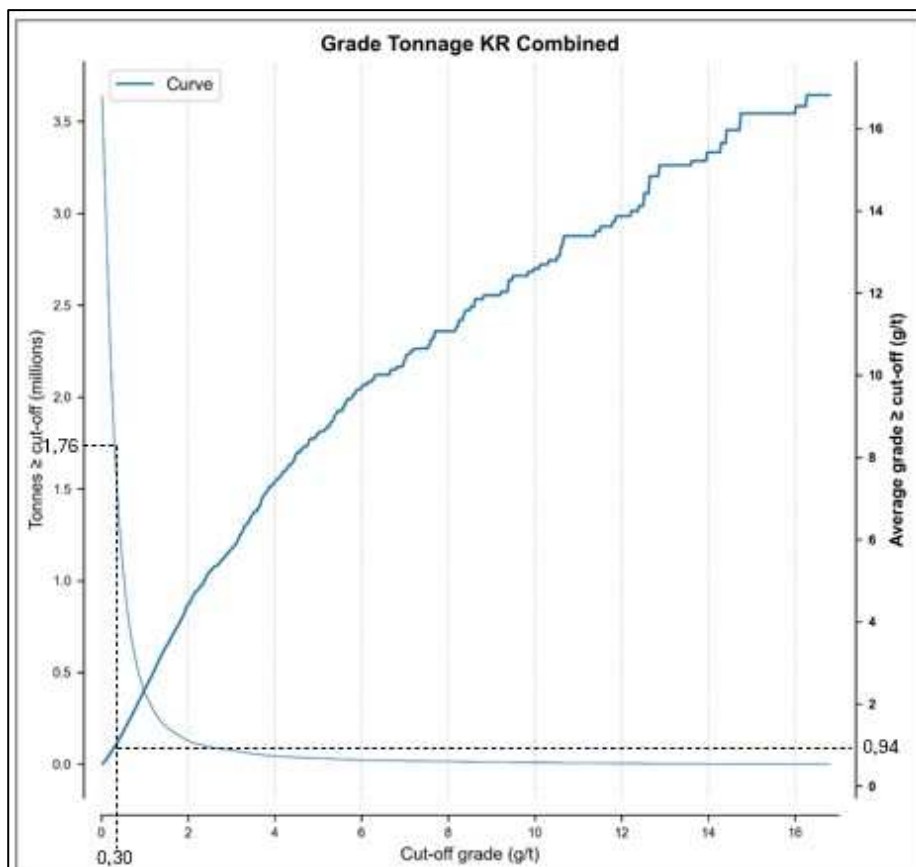


Figura 57: Curva de teor por tonelagem.

8 – DISCUSSÕES

A construção de uma estimativa de recursos de qualidade exige entender os procedimentos de amostragem, manter um programa de QAQC eficaz, descrever e compreender a geologia do depósito, além de realizar uma análise exploratória dos dados. Os parâmetros estatísticos como desvio padrão, variância, mínimo, máximo, média, mediana e quartis permite compreender a distribuição dos teores. Construir histogramas e gráficos de análise univariada e bivariada possibilitam identificar outliers e entender como os teores se comportam. É igualmente importante construir domínios de estimativas coerentes do ponto de vista estatístico e geológico, além de modelar bons variogramas e escolher métodos eficazes de estimativa. Todos os processos citados são de igual importância e influenciam no resultado.

Para o estudo desse depósito alguns problemas foram identificados e que trazem dúvidas as estimativas construídas. Além da baixa quantidade de furos e amostras, a distribuição não uniforme da sondagem acarreta problemas tanto na análise dos dados quanto na construção dos domínios, variogramas e interpoladores. E, por consequência, atrapalha a classificação dos recursos estimados.

As etapas de validação confirmam algumas incertezas encontradas, porém também trazem confiança de que a estimativa realizada possui coerência com os dados de entrada. Do ponto de vista estatístico, as médias estimadas apresentam valores próximos a média desagrupada, o que pode ser considerado um bom sinal da ausência de viés.

Da mesma forma, os gráficos *Swath Plot* mostraram que, de forma geral, as bordas dos três domínios apresentam problemas nas estimativas. Esses problemas estão ligados a menor quantidade de informações de sondagem nessas porções, dificultando a modelagem dos domínios e, com a menor quantidade de amostras, problemas nas estimativas também são esperados.

Outra importante avaliação a ser feita é em relação a geometria dos domínios de estimativa. Todos os domínios foram construídos respeitando critérios geológicos, porém por mais que existam semelhanças geológicas dentro de cada domínio nem todo o volume poderia ser considerado como corpo de minério. Uma abordagem que modelasse com base também nos teores das amostras, poderia produzir domínios de estimativa mais estreitos, correspondendo apenas ao corpo de minério inserido dentro de cada domínio geológico. Dessa forma, teríamos domínios de estimativa mais ajustados, o que diminuiria o volume e a tonelagem, porém aumentariam os teores estimados.

Conforme dito anteriormente, este depósito encontra-se em fase inicial de pesquisa e o corpo se encontra aberto lateralmente e em profundidade, portanto para entender o seu real potencial, novos trabalhos de exploração são necessários. Com novas informações de sondagem a definição dos domínios seria melhor, bem como todo o processo de estimativa, garantindo assim maiores assertividades.

9 – CONCLUSÕES

O depósito estudado e avaliado nesse trabalho, apesar de ser considerado pequeno e com recurso mineral ainda restrito apresenta uma excelente oportunidade para a continuidade dos trabalhos de pesquisa mineral. Trata-se de uma região com geologia favorável, em que afloram rochas consideradas férteis para depósitos de ouro. No Quadrilátero Ferrífero importantes minas em operação possuem suas mineralizações encaixadas em sequências similares as que são encontradas na área em estudo.

Os dados de sondagem ainda são poucos e com espaçamento muito irregular, o que impacta tanto na modelagem dos domínios quanto na realização das estimativas de recursos. Uma estimativa que apresente resultados otimistas e que instiguem novos trabalhos de exploração é de fundamental importância nessa etapa. A validação visual demonstra que a estimativa realizada é aceitável, trazendo consigo a possibilidade de se seguir com os trabalhos de exploração para o completo entendimento do alvo.

Como pôde ser observado ao longo do trabalho, grande parte dos recursos de ouro encontram-se em porções rasas da superfície, com profundidades máximas de mineralização de até 80-100 metros. Essa posição privilegiada permitiria que o minério fosse lavrado em uma operação a céu aberto, representando menores custos. Junta-se a essa possibilidade de operação de baixo custo o alto preço do Au no mercado internacional. A faixa de preço atual tem girado entorno de US\$ 2800, tornando o depósito atrativo não só do ponto de vista geológico, mas também econômico.

Além disso, o depósito em estudo encontra-se em aberto com oportunidade de realização de novos furos de sondagem para ampliação dos recursos em profundidade e lateralmente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALTAZAR, O.F. & ZUCCHETTI, M. (2007). *Lithofacies associations and structural evolution of the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero, Brazil: A review of the setting of gold deposits*. Ore Geology Reviews, 32: 471–499
- CAMPOS, Pedro Henrique Alves. *Apostila de apoio – Geoestatística Aplicada*. 2023. 32p. Geoestatística. UFMG/CEERMIN. Belo Horizonte.
- CAMPOS, Pedro Henrique Alves. *Geoestatística*. 2023. CEERMIN. Belo Horizonte.
- CERRADO GOLD. Technical Report NI 43-101 on the Minera Don Nicolas. Argentina, 2024. Disponível em: <https://www.sedarplus.ca/landingpage/>. Acesso em: 22 de outubro de 2024.
- DEUTSCH, C. V. Declus: a fortran 77 program for determining optimum spatial declustering weights. *Computers & Geosciences*, Elsevier, v. 15, n. 3, p. 325–332, 1989.
- GOLD FILEDS. Technical Report NI 43-101 on the Tarkwa Gold Mine. Ghana, West Africa. Gold Fields, 2021. Disponível em: <https://www.sedarplus.ca/landingpage/>. Acesso em: 22 de outubro de 2024.
- GOOVAERTS, P. (1997). *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. Oxford University.
- LEAPFROG. *Manual Help Function do software Leapfrog*. Disponível em: <https://help.seequent.com/Geo/2024.1/en-GB/Content/intro.htm>. Acesso em outubro 2024.
- LEAPFROG. *Manual Leapfrog Learnings do software Leapfrog*. Disponível em: <https://lms.seequentlearning.com/learner-dashboard>. Acesso em outubro 2024.
- MATHERON, G. Foreword. In: JOURNEL, A. & HUIJBREGTS, CH. *Mining Geostatistics*. London, Academic Press, 1978.
- PERSEUS MINING. Technical Report NI 43-101 on the Edikan Gold Mine. Ghana, West Africa, 2022. Disponível em: <https://www.sedarplus.ca/landingpage/>. Acesso em: 22 de outubro de 2024.
- ROSSI, M. E.; DEUTSCH, C. (2014). *Mineral Resource Estimation*. New York. Springer.
- YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. (2013). *Geoestatística: conceitos e aplicações*. São Paulo. Oficina de Textos.