



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL-MG
Campus Avançado de Poços de Caldas
Rodovia José Aurélio Vilela, nº 11.999 - Cidade Universitária
CEP: 37715-400 - Poços de Caldas/MG



Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), Campus de Poços de Caldas
Curso de Especialização em Engenharia de Mineral (CEEM)

Luciana Santos Pereira

***Grade Control* em minério de Níquel Sulfetado**

Poços de Caldas

2023



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL-MG
Campus Avançado de Poços de Caldas
Rodovia José Aurélio Vilela, nº 11.999 - Cidade Universitária
CEP: 37715-400 - Poços de Caldas/MG



Luciana Santos Pereira

***Grade Control* em minério de Níquel Sulfetado**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado à Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG) como parte dos requisitos para a integralização do curso de Especialização em Engenharia Mineral (CEEM).

Área de concentração: Lavra

Orientador: Prof.(a) Dr.(a) Carolina Del Roveri

Poços de Caldas

2023





Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas
Biblioteca Campus Poços de Caldas

Pereira, Luciana Santos .

Grade Control em minério de Níquel Sulfetado / Luciana Santos Pereira. -
Poços de Caldas, MG, 2023.

38 f. : il. -

Orientador(a): Carolina Del Roveri.

Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Engenharia de
Minas) - Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, MG, 2023.

Bibliografia.

1. Grade Control. 2. Níquel Sulfetado. 3. Mineração. I. Del Roveri,
Carolina, orient. II. Título.

Ficha gerada automaticamente com dados fornecidos pelo autor.





Luciana Santos Pereira

***Grade Control* em minério de Níquel Sulfetado**

A banca examinadora abaixo-assinada aprova o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado à Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG) como parte dos requisitos para a integralização do curso de Especialização em Engenharia Mineral (CEEM).

Área de concentração: Lavra

Aprovada em: [dia] de [mês] de [ano]

Orientador: Carolina Del Roveri

Instituição: Universidade Federal de Alfenas

Assinatura:

Examinador 1: Edmo Cunha Rodvalho

Instituição: Universidade Federal de Alfenas

Assinatura:

Examinador 2: Matheus Fernando Ancelmi

Instituição: Universidade Federal de Alfenas

Assinatura:





AGRADECIMENTOS

Finais de ciclos sempre me causam felicidade e reflexões. Para a conclusão da pós-graduação, não poderia deixar de agradecer às escolas que estudei, os professores que compartilharam seus conhecimentos comigo, meus amigos, minha família e as mulheres que me abriram caminhos, todos foram essenciais e importantes. Quero agradecer especialmente ao Instituto Federal da Bahia, Universidade do Porto, Universidade Federal da Bahia e, principalmente, a Universidade Federal de Alfenas. Sem esses pilares de ensino, todas as conquistas profissionais e acadêmicas não seriam possíveis. Agradeço à minha orientadora Carolina, por todo suporte e apoio durante o processo e aprendizado na pós-graduação.





MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL-MG
Campus Avançado de Poços de Caldas
Rodovia José Aurélio Vilela, nº 11.999 - Cidade Universitária
CEP: 37715-400 - Poços de Caldas/MG



“A menos que modifiquemos nossa maneira
de pensar, não seremos capazes de
resolver os problemas causados pela forma
como nos acostumamos a ver o mundo”
Albert Einstein





LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Localização dos três depósitos de níquel sulfetado que se encontram atualmente em produção no Brasil).....	16
Figura 02: Fluxograma das rotinas do controle de qualidade.....	21
Figura 03: Mapa de amostragem de campo.....	22
Figura 04: Plano de amostragem.....	23
Figura 05: a) Exemplo de como a amostra é quarteada em campo. Pilha proveniente do pó de perfuratriz. b) Registro fotográfico das amostras. c) Quartamento da amostra no até material ser suficiente para análise química.....	23
Figura 06: Exemplo de gráficos de correlação de níquel e enxofre feito com algumas amostras de um polígono de desmonte.....	24
Figura 07: Exemplo de programação de sondagem <i>infill</i>	25
Figura 08: Exemplo de gráfico <i>Scatter plot</i> para análise de duplicatas.....	27
Figura 09: a) Modelo de blocos de um polígono com os teores de NiS e amostras de blast hole. b) O mesmo modelo com as delimitações da litoquímica após interpretação. c) Exemplo simplificado da liberação de lavra.....	28
Figura 10: Ferramenta “Quick Filter” do StudioRM para selecionar os polígonos a serem utilizados para o plano semanal.....	29
Figura 11: Exemplo de tabela resumida da qualidade dos polígonos do plano de alimentação da britagem, na qual devem ser definidas as premissas de massa que serão alimentadas diariamente no período do planejamento.....	30
Figura 12: Tabela com massas e teores dos diferentes tipos de minério disponíveis no pátio de estoque de minério.	30
Figura 13: Aba de alimentação com informação das massas considerando as alimentações planejadas disponíveis para alimentação do britador no blend.....	31



Figura 14: Campo Blend na aba do dia a ser alimentado. Campo indica massas e teores médios para as massas a serem alimentadas.	31
Figura 15: Exemplo das pilhas do ROMPAD.	32
Figura 16: Modelo de reconciliação proativa.....	33
Figura 17: Exemplo de um reporte (KPI) da reconciliação mensal.....	34



LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Total das reservas de níquel em 2008. (DNPM, 2008).....	16
Tabela 2: Produção brasileira de níquel no período de 1997 a 2008. (DNPM, 2008).....	18



LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
UNIFAL-MG	Universidade Federal de Alfenas
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
ROMPAD	Pátio de estoque



RESUMO

Um dos grandes desafios enfrentados pela indústria mineral é a dificuldade em prover à usina de beneficiamento minérios que possuam as especificações de teores adequadas para seu bom desempenho. O grade control é a última oportunidade de tomar uma boa decisão antes que seja tarde demais, através de métodos de controle de qualidade, podendo ser eles: validação de dados, amostragem, acompanhamento e análise de dados de sondagem, estimativa de teor, controle de destinação do minério da mina, reconciliação, interface com equipes de beneficiamento mineral, planejamento e operação de mina, por exemplo. Dessa forma, as decisões de curto prazo nas operações de mina são relacionadas à definição do destino do material, seja para a planta de processamento, para os estoques de baixo/alto teor ou para o depósito de estéril. O controle de teor é uma parte essencial do processo de mineração, porque o metal que está sendo extraído da mina nunca é constante. Os dados de controle de teor devem ser coletados e disponibilizados em tempo hábil para que possam ser integrados no plano de lavra. O objetivo deste trabalho é discriminar metodologias para controle de qualidade. Dessa forma, etapas como amostragem de pó de perfuratriz, sondagem infill, validação de banco de dados, QA/QC, liberação de frente de lavra e reconciliação são essenciais para a caracterização de um depósito de níquel sulfetado. Rotinas do departamento de geologia de curto prazo engloba esses processos diários a fim de entregar teores semelhantes desde o planejamento da mina até a planta de minério, proporcionando previsibilidade da produção de metal.

Palavras-chave: *grade control*, níquel sulfetado.



ABSTRACT

One of the major challenges faced by the mineral industry is the difficulty in providing ore plant processes that have the appropriate grade specifications for good performance. Grade control is the last opportunity to make a good decision before it is too late, through quality control methods, which may be: data validation, sampling, monitoring and analysis of drilling data, grade estimation, control of allocation of mine ore, reconciliation, interface with mineral processing teams, mine planning and operation, for example. Therefore, in mine operations short-term decisions are related to defining the material destination, whether goes to the processing plant, low/high grade stocks or the waste rock deposit. Grade control is an essential part of the mining process because metal being extracted from the mine is never constant. Grade control data must be collected and released as soon as possible that it can be integrated into the mining plan. The objective of this thesis is to discriminate methodologies for quality control. Therefore, steps such as drill dust sampling, infill drilling, database validation, QA/QC, mining front release and reconciliation are essential for the characterization of a sulfide nickel deposit. Routines from the short-term geology department that encompasses these daily processes are useful in order to deliver similar grades from mine planning to the ore plant providing previsibility of metal production.

Keywords: grade control, sulphide nickel.



SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	14
2 OBJETIVO.....	15
2.1 OBJETIVO GERAL	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1 RESERVAS MINERAIS DE NÍQUEL NO BRASIL	15
3.2 PRODUÇÃO MINERAL DE NÍQUEL	18
3.3 <i>GRADE CONTROL</i> NA INDÚSTRIA DA MINERAÇÃO.....	19
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
5.1 AMOSTRAGEM DE <i>BLAST HOLE</i> E SONDAGEM <i>INFILL</i>	22
5.2 BANCO DE DADOS GEOLÓGICO E QA/QC	27
5.3 LIBERAÇÃO E LAVRA SELETIVA.....	28
5.4 <i>BLEND</i> SEMANAL DO MINÉRIO E PLANO DE ESTOQUE.....	30
5.5 RECONCILIAÇÃO.....	33
6 CONCLUSÕES	36
REFERÊNCIAS.....	37



1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O registro geológico do Brasil evidencia ambientes férteis em todo o tempo geológico, do Arqueano ao Holoceno, contendo importantes acumulações de bens minerais, algumas das quais já transformadas em minas (Melfi *et al.* 2016). A descoberta desses materiais de valor comercial é importante para o desenvolvimento da indústria da mineração. Devido a isso, a constante busca da indústria por tecnologia e inovação faz com que o níquel seja alvo de pesquisas devido à sua utilização em diversas ligas, como o aço inoxidável, em galvanização, fundições, catalisadores, baterias e eletrodos, por exemplo. O níquel pode ser encontrado das seguintes formas: em depósitos lateríticos ou de níquel sulfetado. De acordo com König (2021), cerca de 70% da corrente mundial recursos de níquel são derivados de lateritas, enquanto o restante é extraído de minério de níquel sulfetado.

Segundo Andrade *et al.* (2000) o minério de níquel sulfetado possui em sua composição, além do níquel, sulfetos de cobre, cobalto e ferro, assim como alguns metais valiosos (platina, prata e ouro) e enxofre. De acordo com Withney & Naldrett (1989), os depósitos de sulfetos de Ni (Cu-EGP) são considerados como de origem magmática e formados pela segregação e concentração de líquidos imiscíveis de sulfetos a partir de magmas de composição máfica-ultramáfica. Já os lateríticos são formados sob condições tropicais durante o intemperismo das rochas serpentínicas. A mineralogia e teor do minério dependem da litologia e do clima durante a formação do depósito (König, 2021).

Conforme o DNPM (2014), em 2013, o Brasil produziu 13.006.961 t de minério de níquel, somando-se as contribuições dos Estados de Goiás (73,4%), Bahia (21,8%), Pará (4,1%) e Minas Gerais (0,7%). Apesar da importância do minério de níquel para a economia brasileira, a escassez de depósitos de níquel sulfetado no Brasil pode ser creditada a uma série de fatores, dentre eles: (i) a carência de mapas geológicos de detalhe ou em escala adequada; (ii) a ausência de levantamentos básicos de prospecção, envolvendo geofísica, geoquímica, sensoriamento



remoto e outros, e (iii) a deficiência do conhecimento em relação aos processos tectônicos e metalogenéticos que ocorreram nas regiões do precambriano brasileiro (Melfi *et al.* 2016).

Dessa forma, para as mineradoras que concentram sua operação com exportação mundial de níquel, o controle de qualidade desse minério é de suma importância para a vida útil da mina e prosperidade do negócio. Assim, de acordo com Thorton (2009), o controle preciso do teor é fundamental para a economia de qualquer mina. Se o controle do teor não for otimizado, não importa quão bom seja os tratamentos finais, todo o potencial da operação não será efetivo.

Devido a importância de exemplificar controles de qualidade em minério de níquel sulfetado, este trabalho consiste em citar etapas para a caracterização e controle de teor dessa *commodity*.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

Caracterização do controle de teor em minério de níquel sulfetado.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos são mapear dificuldades do controle de qualidade de minério, discriminar metodologias para controle de qualidade, tendo como base dados de sondagem, geoquímica e modelo geológico.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 RESERVAS MINERAIS DE NÍQUEL NO BRASIL

A expressão reserva mineral implica que algum tipo de medição física tenha sido feito do teor e da quantidade de concentração mineral *in situ* e, além disso, que a sua extração seja viável do ponto de vista tecnológico, hoje ou num futuro próximo, e que possa ser realizada com lucro (Zwartendyk 1972 apud Machado 1989).



Segundo Felicíssimo (1968), no Brasil, a primeira menção à ocorrência de minério de níquel foi em 1889, e é referente ao distrito de Jacupiranga, no Estado de São Paulo. A partir de então, outras ocorrências foram mapeadas: Niquelândia (1906) em Goiás, Liberdade (1916) e Morro do Níquel (1922) em Minas Gerais, e Barro Alto (1934) em Goiás. Na segunda metade do século XX, muitos depósitos foram descobertos, através da prospecção sistemática.

O metal níquel é obtido através da exploração dos minérios sulfetados e lateríticos, ambos com reservas e depósitos conhecidos, suficientes a nível mundial, para a exploração por mais de 100 anos (Andrade *et al.* 2000).

De acordo com Naldreddt (2004) os minérios sulfetados são de origem magmática e todos os depósitos de sulfetos magmáticos são espacial e geneticamente relacionados a corpos de rochas máficas ou ultramáficas. Os sulfetos normalmente constituem um pequeno volume da rocha hospedeira, sendo dominados por associações de pirrotita (Fe_7S_8), pentlandita ($[\text{Fe},\text{Ni}]_9\text{S}_8$) e calcopirita (CuFeS_2). A pentlandita é o principal mineral de níquel sulfetado na maioria dos depósitos magmáticos (Southwood, 1984). Os depósitos lateríticos ocorrem mais superficialmente, principalmente na região saprolítica, e são resultantes de processos de lateritização sobre rochas básicas, formando veios ou bolsas de fases cristalinas do tipo garnierita $[(\text{Mg},\text{Ni})_6(\text{Si}_4\text{O}_{10})]$, e/ou outros silicatos hidratados de níquel e magnésio, e podendo ter goethita níquelífera $[(\text{Fe},\text{Ni})\text{O}(\text{OH})]$ associada (Lombard, 1956; Boldt, 1967).

Aproximadamente 37,8% das reservas (medida) nacionais de níquel estão concentradas no estado de Goiás, em 2008 totalizaram 229.713.447 t. No Estado do Pará, somaram 193.895.000 t, com 33,9%; no Piauí no município de São João do Piauí 15,9% alcançando 138.000.000 t, a Bahia, no município de Itagibá, com 10,4% atingindo 94.419.000 t, em Minas Gerais somou 5.292.806 t cerca de 1,60% e no Estado de São Paulo 2.252.000 t, com uma participação de 0,4% sobre o total. (DNPM, 2008).



Tabela 1: Total das reservas de níquel em 2008. (DNPM, 2008).

UF	Minério	Medida Contido	Teor (%)	Indicada	Inferida	Total
GO	229.713.447	3.176.393	2,59	57.879.538	54.274.729	341.867.714
PA	193.895.000	2.830.867	1,4	27.604.273	85.005.000	306.504.273
PI	138.000.000	2.014.800	0,98	6.005.157	137.896	144.143.053
BA	94.419.000	566.514	0,66	-	-	94.419.000
MG	5.292.806	107.231	1,32	5.376.367	3.408.513	14.077.686
SP	2.252.000	32.879	1,39	500.000	1.000.000	3.752.000
Total	663.572.253	8.728.684	1,67	97.365.335	143.826.138	904.763.726

Hoje em dia, apenas três depósitos de níquel sulfetado encontram-se em produção no país: Americano do Brasil, em Goiás; Fortaleza de Minas, em Minas Gerais e o depósito de Santa Rita, na Bahia.

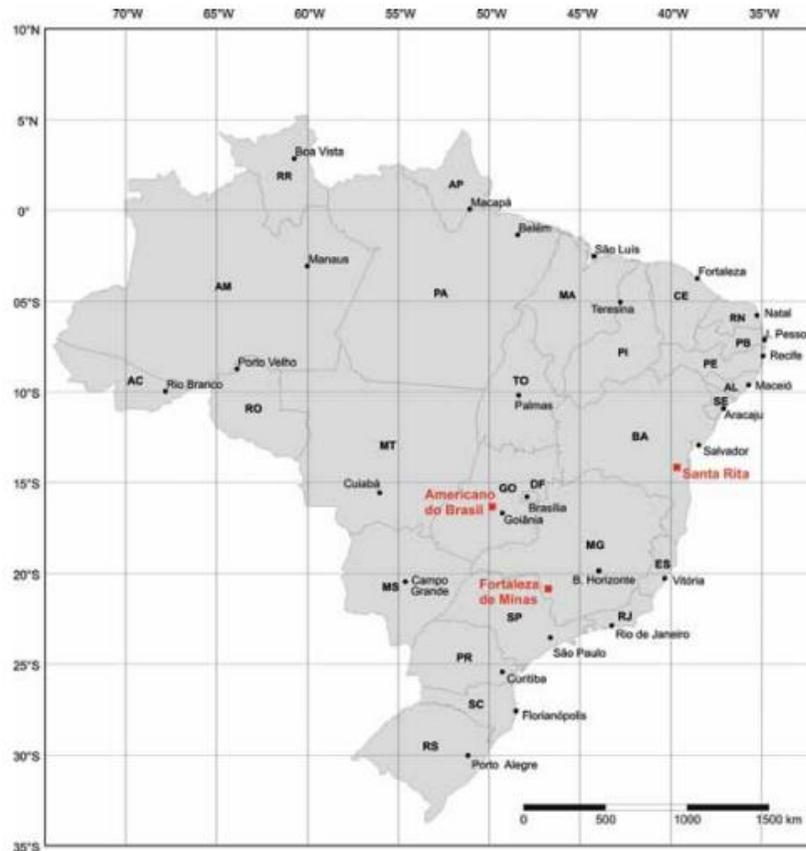


Figura 01: Localização dos três depósitos de níquel sulfetado que se encontram atualmente em produção no Brasil.
Fonte: Melfi et.al. 2016



O depósito de Ni-Cu-Co de Americano do Brasil é marcado por um corpo de minério hospedado por websterio e gabronorito na sequência mais fracionada do complexo máfico-ultramáfico, forma um conjunto de vários corpos irregulares e descontínuos de sulfetos de Ni-Cu disseminados (Melfi *et.al.* 2016).

O Complexo Fazenda Mirabela, localizado em Itagibá-Bahia é caracterizada por um conjunto de vários corpos irregulares e descontínuos de sulfetos de Ni-Cu disseminados. Segundo Bernes *et.al.* (2011), a sulfetação do Complexo Mirabela está associada à mistura de magmas, proveniente de um influxo de magma fracionado sulfetado em um magma primitivo ultramáfico insaturado em sulfetos.

Outro depósito importante é o de Fortaleza de Minas, o qual tem formato tabular e contém três tipos de minérios. O mais importante consiste em minério vulcanogênico maciço e disseminado, seguido por venulações de sulfetos tectonicamente remobilizados e por veios hidrotermais tardios (Melfi *et.al.* 2016).

Portanto, diferentes depósitos com suas respectivas gênese são fundamentais para o crescimento da mineração de Níquel e conseqüente aumento do potencial econômico.

3.2 PRODUÇÃO MINERAL DE NÍQUEL

O Brasil foi o décimo produtor de níquel (contido no minério) com 67.116 toneladas em 2008. A Rússia era a maior produtora com 17,3% do volume total, seguido por Canadá com 15,6%, Indonésia com 13,2% e a Austrália com 11,3%. (DNPM, 2008).



Tabela 2: Produção brasileira de níquel no período de 1997 a 2008. (DNPM, 2008).

ANOS	PRODUÇÃO			
	no Minério	Ni contido na Liga FeNi	no Matte	Ni Eletrolítico
1997	31.936	9.350	1.180	8.849
1998	36.764	8.077	4.670	13.006
1999	43.784	6.502	9.306	16.429
2000	59.209	6.347	8.475	16.906
2001	45.456	5.768	10.183	17.663
2002	44.928	6.011	6.274	17.676
2003	45.160	6.409	5.950	18.155
2004	51.886	6.493	6.708	19.742
2005	74.198	9.596	6.005	20.714
2006	82.492	9.814	5.416	21.339
2007	58.317	9.918	3.401	21.635
2008	67.116	10.244	8.328	18.530
TOTAL	595.790	94.529	75.896	210.644

Dados mais atuais, conforme o DNPM (2014), mostram que em 2012, o Brasil permanecia na sétima posição no ranking mundial dos produtores de níquel, com 139.531 toneladas, ou seja, 6,2% da produção mundial, que foi de 2.266.231 toneladas. No entanto, em 2013, a produção brasileira foi tão somente de 104.829 t (queda de 24,9%), apenas 3,5% da produção mundial, que foi de 2.441.329 t, colocando-o na oitava posição mundial.

Grande parte do níquel produzido é empregada na produção de aço inoxidável, que experimentou crescimento significativo na última década. Também é empregado em outros aços especiais, como na galvanoplastia, alpacas, entre outros (Melfi, *et.al.* 2016).

3.3 GRADE CONTROL NA INDÚSTRIA DA MINERAÇÃO.

A obtenção do conhecimento geológico de uma jazida é uma das etapas mais importantes desenvolvidas em qualquer empreendimento mineral, abrangendo atividades como geofísica,



mapeamento geológico e sondagens rotativas diamantadas, por exemplo (Costa, *et.al.* 2010). Após esses estudos, é importante diferenciar as expressões reserva mineral e recurso geológico.

Recurso consiste na concentração de materiais sólidos, líquidos ou gasosos identificada *in situ*, aflorante ou subterrânea, quantificada exclusivamente com base em dados geocientíficos e um teor de corte geológico, da qual podem ser recuperadas substâncias úteis e valiosas. Este conceito implica numa indicação preliminar de economicidade, ou seja, de perspectivas razoáveis de aproveitamento econômico, a ser comprovado posteriormente. (DNPM, 1992). As reservas fazem parte dos recursos minerais que são viáveis economicamente no momento de sua determinação.

Dessa forma, todos estudos de viabilidade técnica e econômica de um empreendimento de mineração fazem uso do quadro de reservas minerais do depósito. Assim, após a exploração mineral e a operação de mina iniciada, são importantes o detalhamento do corpo mineralizado e o controle do teor dele.

As decisões de curto prazo nas operações de mineração são relacionado à definição do destino do material, seja para a planta de processamento, para os estoques de baixo/alto teor ou para o depósito de estéril. Essas as decisões geralmente são baseadas nas estimativas de controle construídas a partir de informações coletados: amostragem de *blast hole*, sondagem *infill*, por exemplo. (Deutsch *et al.* 2000).

Portanto, as atividades da equipe de *grade control* abrangem diversos métodos de controle de qualidade, podendo ser eles: amostragem, validação de dados, acompanhamento e análise de dados de sondagem, estimativa de teor, controle de destinação do minério da mina, interface com equipes de beneficiamento mineral, planejamento e operação de mina. Dessa forma, como a extração do teor da mina não é um processo contínuo, o controle do mesmo visa identificar as formas de alimentar a planta com o teor planejado.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A etapa inicial consistiu em revisão bibliográfica de artigos científicos, teses, dissertações e monografias. Além disso, foi utilizado o banco de dados geológico e geoquímico fornecidos por



uma mineradora do ramo de níquel sulfetado. Os dados de estimativas, reconciliações e liberação de lavra são reunidos e interpretados com auxílio do software Studio RM. A base de dados geológica utilizada, tanto para interpretação de dados e QA/QC estão reunidos no banco de dados Fusion. Os demais dados estão consolidados no banco de dados geral da mineradora disponibilizados para a realização desse trabalho.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O depósito de níquel sulfetado desse trabalho é caracterizado por mineralizações de níquel associadas às rochas máficas e ultramáficas: dunito, harzburgito e ortopiroxenito. Os minérios sulfetados são de origem magmática e, além do níquel, possuem em sua composição sulfetos de cobre, cobalto e ferro. Os sulfetos normalmente constituem um pequeno volume da rocha hospedeira, sendo dominados por associações de pirrotita (Fe_7S_8), pentlandita ($[\text{Fe},\text{Ni}]_9\text{S}_8$) e calcopirita (CuFeS_2) (Naldredtt, 2004).

O minério disseminado é um desafio para o controle de qualidade, ou seja, não existe um condicionante litológico nem estrutural para a mineralização. Assim, é importante tratar os dados com muita atenção e acompanhar todas as etapas da geologia de curto prazo para o detalhamento do corpo mineralizado.

Para o controle de teor de minério de níquel sulfetado são consideradas diversas etapas, desde aquisição de dados e suas respectivas análises, caracterização e seletividade do material, até sua destinação. Para isso, a equipe de geologia precisa estar em constante interação com as equipes de planejamento de mina, topografia, operação de mina e beneficiamento.

As etapas a serem abordadas nesse trabalho consistem em: amostragem de *blast hole* (furos realizados com perfuratriz), sondagem *infill*, validação do banco de dados geológico, QA/QC (*Quality Assurance vs Quality Control*), interpretação de dados geológicos e geoquímicos, estimativa de curto prazo, liberação de lavra, lavra seletiva, *blend* de minério e plano de estoque, reconciliação. Assim, segue fluxograma (Figura 2) considerando essas etapas:

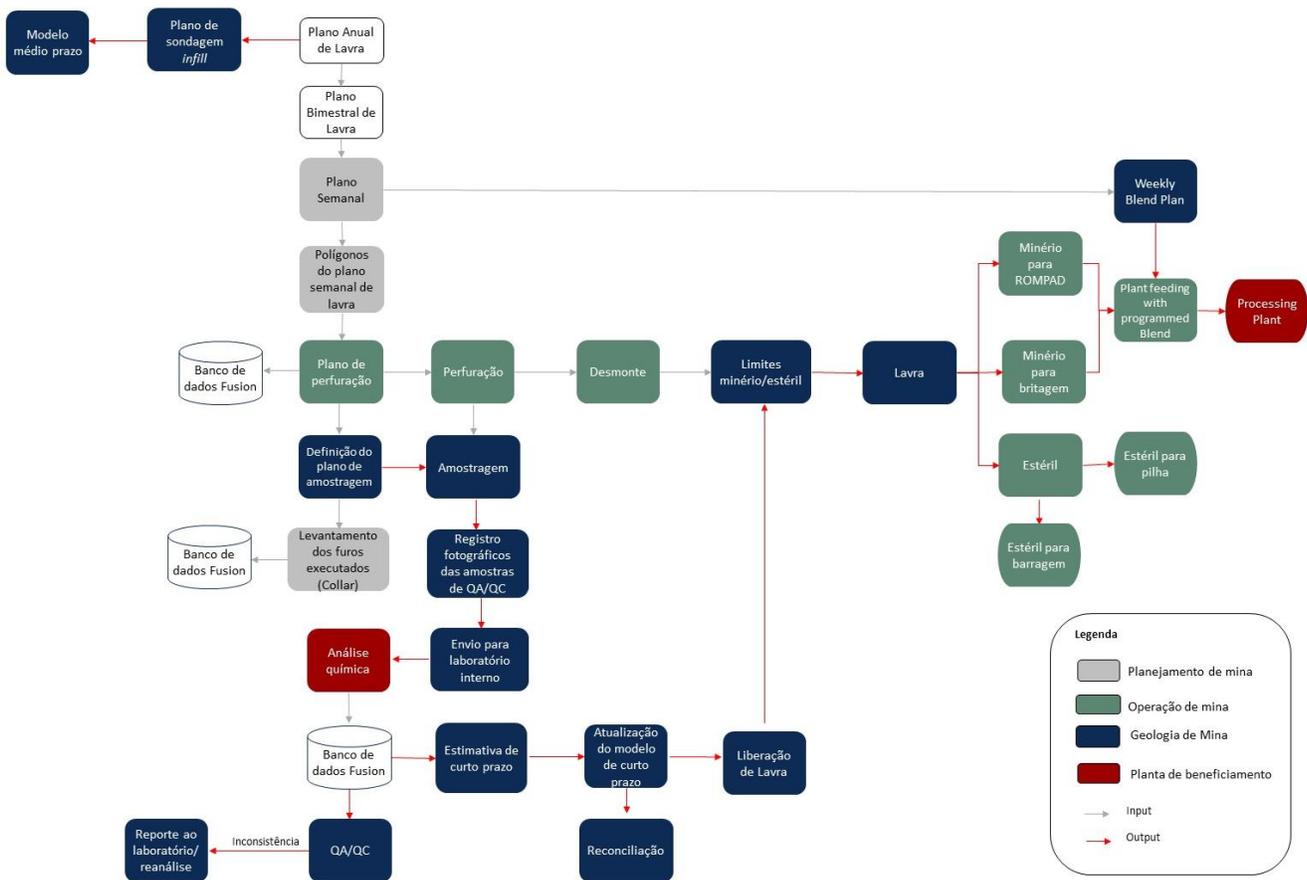


Figura 02: Fluxograma das rotinas do controle de qualidade.

5.1 AMOSTRAGEM DE *BLAST HOLE* E SONDAGEM *INFILL*.

A amostragem deve receber a prioridade correta em uma mineração, e as melhores práticas devem ser aplicadas (Ortiz *et al*, 2012). A amostragem de um material rigorosamente homogênea é uma operação exata, os erros da amostragem são devidos à heterogeneidade da matéria e sua multiplicidade está relacionada com a multiplicidade de formas de que a heterogeneidade pode se revestir. (Valente, 1990).

A amostragem de *blast holes* é feita com o pó das perfuratrizes que é resultado da operação de perfuração e desmorte de rochas com explosivos. As bancadas a céu aberto geralmente têm entre 6 e 15 metros e geralmente são perfuradas por plataformas de detonação ao longo de linhas



paralelas à face livre e em espaçamentos entre 3 m e 10 m, dependendo do grau de intemperismo e tipo de rocha (Annels, 1991).

A bancada de 6 metros é utilizada na mina deste trabalho para o minério de níquel sulfetado e a amostragem de *grade control* é feita baseada no plano de perfuração. O plano de perfuração tem uma malha aproximada de 2,80 x 3,20 metros, já a malha da amostragem é aproximadamente 6 x 6 metros. Assim, é confeccionado um mapa de amostragem para a equipe de campo realizar a coleta, conforme a Figura 03.

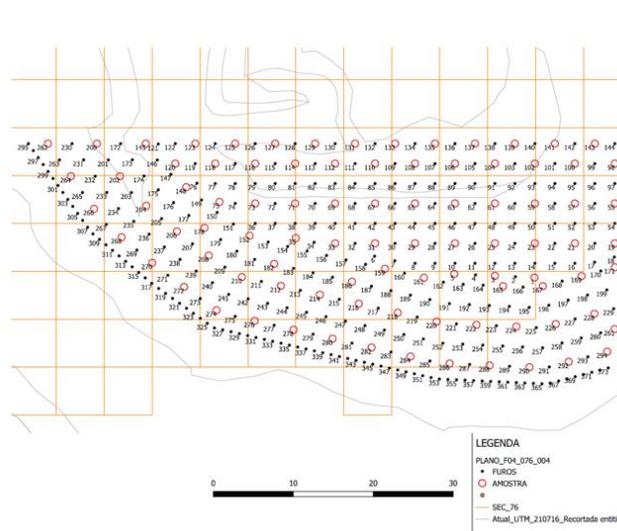


Figura 03: Mapa de amostragem de campo.

Junto ao mapa, também segue o plano de amostragem, o qual discrimina a equipe que coletou a amostra, o plano de fogo (polígono a ser desmontado), horário, e o controle de QC (*Quality Control*), conforme Figura 04.



É importante salientar que, de acordo com Yamamoto (2001), existem alguns erros de amostragem que não podem ser eliminados. O problema do erro de amostragem não termina com a coleta da amostra, ou seja, ele continua a existir através da preparação, subdivisão e análise em laboratório.

A fim de verificar a qualidade das amostras e sua representatividade em um minério disseminado, foram realizados alguns testes na coleta do pó da perfuratriz. Um exemplo de teste foi a comparação entre resultados de um quarto da amostra e o restante do material deixado pela perfuratriz. Assim, foi possível analisar se a amostra coletada tinha correlação com o pó que ficaria sem coleta.

O coeficiente de correlação de Pearson varia entre -1 e 1. O sinal indica a direção da correlação (negativa ou positiva) enquanto o valor indica a magnitude. Quanto mais perto de 1 mais forte é o nível de associação linear entre as variáveis. Quanto mais perto de zero, menor é o nível de associação. Para Dancey e Reidy (2006) valores até 0,30 devem ser considerados fracos, entre 0,40 e 0,60 moderados e acima de 0,70 fortes.

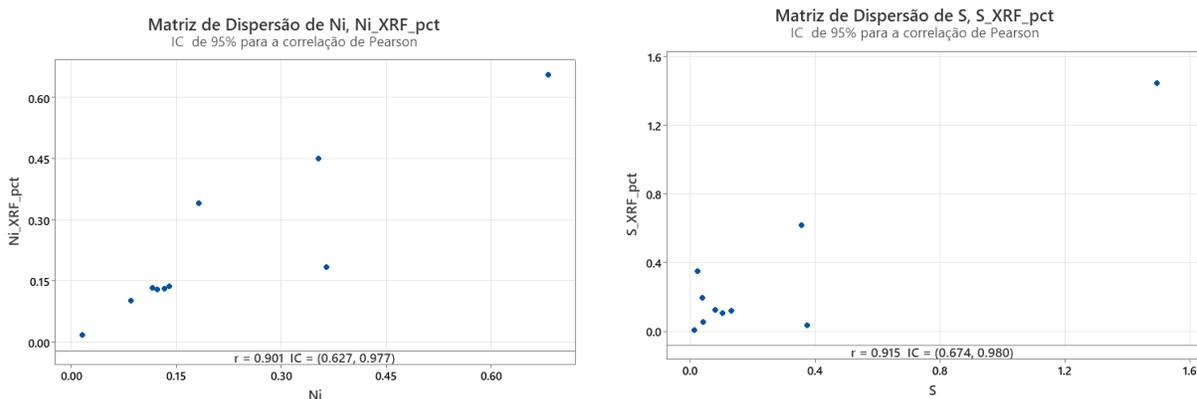


Figura 06: Exemplo de gráficos de correlação de níquel e enxofre feito com algumas amostras de um polígono de desmonte.

Portanto, é importante inserir essas análises no cotidiano da amostragem, a fim de verificar a qualidade das amostras, revisar procedimentos (caso necessário), e discutir os resultados com a equipe técnica.



Além da amostragem de *blast holes* para aferição dos teores dos polígonos a serem detonados no curto prazo, a sondagem *infill* também é utilizada para maior detalhamento do corpo mineralizado. Durante a fase de exploração e avaliação de recursos minerais normalmente há necessidade da realização de mais do que uma campanha de sondagem e, no jargão da mineração, a execução de novos furos de sonda recebe o nome de *infill* (Ramos, 2016).

A sondagem é importante para detalhar o corpo mineralizado, estimar com os novos resultados químicos e assim atualizar o modelo. Com isso, é possível estimar as bancadas para além dos 6 metros de profundidade que o *blast hole* faz, como também, as amostras de sondagem possuem menor risco de contaminação e diluição. Com isso, é possível atualização de áreas da mina meses antes da sua lavra. Salienta-se que, ainda assim, as amostras do pó de perfuratriz são realizadas em paralelo nos polígonos de desmonte. Uma atividade complementa a outra, contribuindo para o conhecimento da equipe de *grade control*.



Figura 07: Exemplo de programação de sondagem *infill*.



5.2 BANCO DE DADOS GEOLÓGICO E QA/QC

O banco de dados geológico é um dos bens mais valiosos para uma empresa. Neste, devem estar armazenados de forma clara os dados históricos e os dados atuais. O armazenamento organizado dos dados é fundamental para próximos usuários entenderem as decisões que foram tomadas no passado, possuindo todos os registros. Existem pessoas na equipe que podem ser intituladas como coletadores dos dados, esses irão coletar os dados, seja no campo, na mina, e podem importar os dados para o banco. Além disso, existem os usuários do banco de dados, que normalmente são a maioria do quadro de geólogos que irão fazer uso do que é exportado do banco. Não menos importante, tem-se o administrador do banco, responsável pela segurança e integridade dos dados.

Dessa forma, o banco de dados em estudo armazena os dados topográficos dos furos (colar, superfícies) executados pela perfuração e desmonte, furos executados pela sondagem *infill*, descrições geológicas, dados de amostragem de pilhas históricas, amostragem de superfície, fotografias, resultados químicos. Para as análises, são considerados os analitos: Ni, S, Co, Cu, MgO, SiO₂, Fe e NiS (níquel sulfetado). Todos esses registros são fundamentais para a caracterização do depósito e classificação minério/estéril.

Através do banco de dados, é possível exportar gráficos, como por exemplo de QA/QC. O QA da sigla está relacionado a prevenção, ou seja, atuar para minimizar as principais fontes de erro; já o QC é a detecção, monitorar os possíveis erros.

As amostras duplicatas, brancas e padrões são essenciais no processo de controle de qualidade. A duplicata de campo é utilizada para medir a precisão e repetitividade dos procedimentos de coleta. O branco é um material estéril introduzido para estudar a contaminação nos processos de preparo de amostras e análises químicas. Os padrões são materiais certificados que são utilizados na inserção do plano de amostragem para medir a exatidão, ou seja, mostra quanto o valor analisado está próximo do valor certificado. Além desses controles, também é realizado mensalmente o *check inter lab* que consiste na comparação dos resultados da mesma amostra em diferentes laboratórios.

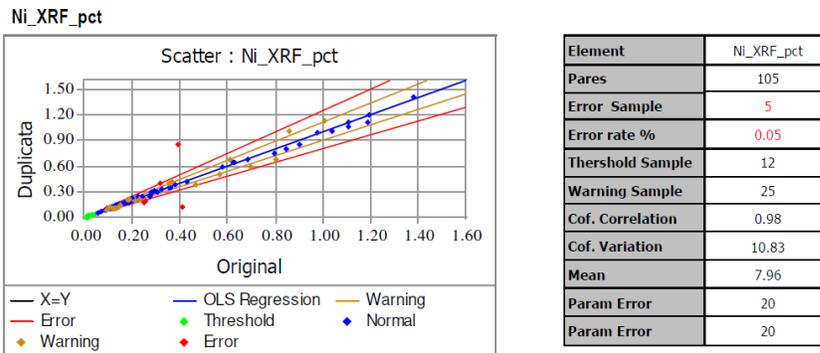


Figura 08: Exemplo de gráfico *Scatter plot* para análise de duplicatas.

5.3 LIBERAÇÃO E LAVRA SELETIVA

A liberação de lavra é uma ferramenta não apenas importante para o controle de qualidade, mas também para equipe de operação de mina, despacho e planejamento. Ela informa o teor e massa do polígono desmontado. Para sua construção é necessário importação dos resultados químicos dos furos executados e levantamento dos seus dados topográficos, posteriormente é realizada a estimativa dos teores desse polígono para sua classificação minério e estéril.

O IPD (*Inverse Power Distance*) é utilizado para realizá-la, no qual o valor estimado é calculado ponderando cada amostra pela potência inversa de sua distância da célula. A potência é definida pelo campo “*power*”, no Studio RM. Todas as amostras contidas no volume de pesquisa são identificadas conforme descrito anteriormente, e são aplicadas restrições ao número mínimo e máximo de amostras, nesse caso, mínimo 3 e máximo 8 amostras. Além disso, tem-se os domínios da cava, dividido entre norte, central e sul. Cada um desses possui seu parâmetro de volume de busca.

Após a estimativa do modelo de blocos do polígono a ser liberado, o modelo irá informar a litologia do bloco: harzburgito ou piroxenito, como também seu teor que irá classificá-lo em piroxenito alto teor, piroxenito baixo teor, harzburgito alto teor, harzburgito baixo teor ou estéril. Para alto teor, é considerado teor de NiS maior que 0.35%, baixo teor é considerado NiS entre 0.11% e 0.35%. A diferença litológica é baseada no teor de MgO, visto que é um elemento



crítico nas rochas da mina como também para a planta de beneficiamento (MgO é um composto iônico considerado deletério no processo da flotação). Para classificação do harzburgito é considerado MgO acima de 29%. Essa classificação é importante para o blend do minério, que será abordado no próximo tópico.

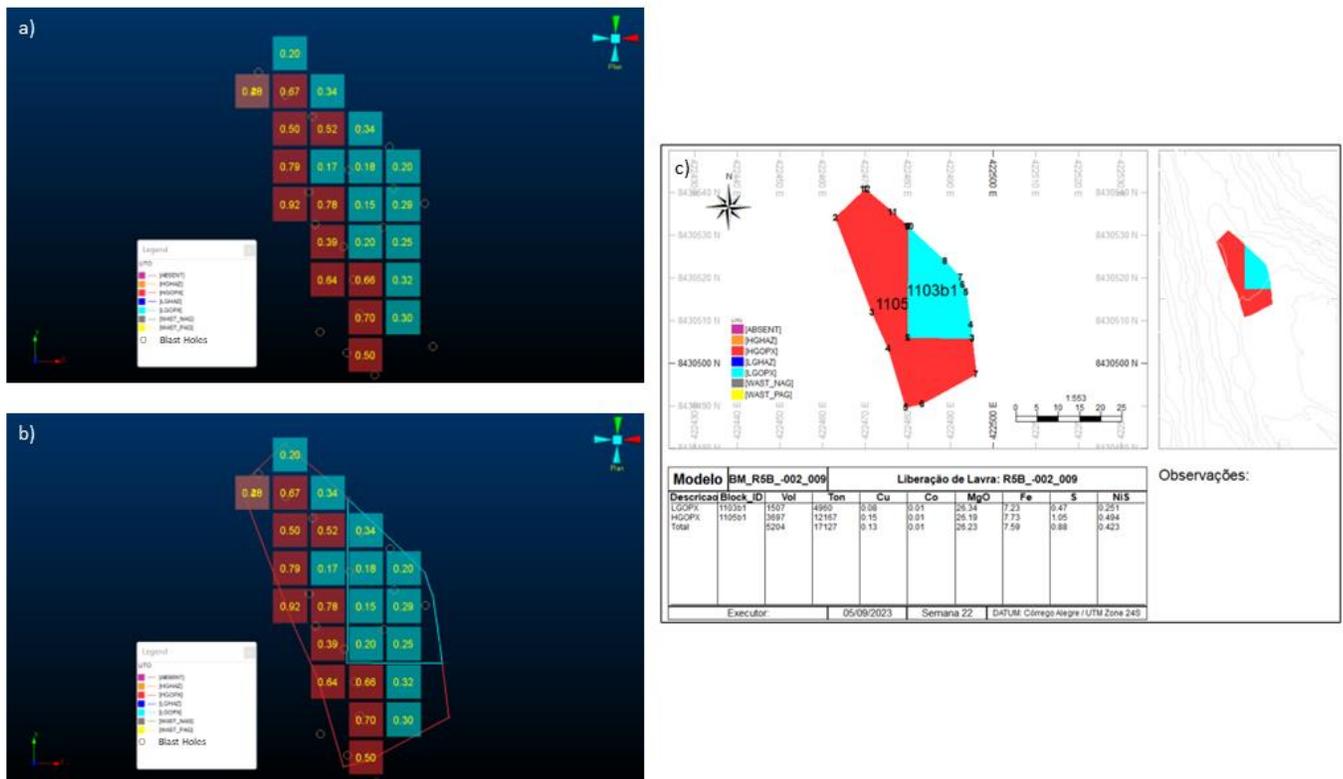


Figura 09: a) Modelo de blocos de um polígono com os teores de NiS e amostras de blast hole. b) O mesmo modelo com as delimitações da litoquímica após interpretação. c) Exemplo simplificado da liberação de lavra.

A liberação de lavra é enviada para as equipes de topografia, operação de mina, despacho e planejamento de mina. Os limites dos polígonos são delimitados em campo com estacas e fitas coloridas, conforme a litoquímica. Dessa forma, o destino do material é feito com base nos dados supracitados, ou alimentação direta para a britagem ou para o estoque do *rompad*, visto que nesse exemplo tem-se apenas minério.



5.4 BLEND SEMANAL DO MINÉRIO E PLANO DE ESTOQUE.

O plano de blend tem como objetivo planejar uma alimentação da britagem que atenda às necessidades de alimentação da planta, correlacionando às informações do planejamento de mina curto prazo com às massas previstas da britagem.

Antes de iniciar o planejamento de blend os seguintes dados deverão ser coletados com as áreas afins: volumes ou massas das pilhas de estoque do ROMPAD indicados por levantamento topográfico. Caso dados estejam desatualizados deverão ser utilizadas as massas indicadas pelo sistema da sala de controle da mina, despacho; plano de produção da britagem emitido pela equipe da planta, indicando a previsão da massa a ser britada para o período de 1 (uma) semana, com suas respectivas manutenções; plano semanal emitido pelo planejamento de mina, assim como massas programadas pelo sequenciamento e sólidos para cubagem; modelo de blocos utilizado para a confecção do plano semanal do mesmo período.

Após a cubagem (relação entre o volume e a densidade da carga a ser transportada. Esta deverá ser informada como massa em toneladas), a qualidade de cada polígono é levada em consideração para utilizá-lo na alimentação direta da britagem ou para o estoque de minério.

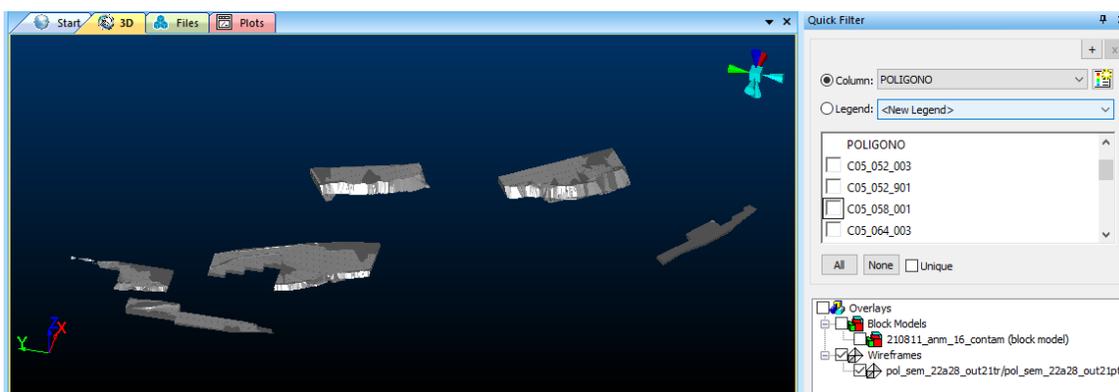


Figura 10: Ferramenta “Quick Filter” do StudioRM para selecionar os polígonos a serem utilizados para o plano semanal



Com os sólidos do plano semanal cubados, os dados são importados para uma planilha. Além disso, deve-se importar as massas e teores presentes nas pilhas de minério.

#	ORIGEM	POLÍGONO	COD.MIN.	BLOCO	CATEGORY	BLOCKID	DENSITY	TONNES	VOLUME	PHASE	SECTOR	CLASS	NIT (%)	NIS (%)	CU (%)	CO (%)	PDD	PTD	MGO (%)
1	MINA	C04_076_908	PX_LG	PX Baixo Teor	[LGOPX]	-	3.291	2 869	872	4	205	2	0.26	0.21	0.08	0.01	0.05	0.07	17.33
2	MINA	C05_052_003	HRZ_HG	HZ Alto Teor	[HGHAZ]	-	3.145	19 732	6 274	6	208	2	0.59	0.46	0.17	0.01	0.05	0.13	32.65
3	MINA	C05_052_003	PX_HG	PX Alto Teor	[HGOPX]	-	3.129	4 532	1 449	6	208	2	0.54	0.42	0.16	0.01	0.04	0.12	26.63
4	MINA	C05_052_003	HRZ_LG	HZ Baixo Teor	[LGHAZ]	-	3.078	7 446	2 419	6	208	2	0.40	0.26	0.10	0.01	0.02	0.05	33.69
5	MINA	C05_052_003	PX_LG	PX Baixo Teor	[LGOPX]	-	3.117	8 583	2 754	6	208	2	0.37	0.27	0.11	0.01	0.02	0.07	24.80
6	MINA	C05_052_901	HRZ_LG	HZ Baixo Teor	[LGHAZ]	-	3.010	5 289	1 757	5	208	2	0.38	0.22	0.08	0.01	0.02	0.05	33.30
7	MINA	C05_052_901	PX_LG	PX Baixo Teor	[LGOPX]	-	2.977	1 261	423	5	208	2	0.27	0.16	0.04	0.01	0.02	0.05	25.16
8	MINA	C05_058_001	HRZ_HG	HZ Alto Teor	[HGHAZ]	-	3.169	3 992	1 260	6	208	2	0.60	0.52	0.17	0.02	0.02	0.03	31.98
9	MINA	C05_058_001	PX_HG	PX Alto Teor	[HGOPX]	-	3.215	8 546	2 658	6	209	2	0.57	0.48	0.15	0.01	0.01	0.01	25.34
10	MINA	C05_058_001	HRZ_LG	HZ Baixo Teor	[LGHAZ]	-	3.164	332	105	-	209	2	0.46	0.34	0.13	0.01	0.01	0.03	30.74
11	MINA	C05_058_001	PX_LG	PX Baixo Teor	[LGOPX]	-	3.164	2 065	653	5	208	2	0.30	0.25	0.08	0.01	0.01	0.01	19.28
12	MINA	C05_064_003	PX_HG	PX Alto Teor	[HGOPX]	-	3.231	4 738	1 466	6	203	2	0.48	0.43	0.12	0.01	0.01	0.05	22.57
13	MINA	C05_064_003	PX_LG	PX Baixo Teor	[LGOPX]	-	3.262	4 306	1 320	6	203	2	0.40	0.28	0.11	0.01	0.01	0.02	20.09
14	MINA	F03_034_807	PX_HG	PX Alto Teor	[HGOPX]	-	3.291	2 018	613	3	207	2	0.44	0.36	0.11	0.01	0.03	0.07	23.37
15	MINA	F03_034_807	PX_LG	PX Baixo Teor	[LGOPX]	-	3.290	6 245	1 898	3	207	2	0.34	0.27	0.09	0.01	0.02	0.05	22.34
16	MINA	F03_034_901	PX_HG	PX Alto Teor	[HGOPX]	-	3.291	2 442	742	3	207	2	0.52	0.40	0.13	0.01	0.03	0.07	25.09
17	MINA	F03_034_901	PX_LG	PX Baixo Teor	[LGOPX]	-	3.289	12 451	3 785	3	207	2	0.38	0.28	0.09	0.01	0.03	0.07	25.25
18	MINA	F03_034_902	PX_HG	PX Alto Teor	[HGOPX]	-	3.290	7 122	2 165	3	207	2	0.47	0.38	0.11	0.01	0.07	0.11	25.55
19	MINA	F03_034_902	PX_LG	PX Baixo Teor	[LGOPX]	-	3.288	3 192	971	3	207	2	0.34	0.28	0.08	0.01	0.06	0.08	21.91
20	MINA	F03_034_906	PX_HG	PX Alto Teor	[HGOPX]	-	3.291	10 994	3 341	3	207	2	0.51	0.39	0.13	0.01	0.03	0.06	24.48
21	MINA	F03_034_906	PX_LG	PX Baixo Teor	[LGOPX]	-	3.291	2 684	816	4	207	2	0.43	0.33	0.12	0.01	0.03	0.07	25.00
22	MINA	F05_070_008	PX_HG	PX Alto Teor	[HGOPX]	-	3.291	693	210	5	204	2	0.49	0.35	0.19	0.01	0.00	0.00	21.36
23	MINA	F05_070_008	HRZ_LG	HZ Baixo Teor	[LGHAZ]	-	3.291	673	204	5	204	2	0.28	0.18	0.08	0.01	0.00	0.00	29.16
24	MINA	F05_070_008	PX_LG	PX Baixo Teor	[LGOPX]	-	3.291	8 853	2 690	5	204	2	0.35	0.21	0.12	0.01	0.00	0.00	21.65
25	MINA	F05_070_107	PX_LG	PX Baixo Teor	[LGOPX]	-	3.291	20 202	6 139	5	204	2	0.30	0.17	0.08	0.01	0.00	0.00	23.05

Figura 11: Exemplo de tabela resumida da qualidade dos polígonos do plano de alimentação da britagem, na qual devem ser definidas as premissas de massa que serão alimentadas diariamente no período do planejamento.

Destino	NI	CU	CO	MGO	FE	S	NIS	Ton
PILHA 1 PX BAIXO	0.310	0.180	0.040	24.200	7.010	0.510	0.230	74 709.00
PILHA 2 PX ALTO	0.540	0.100	0.030	24.000	8.710	0.880	0.450	10.00
PILHA 3 HZ ALTO	0.510	0.110	0.000	31.480	10.160	0.930	0.450	7 984.00
PILHA 4 HZ BAIXO	0.350	0.090	0.040	32.890	8.660	0.440	0.220	48 123.00
PILHA 5 BLOCOS PX BAIXO	0.320	0.090	0.030	24.180	8.320	0.470	0.200	-
PILHA 6 BLOCOS PX ALTO	0.640	0.230	0.090	27.130	8.570	0.980	0.550	-
PILHA 7 BLOCOS HZ ALTO	0.600	0.110	1.320	29.840	9.250	0.870	0.420	-
PILHA 8 BLOCOS HZ BAIXO	0.350	0.090	0.040	31.860	8.660	0.440	0.240	-

Figura 12: Tabela com massas e teores dos diferentes tipos de minério disponíveis no pátio de estoque de minério.



A próxima etapa consiste no preenchimento diarizado das massas que irão ser lavradas. O preenchimento deverá ser realizado conforme o plano de alimentação fornecido pelo planejamento de mina de curto prazo. O campo “PLANEJADO” deverá informar as massas do plano semanal. No campo “PASSANTE” deverá ser informada a massa prevista de material passante prevista para cada frente de lavra. O Campo “DF BRITADOR” deverá ser preenchido com a proporção de horas previstas de operação do britador, em relação às horas paradas de manutenção. Este dado deverá ser obtido no planejamento de horas da britagem. Após o preenchimento dos teores proveniente das frentes de lavra, deverá ser estimado as massas necessárias das pilhas para atender às especificações do blend.

PLANO DE ALIMENTAÇÃO							
NIS (%)	NIREC (%)	NI (t)	PLANEJADO	PASSANTE	DF Britador	MASSA (t)	ORIGEM
0.23	0.16	118.8	4719			4,719	PILHA 1 PX B
0.45	0.36	0.0					PILHA 2 PX A
0.45	0.30	24.2	2510			2,510	PILHA 3 HZ A
0.22	0.15	71.0					PILHA 4 HZ B
0.20	0.16						PILHA 5 BLOCOS P
0.55	0.43						PILHA 6 BLOCOS F
0.42	0.37						PILHA 7 BLOCOS I
0.24	0.15						PILHA 8 BLOCOS H
0.20	0.13	5.8					Contaminado 1 - PX
0.39	0.32						Contaminado 2 - PX
0.24	0.16	15.8	2104			2,104	CONSESA_1_PX
0.39	0.31						CONSESA_2_PX
0.21	0.16	4.5	1731	70%	75%	909	C04_076_9R
0.46	0.34	67.2	2043	70%	75%	1,073	C05_052_0R
0.42	0.32	14.5	2122	70%	75%	1,114	C05_052_0R
0.26	0.18	13.1					C05_052_0R
0.27	0.20	17.0	1204	70%	75%	632	C05_052_0R

Figura 13: Aba de alimentação com informação das massas considerando as alimentações planejadas disponíveis para alimentação do britador no blend.

BLEND														
Massa e teores		MASSA (t)	NIT (%)	CU (%)	CO (%)	MGO (%)	FE (%)	S (%)	NIS (%)	NIREC (%)	NI (t)			
		16 733	0.400	0.123	0.022	26.165	8.018	0.574	0.300	0.217	36.4			
Proporções		COD.MIN.	PROP.	MASSA (t)	Origem	PÁTIO	54%	9 000	t	Teor	LG	59%	9 900	t
		PRX	LG	54%	9 000	MINA	46%	7 733	t		HG	52%	8 638	t
		HRZ	LG	5%	900									
		PRX	HG	29%	4 833									
		HRZ	HG	12%	2 000	Utilologia	PRX	83%	13 833	t				
							HRZ	17%	2 900	t				

Figura 14: Campo Blend na aba do dia a ser alimentado. Campo indica massas e teores médios para as massas a serem alimentadas.



Após essas etapas, a equipe de *grade control* é responsável pela alimentação da planta com base nos teores fornecidos, bem como a proporção de litologias: piroxenito e/ou harzburgito previsto. A pilha de estoque é subdividida de acordo com as litologias, exemplo: pilha 1 (piroxenito baixo teor), pilha 2 (piroxenito alto teor), pilha 3 (harzburgito alto teor), pilha 4 (harzburgito baixo teor). As demais pilhas são reservadas para materiais que ainda não atendem as especificações da britagem.

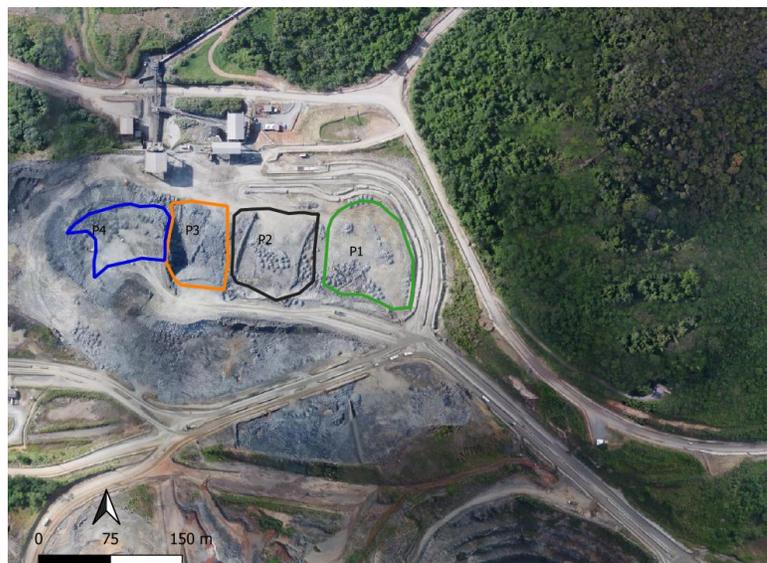


Figura 15: Exemplo das pilhas do ROMPAD.

5.5 RECONCILIAÇÃO

A reconciliação é uma atividade desenvolvida na maior parte das empresas de mineração e pode ser definida como a comparação entre uma estimativa e uma medição (Chierregati, et.al. 2008). Segundo Holtham et.al. (2005) a reconciliação compara o que foi alcançado com o que esperava que fosse alcançado para que os processos de planejamento e produção possam ser continuamente refinados e melhorados. Novos trabalhos estão sendo abordados sobre uma

prática dominada reconciliação pró-ativa, a qual segundo Chierigati et.al. (2008) consiste em identificar as causas das variâncias observadas e modificar, caso necessário, as metodologias de coleta de dados e os processos, e não aplicar fatores como o *mine call fator* (MCF) de maneira reativa. O MCF é a razão entre o teor do metal contido produzido e o teor estimado no modelo de recursos.

Um modelo interessante de reconciliação abordado por Chierigati et. al. (2019) consiste em utilizar indicadores: MI (Indicador de Modelo), PI (Indicador de Planejamento), OI (Indicador de Operação), MR (Reconciliação de Mina) e PR (Reconciliação de Planta), além do conhecido MCF.

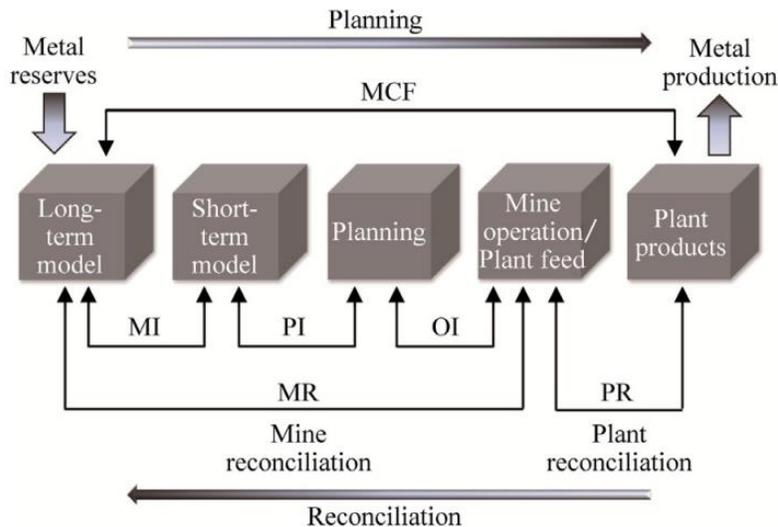


Figura 16: Modelo de reconciliação proativa.
Fonte: Chierigati et. al. (2019).

O MI é a aderência entre os modelos geológicos. PI consiste na diluição planejada. OI também pode ser chamada de diluição operacional. PR é a reconciliação com o que foi indicado que alimentou a planta e o que a planta produziu. O MR relaciona o que foi planejado de alimentar a planta e o que foi realmente alimentado na planta, também chamado de “*mine-to-mill reconciliation*”.



Para minério de níquel sulfetado, é monitorado com atenção nas reconciliações o níquel contido e o enxofre. A reconciliação é feita de forma semanal, avaliando-se cada polígono de desmonte comparando-o com o estimado no modelo de longo prazo, curto prazo, com o que foi lavrado. Essa é uma maneira de monitorar cada frente de lavra e ter uma previsão se os teores estão correspondendo ao plano da semana e do mês.

Além disso, é feita a reconciliação mensal. Essa consiste em utilizar o sólido da diferença topográfica do final do mês e início do mês e comparar o resultado do modelo de longo prazo, curto prazo, com o planejado e o que foi lavrado como minério pelo despacho de mina. Essa reconciliação é feita por fase da mina, o que é importante para mapear em quais regiões da cava têm maior ou menor conversão de minério e diluição operacional. Além da reconciliação mensal, também é realizada a reconciliação com o teor da planta, na qual é feito um levantamento da massa e teor de alimentação direta com o que foi para o estoque e posteriormente para a britagem.

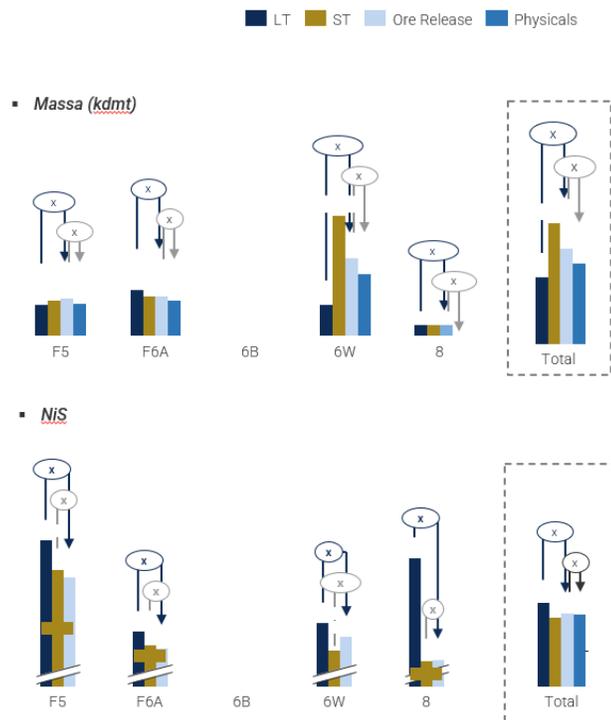


Figura 17: Exemplo de um reporte (KPI) da reconciliação mensal.



6 CONCLUSÕES

Este trabalho proporcionou correlacionar as etapas importantes do controle de qualidade de minério com o exemplo do realizado em uma mina de níquel sulfetado. Desde as etapas de amostragem e banco de dados, até a final com a reconciliação, foi evidenciado a importância de uma sinergia entre as equipes de geologia, planejamento de mina, topografia, operação de mina e planta de beneficiamento para o sucesso do projeto.

Portanto, fica evidente a importância dessa integração da cadeia de valor com os processos bem definidos que englobem entregas e recebimentos das áreas. Assim, ocorre um ganho no padrão de qualidade e da compreensão dos dados.

Os desafios para quem trabalha com o controle de qualidade são inúmeros: detalhar o corpo mineralizado, registrar os dados de maneira organizada, estar sempre acompanhando os resultados na planta e buscar mais informação com sondagens, mapeamentos, descrição de testemunhos, por exemplo. Quando tem-se um fluxo bem definido das atividades e etapas a serem realizadas, o seu exercício e sucesso fica mais claro e tangível.

É primordial as campanhas de sondagem *infill* como também a reconciliação por frente de lavra para entender onde o depósito possui minério com melhor teor. Assim, tem-se uma melhor definição do plano de lavra. Além disso, o controle dos elementos como S e MgO são importantes para o beneficiamento deste minério, visto que o S conduz a proporção de níquel que é sulfetado, e não silicatado; já o MgO é um elemento condicionante para o beneficiamento.

É recomendado um estudo mais detalhado correlacionando ensaios geometalúrgicos com o material do depósito. Dessa forma, o plano de lavra pode considerar como os materiais da mina irão responder na planta de beneficiamento, garantindo uma melhor estratégia para o plano de lavra.

Finalmente, este trabalho apresentou uma caracterização das etapas principais do *grade control*, as quais podem ser aplicadas para outras *commodities* e sempre devem estar melhorando.



REFERÊNCIAS

- Andrade, M.L.A.; Cunha L.M.S.; Gandra, G.T.; Ribeiro, C.C. **Níquel – Novos parâmetros de Desenvolvimento**. Banco Nacional de Desenvolvimento. 2000.
- Annels, A.E. **Grade Control**. Mineral Deposit Evaluation. 1991.
- Bernes, S.J., Osborne, G.A., Cook, D., Bernes, L., Maier W.D., Godel, B. 2011. **The Santa Rita Nickel Sulfide Deposit in the Faenda Mirabela Intrusion, Bahia, Brasil: Geology Sulfide, Geochemistry, and Genis**. Society of Economic Geologists, Inc. Economic Geology, v106, pp.1083-1110.
- BOLDT, J.R. Jr. **The winning of nickel**. Longmans Canadá Ltd, Toronto. 1967. 487 p.
- Chierigati, A. C., Delboni, H., Costa, J. F. C. L., Carneiro, F. B. **Reconciliação pró-ativa em empreendimentos mineiros**. R. Esc. Minas, Ouro Preto. Brasil. 2008.
- Chierigati, A. C., Pignatari, L. E. C., Pitard, F. F., Delboni, H. Proactive Reconciliation as a tool for integrating mining and milling operations. International Journal of Mining Science and Technology. 2019.
- Costa, J.F.C., Sant'Agostino L.M., Tomi, G., Junior, A.F. **O impacto do tipo de amostragem no controle de qualidade na lavra**. R. Esc. Minas, Ouro Preto. Brasil. 2010.
- DANCEY, C.; REIDY, J. (2006), **Estatística Sem Matemática para Psicologia: Usando SPSS para Windows**. Porto Alegre, Artmed
- DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL - DNPM. **Níquel - Sumário Mineral 2014**. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/niquelsumario-mineral-2014/view> > 2014. Acesso em 15 de junho de 2023.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL -DNPM, 1992. **Bases técnicas de um sistema de quantificação do patrimônio mineral brasileiro**. Brasília, DNPM. 28p. (Relatório do Grupo de Trabalho, Portaria nº 03 de 24/10/90, da Secretaria Nacional de Minas e Metalurgia).
- DEUTSCH, C.V., MAGRI E., and NORRENA, K. 2000. Optimal grade control using geostatistics and economics: methodology and examples. **SME Transactions**, vol. 308, February 2000. pp 43–52.
- Felicíssimo JR., J. **Distritos ultrabásicos-alcálicos da bacia tectônica do Baixo Ribeira e seus aspectos econômicos, SP**. Boletim SICEG, Ouro Preto. Brasil. 1968.



Holtham P, Scott A, Sanders D. Measurement and reconciliation of the coal production chain. In: **An introduction to metal balance and reconciliation**. Indooroopilly. p. 517–68. (2005).

König, U. **Nickel Laterites—Mineralogical Monitoring for Grade Definition and Process Optimization**. Minerals 2021, 11, 1178.

LOMBARD, J. **Sur La géochimie et les gisements du nickel**. Chronique des mines d'Outre-Mer-Paris.1956. nº 244, 20 p.

MACHADO, I. **Recursos minerais-Política e sociedade**. São Paulo, Edgard Blücher. 410p. (1989)

Melfi, A.J.; Misi, A.; Campos, D. A.; Cordani, U. G. **Recursos Minerais no Brasil: problemas e desafios**. Rio de Janeiro. Academia Brasileira de Ciências. (2016).

Neldrett, A.J., 2004. **Magmatic sulfide deposits: Geology, geochemistry and exploration**. Heidelberg. Berlin. Springer Verlag. 728p.

Ortiz, J.M., Magri, E.J., Líbano, R., Improving financial returns from mining through geostatistical simulation and the optimized advance drilling grid at El Tesoro Copper Mine. **The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy**. 2012.

Ramos, G.Z., **Otimização do infill para redução das incertezas em um depósito sintético de Cobre**. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo. 2016.

Southwood, M.J.; **The Influence of Mineralogical Parameters on the Leachability of Low Grade Nickel Sulphide Ores**. Transactions of the Geological Society of South Africa. 1984.

Thorton, D.; **The Implications of Blast-Induced Movement to Grade Control**. Seventh International Mining Geology Conference. Perth, WA. (2009).

Valente, J.M.G.P. Amostragem de minérios para análise de elementos “baixos teores”. In: **Simpósio EPUSP de caracterização tecnológica na engenharia e indústria mineral**. São Paulo. 1990. Anais. São Paulo. EPUSP, 1990. p.101-123.

Whitney, J.A.; and Naldrett, A.J. Ore deposits associates with magmas. Society of Economic Geology. **Reviews in Economic Geology**, vol.4, 250p. (1989).

YAMAMOTO, J.K. **Avaliação e classificação de reservas minerais**. São Paulo: Edusp, 2001. 226 P.