UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

ESCOLA DE MINAS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS

GUILHERME GOUVEIA CORDEIRO

CONTROLE DE PILHAS DE ALIMENTAÇÃO DE USINA VIA SISTEMA DE GPS DE ALTA PRECISÃO COM O BANCO DE DADOS DO MODELO GEOLÓGICO.

OURO PRETO

2017

GUILHERME GOUVEIA CORDEIRO

CONTROLE DE PILHAS DE ALIMENTAÇÃO DE USINA VIA SISTEMA DE GPS DE ALTA PRECISÃO COM O BANCO DE DADOS DO MODELO GEOLÓGICO.

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Minas.

Área de concentração: Operação de Minas/Planejamento de Lavra.

Orientador: Prof. Dr. Ivo Eyer Cabral

OURO PRETO

2017

C794c Cordeiro, Guilherme Gouveia.
Controle de pilhas de alimentação de usina via sistema de GPS de alta precisão com o banco de dados do modelo geológico. [manuscrito] / Guilherme Gouveia Cordeiro. - 2017.

xii,30f.: il.: color; grafs; tabs; mapas.

Orientador: Prof. Dr. Ivo Eyer Cabral.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia de Minas.

1. Planejamento de Lavra. 2. Modelo de Blocos. 3. Pilhas. I. Cabral, Ivo Eyer. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Titulo.

CDU: 622.1:624.13

Catalogação: ficha@sisbin.ufop.br

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas - Departamento de Engenharia de Minas

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos 28 dias do mês de agosto de 2017, às 10horas, no auditório do Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas - DEMIN/EM, foi realizada a defesa do Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia de Minas requisito da disciplina MIN-491 – Trabalho de Conclusão de Curso II, intitulado ***"CONTROLE DE PILHAS DE ALIMENTAÇÃO DE USINA VIA SISTEMA DE GPS DE ALTA PRECISÃO COM O BANCO DE DADOS DO MODELO GEOLÓGICO"***, pelo aluno **Guilherme Gouveia Cordeiro,** sendo a comissão avaliadora formada por **Prof. Dr. Ivo Eyer Cabral (orientador), Prof. Dr. Wilson trigueiro de Sousa e Prof. Dr Carlos Enrique Arroyo Ortiz.**

Após arguição sobre o trabalho, a comissão avaliadora deliberou por unanimidade pela aprovação do candidato, com a nota 10,0 concedendo-lhe o prazo de 15 dias para incorporar no texto final da monografia as alterações determinadas/sugeridas pela banca.

O aluno fará jus aos créditos e conceito de aprovação na disciplina MIN-491 – Trabalho de Conclusão de Curso II após a entrega dos exemplares definitivos (Cd e cópia impressa) da versão final da monografia defendida, conforme modelo do CEMIN-2009, no Colegiado do Curso de Engenharia de Minas – CEMIN.

Para fins de registro, foi lavrada a presente ata que, depois de lida e aprovada é assinada pelos membros da comissão avaliadora e pelo discente.

Ouro Preto, 28 de agosto de 2017.

Prof. Dr. Ivo Eyer Cabral
Presidente da Comissão Avaliadora e Professor Orientador

Prof. Dr. Wilson trigueiro de Sousa
Membro da Comissão Avaliadora

Prof. Dr. Carlos Enrique Arroyo Ortiz
Membro da Comissão Avaliadora

Guilherme Gouveia Cordeiro

Prof. Ms.C. José Fernando Miranda
Professor responsável pela Disciplina Min 491 – Trabalho de Conclusão de Curso

"O caminho da virtude não admite pausas: Quem não progride, retrocede. "

Mary Ward

DEDICATÓRIA

A Deus,

A família.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me guia.

Aos conselhos, ensinamentos e suporte de minha família que cravaram as raízes de minha ética e proporcionaram minha vinda para a universidade.

Aos professores e funcionários do DEMIN (Departamento de Engenharia de Minas) da Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP, pelo suporte e paticipacao em minha formação acadêmica.

A Vale, em nome de Marcelo Loli, Lucas Soares, Antonio Amorim e a gerencia de operações de mina pela oportunidade de crescimento profissional, pessoal e realização desta monografia.

A CAPES e ao CAINT por me proporcionarem um ambiente de desenvolvimento impar no exterior.

Aos mestres da SIUC (Southern Illinois University of Carbondale) pelos ensinamentos valiosos e exemplo de comportamento profissional, em especial ao Dr. Manoj K. Mohanty, Dr. Bradley C. Paul, Dr. Satya Harpalani e Dr. Yoginder P. Chugh.

A fundação Gorceix pelo trabalho de capacitação e auxilio.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Ivo Eyer Cabral – UFOP, pela tutoria e conselhos na elaboração deste trabalho.

A vida republicana, por me acolher durante meu período acadêmico na UFOP e por proporcionar momentos de conhecimento pessoal e social

Ao Governo Federal, por possibilitar meu caminho para a profissão de Engenheiro de Minas e instituir um ensino público para nossa nação.

RESUMO

Pilhas de alimentação de usina são largamente empregadas na mineração em decorrência da heterogeneidade do material que pode ser composto de parcelas de diferentes avanços, gerando à necessidade de uma blendagem prévia ao beneficiamento juntamente ao suprimento ininterrupto da usina. Os principais parâmetros para dimensionar o volume da pilha são a "taxa de alimentação da usina" e "taxa de produtividade de escavação" este último em razão do dimensionamento dos equipamentos da mina. A qualidade é um fator chave para a criação da pilha, sendo este fator de responsabilidade do técnico de qualidade que assegura que a quantidade de material proveniente de cada avanço da mina para a formação da pilha seja suficiente para atingir a qualidade desejada por meio de programações geradas pilha a pilha. A programação é então repassada a gerência de operações que se encarrega de entregar o material para a pilha. Este método pode apresentar falhas no controle de quantidade e qualidade da pilha. A quantidade em massa apontada pela operação de mina (via despacho) por vezes diverge daquela acompanhada pelo planejamento (via consulta aos operadores) e da apontada pela usina (via balança de usina). A qualidade amostrada por vezes diverge daquela estimada pelo modelo geológico. Estas falhas de controle impactam economicamente a operação pois a quantidade e qualidade inapropriada podem gerar gastos extras para a operação de mina provenientes da abertura e fechamento de pilhas corretivas, enquanto a entrega de um produto de qualidade não apropriada resulta em deméritos na venda do mesmo. Para aprimorar o controle de formação de pilha, estes dois parâmetros (quantidade e qualidade) foram analisados para a geração de um sistema que pudesse auxiliar de maneira semiautônoma o acompanhamento da formação de pilha, utilizando conexões entre bancos de dados das diferentes áreas da mina para reduzir as divergências de quantidade de massa e implementando um método de estimativa de qualidade, em tempo real, com base no modelo geológico juntamente com um sistema de GPS de alta precisão instalado nas máquinas de carga.

Palavras-chave: Modelo de Blocos, Geoestatística, Operação de mina, Qualidade, Pilhas, Planejamento de Lavra.

ABSTRACT

"Run of mine stockpiles" are largely used on the mining industry due to the heterogeneity of ore that can be retrieved from different working benches, creating the need for a blend prior to the mineral processing process in a constant feed rate. The major parameters for sizing the stockpile are "Processing feed rate" and "Extraction rate", the last one due the mining equipment size. The quality is a key factor on the Stockpile formation, being the "Quality Technician" responsible to control the quality and quantity of the material coming from each working bench meeting a quality criteria through a "Stockpiles program". The "Stockpile program" is given to the Operations sector that follow the extraction planned. This method can sometimes present failures on the quantity and quality control. The mass recorded by the Operations sector (Via Dispatch) can sometimes be different from the mass recorded by the planning sector (via notes written by operators) and different from the mass measured by the processing plant (via balance data from conveyor belt). The quality analyzed sometimes diverge from the one estimated by the geological model on the "Stockpiles Program". This control failures impacts economically the mining operation because failures on quality increase your costs on trying to correct the quality consuming strategic material from the mine, besides, a bad quality product gets demerit on it sale. To improve the control performance on stockpiles formation, this two parameters (quantity and quality) were analyzed to generate a system that could assist, in a semi-autonomous way, the pile formation using connections between different databases to reduce the difference in mass recorded and implementing a method for quality estimation, in real time, using the geological block model and a High-precision GPS system installed on the loading equipments.

Keyword: Block Model, Geoestatistics, Mining Operations, Quality, StockPiles, Mine Planning.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA IV

AGRADECIMENTOS V

RESUMO VI

ABSTRACT VII

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS 1

1.1 Objetivos 3

1.2 Objetivos Específicos 3

1.3 Organização do Trabalho 3

2. CONTROLE DE QUALIDADE 5

2.1. Modelo Geológico 6

3. DESPACHO 10

3.1. Sistema de Alta Precisão. 11

4. CONSTRUÇÃO E RETOMADA DE PILHAS. 15

4.1. Prática Operacional do Empilhamento. 15

5. ANÁLISE DO ATUAL SISTEMA DE PROGRAMAÇÃO DE PILHAS. 18

6. O SISTEMA DE CONTROLE DE PILHAS 23

6.1. Importação do Modelo de Blocos. 24

6.2. Leitura do Modelo de Blocos 25

6.3. Controle de Massa e Estimativa do Teor 26

7. CONCLUSÃO 29

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 30

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Modelo tridimensional de blocos de um depósito hipotético (Yamamoto, 2001) 6

Figura 2 – Avanços disponíveis na mina (em amarelo) sobre o modelo geológico da mina (VALE S/A). 7

Figura 3 – Modelo de blocos da mina de Fábrica nova via software Vulcan®. 7

Figura 4 – Vista em perfil de um trecho do modelo de blocos via software Vulcan ®. 8

Figura 5 – Modulo do despacho instalado no equipamento de infraestrutura (Trator). 10

Figura 6 -Disposição dos pontos de controle do sistema de alta precisão de uma escavadeira (MODULAR MINING SERVICES, 2016) 11

Figura 7- Ponto da extremidade de contato do equipamento com o solo (seta demarcada no chão) (Modular Mining Services, 2016) 12

Figura 8 –Monitoramento das coordenadas de GPS de alta precisão (Complexo de Alegria) 12

Figura 9- Visualização em planta do status do equipamento por meio do sistema de alta precisão. 13

Figura 10 – Área gráfica do sistema Provision®. 14

Figura 11 – Heterogeneidade das parcelas constituintes da pilha, teores médio (faixas brancas + pretas) diferem dos teores de parcela(faixa branca ou faixa preta) (Schofield, 1983) 16

Figura 12 – Área de formação de pilhas do complexo de mariana (GOOGLE MAPS, 2017) 16

Figura 13 – Area de retomada de pilha onde, A- Pilha de alimentação da usina IB2 sentido Samarco/B-Pilha corretiva para a usina de IB2/C-Caminhao basculando material para Pilha de alimentação da usina IB1 Sentido Jatobá/D-Pá carregadeira retomando material para alimentação da usina/E- A retomada é feita circundando a saia da pilha/F-Leira de proteção para a pilha de alimentação as usina IB2 sentido jatobá sendo formada. 17

Figura 14 – Banco de dados em SQL do despacho, são mostradas informações como data (*Shiftid, Ano, Mês, Mês#, Dia, Turma, Turno, Data e DataAbrev*), equipamentos envolvidos (*PorteCod ,Porte, FrotraTrCod, FrotaTr, EqptoTr, FrotaCgCod, FrotaCg, EqptoCg*), Local de carregamento (*Avanço ,PtoCarga*) e local de basculamento(PtoBascu). 18

Figura 15 – Banco de dados da programação de pilha para a usina “IB3” em Janeiro e Fevereiro de 2017 19

Figura 16 – Porcentagem de erros de preenchimento encontrados no período de análise. 20
Figura 17 – Proporção da massa compreendida pela planilha de programação de pilha. 21
Figura 18 – Fluxo de informações no Sistema de acompanhamento de pilhas. 23
Figura 19 – Arquivo de modelo de blocos importado no despacho. 25
Figura 20 – Visualização do sistema de arquivamento da coordenada da escavação em um ciclo de carregamento. 26
Figura 21 – Visualização da posição da caçamba da escavadeira EM2000 em um carregamento no caminhão CA5931 26
Figura 22 – Relatório de acompanhamento de pilha via despacho, tabela resumida... 27
Figura 23 – Relatório de acompanhamento de pilha via despacho, mapa dos pontos de carga. 28
Figura 24 – Detalhamento das informações de viagens para determinada pilha. 28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Programação de pilha. 9

Tabela 2 - Estudo de comparação entre a massa apontada pela programação de pilha e acompanhada pelo despacho para uma dada pilha em um intervalo de tempo comum. 22

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

GPS – Global Positioning System – “Sistema de Posicionamento Global”

ROM – Run of Mine

SQL – Structured Query Language

CSV – comma separated value – “valores separados por vírgula”.

SIAM – Sistema integrado de Acompanhamento de Mina

AL – Mina de Alegria

FN – Mina de Fábrica Nova

SL – Mina de São Luiz (Fazendão)

FZ – Mina de Fazendão

RTK – Real Time Kinematic

ShiftId - Código do sistema do respectivo turno

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

O setor de minério de ferro está passando por mudanças significativas, demandando que as empresas repensem na sua forma de trabalho para se manterem competitivas. Tais mudanças surgiram de um cenário onde o crescimento da oferta de minério de ferro ultrapassou a demanda, pressionando os preços e fazendo com que o foco industrial migre de volume para redução de custos à medida que os preços se achatam. Os prêmios e deméritos atrelados à qualidade do produto de minério de ferro comprometem de maneira direta a competitividade das indústrias de mineração. Inovações e pesquisas estão se tornando essenciais para a tomada de decisões de curto prazo e com maior agilidade para garantir um produto de qualidade superior.

A qualidade do produto é reflexo direto do controle de qualidade feito no minério utilizado na alimentação da usina. Neste contexto, o acompanhamento da programação das pilhas desempenha um papel primordial na competitividade da indústria. No ambiente da mineração a programação da pilha é de responsabilidade do planejamento de lavra; a formação da pilha é de responsabilidade da operação de mina; a retomada da pilha, de responsabilidade da usina e a amostragem do produto, de responsabilidade da qualidade. Esta divisão em setores facilita na administração, porém a segregação da informação induz a divergências entre os valores obtidos em cada setor e, por conseguinte, um aumento no tempo de análise de informações que permutam entre as camadas.

Há um custo operacional ligado à amostragem do material, às vezes inviabilizando a amostragem de caçambas de caminhões e pilhas de alimentação com a frequência necessária para um aumento no acompanhamento da formação das pilhas.

Este trabalho teve como intuito a compilação das informações necessárias para o controle de pilha, em um banco de dados interligado com a operação em tempo real, permitindo tomadas de decisão com maior agilidade. Junto a isto foi incorporado no sistema uma nova ferramenta capaz de estimar, a partir do modelo geológico da mina, a qualidade do material na caçamba e por conseguinte, os teores das pilhas de alimentação, reduzindo o custo com amostragens e otimizando o controle sobre o processo de formação de pilhas.

As informações utilizadas para o desenvolvimento do seguinte trabalho originaram-se do complexo minerador de Mariana, de propriedade da empresa Vale S/A. Trata-se de um complexo da diretoria de ferrosos sul (DIFS) cuja produção é o minério de ferro; atualmente desempenhando um papel estratégico para a geração do “Brazilian Blend” (BRBF) que possui

um teor de 63,1% de Fe após blendagem do material do Sistema Sul com o Sistema Norte da empresa.

O complexo de Mariana possui ao todo 4 minas sendo estas Alegria, Fazendão (Mina de São Luiz), Fábrica Nova e Timbopeba. Todas utilizam o método de lavra a céu aberto por bancadas; para o escopo do trabalho, ressaltam-se os equipamentos de carga e transporte, cujo conhecimento se torna essencial para o acompanhamento da massa utilizada na formação da pilha. Têm-se na operação de carga escavadeiras (PC4000 – Komatsu), retroescavadeiras (PC2000-Komatsu), e pás carregadeiras (L1350 – Letourneau) cada uma apresentando um calibramento especifico para o sistema de rastreamento de coordenadas em alta precisão. Na operação de transporte a frota atual consiste de caminhões fora de estrada cuja capacidade transitam entre 98.4 toneladas (CAT777G - Caterpillar) e 181 toneladas (CAT789D - Caterpillar) que registram pelo sistema de despacho a massa sendo transportada e basculada na pilha. O material após escavado é beneficiado, estocado e embarcado; as principais usinas de beneficiamento do complexo atualmente se encontram na mina de Alegria denominadas IB2 e IB3; o material é disposto para ambas as usinas em pilhas cuja massa pode provir de uma ou mais minas do complexo apresentando, por vezes, uma grande heterogeneidade em sua composição. Cada usina possui duas pilhas principais que são retomadas intercaladamente chamadas de “Pilha Jatobá” e “Pilha Samarco” gerando os pontos de controle de pilha:

- IB2JAT - Usina IB2, pilha sentido Jatobá
- IB2SAM - Usina IB2, pilha sentido Samarco
- IB3JAT - Usina IB3, pilha sentido Jatobá
- IB3SAM - Usina IB3, pilha sentido Samarco

O presente trabalho tomou como base a formação destas pilhas mencionadas juntamente com os equipamentos de carga e transporte do complexo para o desenvolvimento do sistema.

1.1 Objetivos

O estudo realizado visa a criação de um sistema para controle de pilhas em tempo real de maneira semiautônoma, apresentando dados de GPS, massa e qualidade. Utiliza-se como principais ferramentas um sistema de GPS de alta precisão incorporado nas máquinas de carga e arquivos de modelo geológico da mina.

1.2 Objetivos Específicos

A presente monografia visa o estudo e implementação de um sistema de controle de pilhas por meio de análises das atuais condições de controle da mina e incorporação de novos recursos para aprimorar e facilitar o controle. Os objetivos específicos são relatados a seguir:

- Estudar a rotina do controle de qualidade e adaptação do mesmo para o presente trabalho.
- Estudar o sistema de despacho e adaptar o mesmo para o presente trabalho.
- Analisar o sistema de GPS de alta precisão e adaptar o mesmo para o presente trabalho.
- Estudar a rotina da operação de mina para a formação da pilha.
- Analisar o fluxo de informações e criar um banco de dados e conexões entre elas.
- Elaborar um aplicativo web em Visual Studio[1]

1.3 Organização do Trabalho

O presente trabalho está organizado em sete capítulos:

- No capítulo 1 é feita uma introdução ao ambiente no qual o estudo foi realizado. Também apresenta de forma resumida o sistema objeto deste trabalho. Neste capítulo, também são abordados o objetivo principal e objetivos específicos desta monografia.

---

[1] Ambiente de desenvolvimento integrado para desenvolvimento de softwares.

- O capitulo 2 explora a rotina do controle de qualidade na mina e a utilização do modelo geológico para a programação da pilhas
- No capitulo 3 é apresentado o despacho na operação de mina e de que maneira são analisados os dados do GPS de alta precisão
- No capitulo 4 é abordada a operação de formação de pilhas.
- No capitulo 5 é realizado um estudo sobre o atual cenário de controle de formação de pilha e suas falhas.
- No capitulo 6 é apresentado o sistema em implementação e como são realizadas as consultas no banco de dados para o retorno das informações visualizadas no aplicativo web.
- O capitulo 7 é referente às conclusões obtidas a partir dos resultados atingidos nesta monografia.

2. CONTROLE DE QUALIDADE

O mercado do minério de ferro possui um grau de competitividade global, exigindo dos fornecedores do produto um rigoroso controle de qualidade para assegurar a confiabilidade perante o cliente e minimizar as penalizações geradas pelos descumprimentos dos critérios de qualidade demandados. O controle de qualidade é um processo utilizado por grupos operacionais com a finalidade de auxiliar os requerimentos do produto (Juran, 1992), baseando-se em um ciclo de controle determinado pelas seguintes etapas:

1. Avaliar o desempenho operacional real.
2. Comparar o desempenho real com os objetivos.
3. Agir com base na diferença.

Na rotina da operação de mina, o controle de qualidade é responsável pela programação e acompanhamento da formação das pilhas de alimentação da usina. A comparação do desempenho real com os objetivos é chamada de “aderência ao plano” e representa um importante indicador para o acompanhamento da operação de mina.

A programação da pilha se dá mediante o requerimento de qualidade da usina. Com os teores do material estabelecidos, cabe ao controle de qualidade utilizar-se das informações disponíveis da mina (modelo de blocos) para simular diferentes combinações e selecionar os avanços da mina que servirão de alimentação para a usina

2.1.Modelo Geológico

Uma das etapas primordiais para análise da qualidade da mina é o modelo geológico. O objetivo do modelo geológico é compreender os eventos geodinâmicos que ocorreram no depósito a partir de dados obtidos de: sondagens, mapeamentos superficiais, características regionais e tipo de depósito, possibilitando a avaliação da mina (Otoya, 2011). No complexo minerador de Mariana (VALE S/A) o modelo geológico é estudado como um modelo de blocos (Figura 1), o qual é amplamente utilizado no ramo, dada a facilidade de interpretação dos dados tridimensionalmente via programas como Vulcan ® ou DataMine ®. Este modelo discretiza as informações do modelo geológico como litologia, teores globais e densidade bloco a bloco.

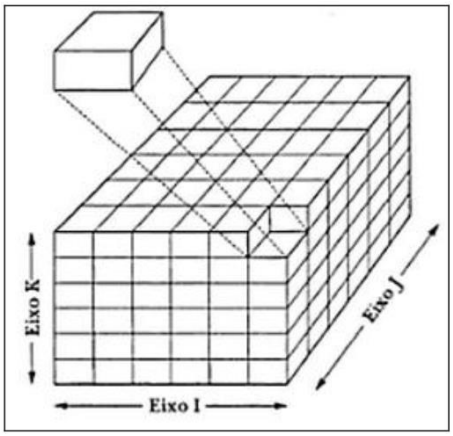

Figura 1– Modelo tridimensional de blocos de um depósito hipotético (Yamamoto, 2001)

A programação das pilhas de alimentação da usina é realizada com a otimização do uso dos avanços disponíveis para atender a qualidade exigida pela usina. Para isto o técnico de qualidade realiza através de métodos computacionais, cubagens [2]em áreas onde é possível o avanço das máquinas, para então dimensionar a massa que deve ser extraída de cada avanço ou relatar a necessidade de abertura de novo avanço. A Figura 2 apresenta os limites dos avanços possíveis para um dado mês na mina de Fábrica Nova, tal figura é gerada pela gerência de planejamento com o intuito de delimitar o plano de lavra em coordenadas georeferenciadas por

[2] Processo para interpretação do modelo geológico pela subdivisão do depósito mineral em vários blocos com vários graus de confiabilidade (Yamamoto, 2001).

meio de polígonos (em amarelo) sobre um mapa geológico, em que cada cor no mapa representa uma litologia da mina.

A cubagem realizada pela qualidade tem seus valores obtidos a partir do modelo de blocos da mina, demonstrado na Figura 3, delimitado por um volume restrito pela topografia mais recente (para determinar os limites de cota “z”) e os avanços possíveis (mostrado na Figura 2, para determinar os limites em “x” e “y”). O corte de um trecho do modelo de blocos pode ser visto em perfil na Figura 4.

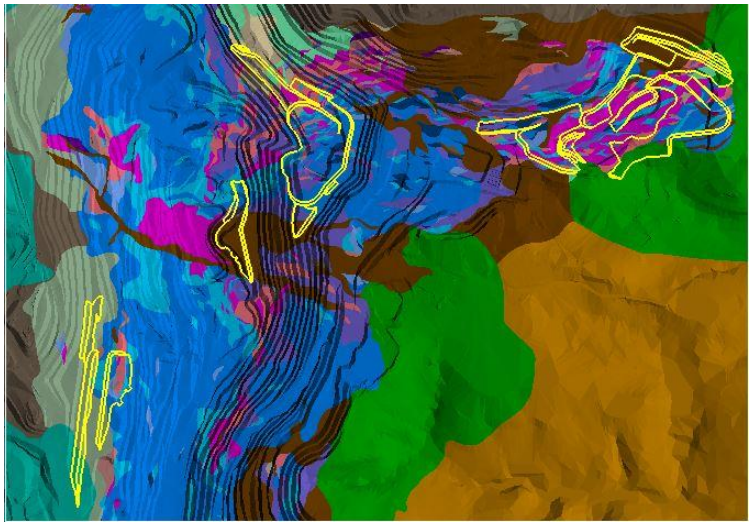

Figura 2 – Avanços disponíveis na mina (em amarelo) sobre o modelo geológico da mina (VALE S/A).

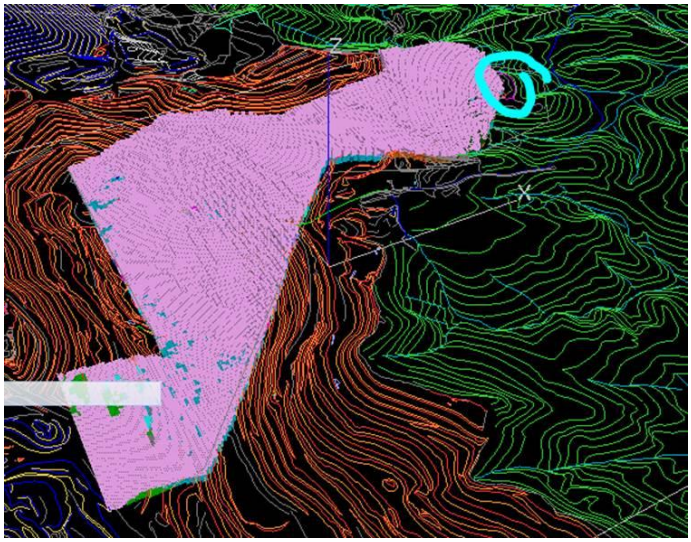

Figura 3 – Modelo de blocos da mina de Fábrica nova via software Vulcan®.

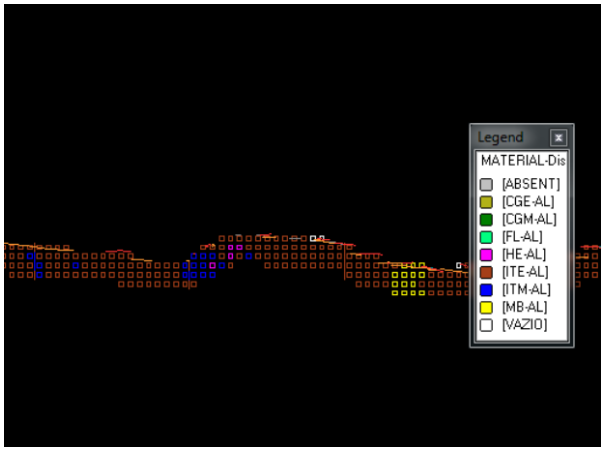

Figura 4 – Vista em perfil de um trecho do modelo de blocos via software Vulcan ®.

A legenda mostrada na Figura 4 indica:

- ABSENT = Sem informações do bloco.
- CGE-AL = Canga do tipo estéril da mina de Alegria.
- CGM-AL = Canga do tipo minério da mina de Alegria.
- FL-AL = Filito da mina de Alegria.
- HE-AL = Hematita da mina de Alegria.
- ITE-AL = Itabirito do tipo estéril da mina de Alegria.
- ITM-AL = Itabirito do tipo minério da mina de Alegria.
- MB-AL = Metabasito da mina de Alegria.
- VAZIO = Bloco localizado acima da linha topográfica atual, já lavrado.

Ao final do processo, é gerada uma tabela (Tabela 1) com um resumo das informações necessárias para que o controle de qualidade possa acompanhar a formação da pilha de alimentação da usina. Como se pode ver na tabela abaixo de uma pilha hipotética, é registrado a frente de lavra de onde se originará a massa (Coluna “Frentes”), a litologia abreviada correspondente (Coluna “Litologia da frente”), sua tonelagem (Coluna “Massa programada”), a quantidade de viagens estimada para uma frota de CAT789 cuja capacidade é de 190 toneladas (Coluna “Número de viagens programadas”) e a participação de cada parcela para a composição da pilha (Coluna “% programado por frente”). Ao fim do turno, o técnico de qualidade atualiza a movimentação realizada na tabela para que o técnico do turno seguinte possa dar continuidade a formação da pilha. As informações atualizadas são a massa realizada de determinada linha planejada (Coluna “Massa Realizada”), a quantidade de viagens realizadas (Coluna “Viagem Realizada”) e a participação de cada parcela de avanço na pilha atual (Coluna “% Realizado por Frente”).

Tabela 1 – Programação de pilha.

Frentes	Litologia da frente	Massa Programada (t)	Número de Viagens Programada	% Programado Por Frente	Massa Realizada (t)	Viagem Realizada	% Realizado Por Frente
A_E2_1045	IF	2660	14	32,56	3990	21	13.67
A_L5_1040	IFR	1710	9	20,93	957	5	32.81
A_L5_1040	IGO	570	3	6,98	1710	9	0.59
A_L4_1040 Fundo Banco	HE	570	3	6,98	1881	10	6.45
A_L4_1040 Fundo Banco	HGO	2280	12	27,91	1276	7	43.75
A_L4_1040 Fundo Banco	IAR	380	2	4,65	798	4	2.73

3. DESPACHO

O sistema de Despacho no complexo de Mariana (Dispatch – Modular Mining System) é integrado, basicamente, por software simulador e um módulo de conexão instalado nos equipamentos de carga, transporte e infraestrutura da mina (Figura 5).Este sistema, além da busca pela otimização dinâmica das operações, também é responsável pela coleta e armazenamento de toda a gama de informações necessárias para controles de produção, indicadores de frotas, manutenção e custos. Com este banco de dados é possível o acesso a informações completas quanto aos ciclos dos caminhões e seus desmembramentos, incluindo os tempos fixos (Valadares, Amorim, & França, 2012). Estes dados gerados são então analisados em relatórios que dinamizam a consulta aos indicadores chaves de desempenho (ICD's) agilizando a tomada de decisão na operação de mina.

Figura 5 – Modulo do despacho instalado no equipamento de infraestrutura (Trator).

O controle do despacho é integrado a um sistema de alta precisão denominado "Provision ®" de patente da mesma empresa fornecedora do Dispatch®. Tal programa tem como objetivo oferecer soluções baseadas na utilização do GPS de alta precisão como o auxílio na navegação e orientação do equipamento via console gráfico disposto na cabine, otimizando o cumprimento de metas e planos. Os dados analisados em tempo real são de auxílio para a interação entre o planejamento e operação da mina, reduzindo remanejamento, cargas desviadas, inspeção e sinalização manual.

O despacho desempenha um papel crítico para a formação da pilha, pois o mesmo é responsável pelo dimensionamento, otimização e arquivamento em banco de dados das viagens realizadas na mina. Por meio deste é possível traçar a origem do material basculado em um dado local e horário.

3.1.Sistema de Alta Precisão.

Equipamentos como carregadeiras, tratores, perfuratrizes e auxiliares podem possuir o equipamento de alta precisão que consiste de no mínimo uma antena receptora de alta precisão, instalada no equipamento e um sistema de comunicação entre o equipamento e a sala de controle. A antena é previamente calibrada, para rastrear pontos estratégicos do equipamento como o centro de rotação, centro da concha e extremidades de contato do equipamento com o solo (Figura 6 e Figura 7).

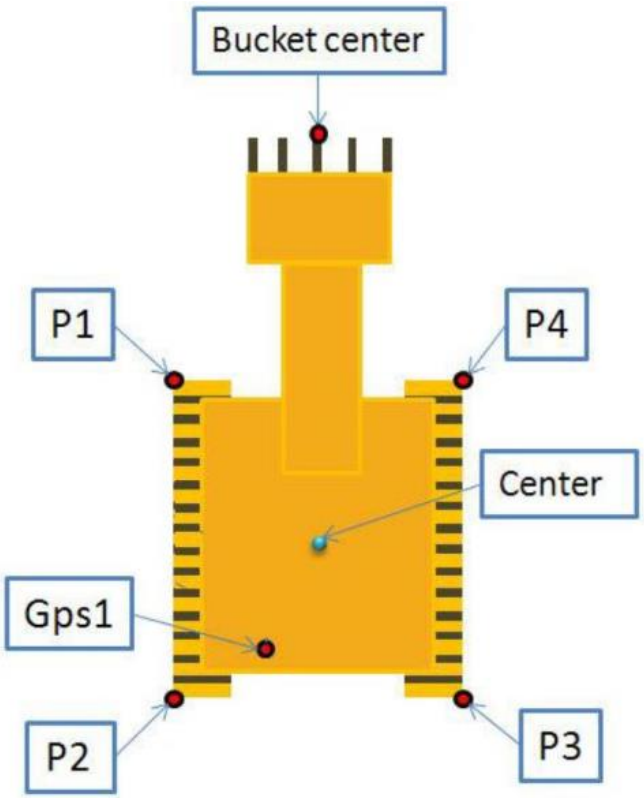

Figura 6 -Disposição dos pontos de controle do sistema de alta precisão de uma escavadeira (MODULAR MINING SERVICES, 2016)

Figura 7- Ponto da extremidade de contato do equipamento com o solo (seta demarcada no chão) (Modular Mining Services, 2016)

Depois de aferidas e calibradas, as coordenadas dos receptores (X,Y,Z) são monitoradas via Provision® remotamente, juntamente com os indicadores de qualidade do sinal, como origem do sinal (quantidade de satélites) e modo de obtenção dos dados (RTK) (Figura 8).

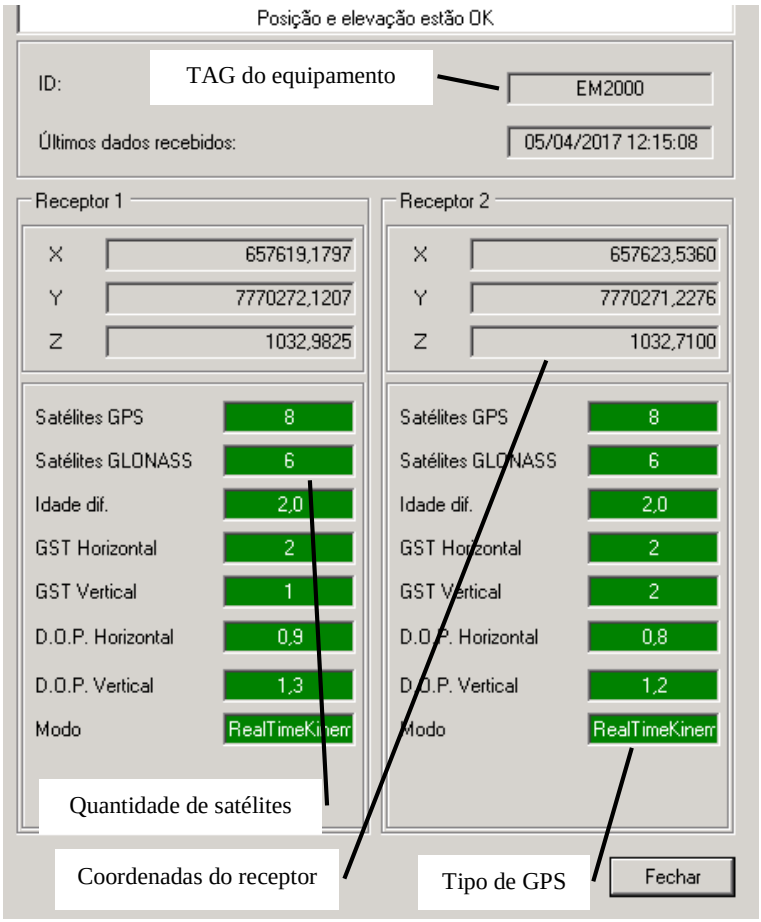

Figura 8 –Monitoramento das coordenadas de GPS de alta precisão (Complexo de Alegria)

A partir destes dados é possível a obtenção de informações de topografia e indicadores do equipamento (como ângulo de rotação, produtividade, etc.). Um modo de visualização da interface do despacho no equipamento (Figura 9) permite analisar o status da lavra do equipamento perante o planejado de determinado local da mina. Ao exemplo, na Figura 9temos uma escavadeira (PC2000-8 – Komatsu) em uma lavra, com destino de cota de 1023,5 metros em uma posição 3,8 metros acima do planejado, 1027,3 metros. A visualização permite demonstrar de maneira pré-configurada a variação da cota real com o planejado (delta) em escala de cor, onde cores quentes representam cotas acima do planejado e cores frias cotas abaixo do planejado.

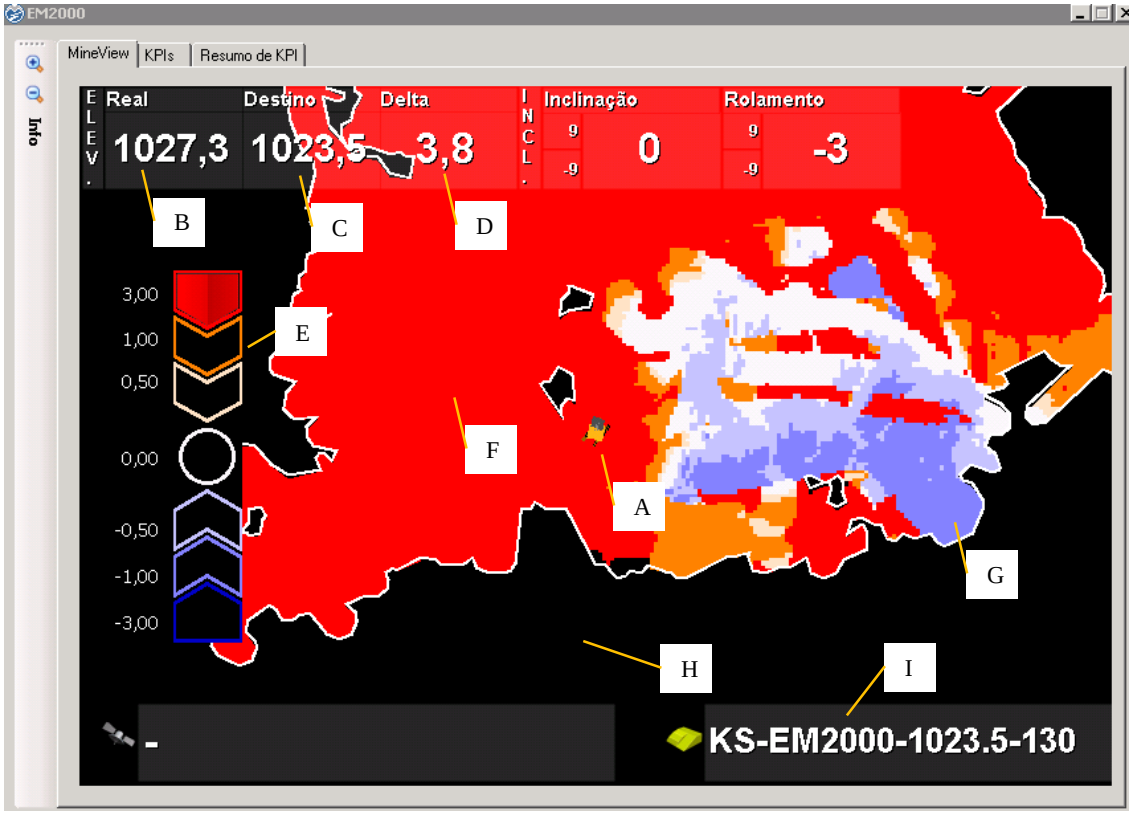

Figura 9- Visualização em planta do status do equipamento por meio do sistema de alta precisão.

Na Figura 9, as seguintes informações são relevantes para o entendimento da visualização “MineView”:

- A – Escavadeira
- B – Cota do equipamento, baseado nos receptores de alta precisão do mesmo
- C – Cota destino para o local do equipamento, baseado nas informações do plano de lavra

- D – Altura a ser escavada ($Delta = Cota\ Real - Cota\ Destino$), quando o valor for negativo, representa a altura a ser aterrada.
- E – Legenda de cores e intervalos de cada uma em metros.
- F – Exemplo de local com cota acima de 3 metros ao planejado (cor vermelha)
- G – Exemplo de local com cota abaixo de 1 metro ao planejado (cor lilás)
- H – Área por onde não transitou o equipamento com o sistema de GPS de alta precisão, representando “Dados Nulos (cor preta).
- I – Nome do projeto de superfície para cálculo do plano de lavra ao qual a máquina está submetida.

Os equipamentos são então monitorados concomitantemente via interface gráfica geral da mina (Figura 10), possibilitando de prontidão a análise de sua posição e sua área escavada. Isto aliado ao conhecimento do planejamento de lavra aumenta o controle para aderência da lavra realizada com a planejada.

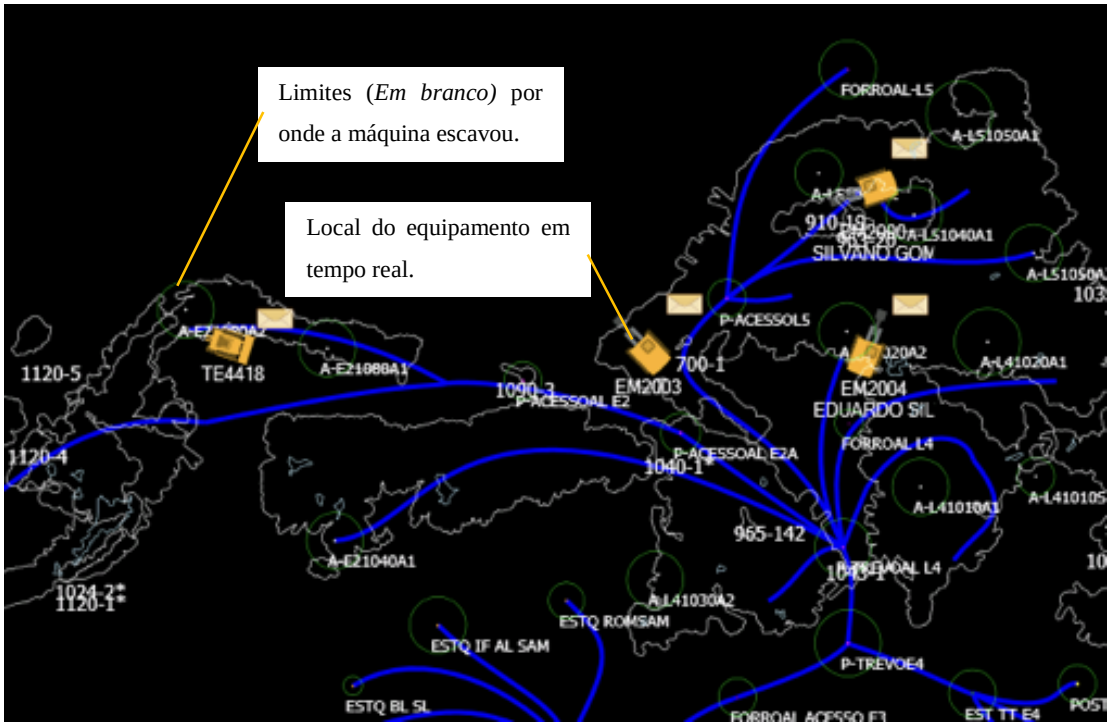

Figura 10 – Área gráfica do sistema Provision®.

4. CONSTRUÇÃO E RETOMADA DE PILHAS.

Existem diversos equipamentos e parâmetros para a construção de pilhas. A escolha dos parâmetros varia de acordo com a demanda da operação da mina, o ritmo da movimentação, condições de armazenamento, facilidade de reparo e custos.

Caminhões, tratores, escreiperes são empregues tanto no empilhamento como na retomada e transporte, não apresentando qualquer utilização para homogeneização do material estocado. Nas minas é comum o emprego de pilhas estratégicas de ROM[3] para alimentação do britador primário com o objetivo de um suprimento ininterrupto durante paradas na mina (Ferreira & Chaves, 2012)

4.1.Prática Operacional do Empilhamento.

O lote de minério que chega ao pátio da usina de beneficiamento é formado de parcelas com características diferentes entre si e tem uma composição média definida pela blendagem das frentes de lavra (Ferreira & Chaves, 2012). Como mostrado na Figura 11, se for retirada uma amostra qualquer da superfície da pilha, as suas características podem ou não ser diferentes da média. Esta característica anisotrópica foi o motivo pelo qual deixou-se de praticar amostragem na rotina da alimentação das usinas do complexo de mariana, pois a mesma se torna dispendiosa e imprecisa, tal fato implicou em um aumento no tempo para reconciliação da qualidade esperada e da realizada, pois se tornou necessário relacionar a qualidade da pilha formada pela qualidade do material amostrado no produto da usina. Um aspecto operacional da mina de alegria, objeto deste estudo, é a disposição intercalada de material para a usina, por se tratar de um basculamento realizado a um nível superior ao da usina (Figura 12), é inseguro a retomada do material a jusante durante a formação da pilha. Para isto existem duas pilhas de alimentação para cada usina, enquanto uma pilha é formada a outra é retomada (Figura 13). Gerando por consequência um tempo ainda maior para reconciliação da qualidade da pilha formada, pois a mesma deve ser primeiramente concluída, retomada, beneficiada, para então haver uma confirmação da qualidade programada de acordo com a amostragem do produto beneficiado. Quando a qualidade amostrada não condiz com a esperada (ora pelo modelo de

3 ROM – Run of Mine, Minério cuja origem seja direto da lavra.

blocos não possuir boa aderência, ora pela máquina de carga ter lavrado fora do plano) é realizada uma pilha de alimentação corretiva que quando beneficiada e adicionada a contabilização da massa da pilha de teores insuficientes reproduz um produto de qualidade aceitável. Tal prática deve ser evitada por envolver custos referentes a abertura e fechamento de pilha (construção de leiras e movimentação de equipamentos) e consumo de material estratégico da lavra (com alto teor) não dimensionado.

Figura 11 – Heterogeneidade das parcelas constituintes da pilha, teores médio (faixas brancas + pretas) diferem dos teores de parcela(faixa branca ou faixa preta) (Schofield, 1983)

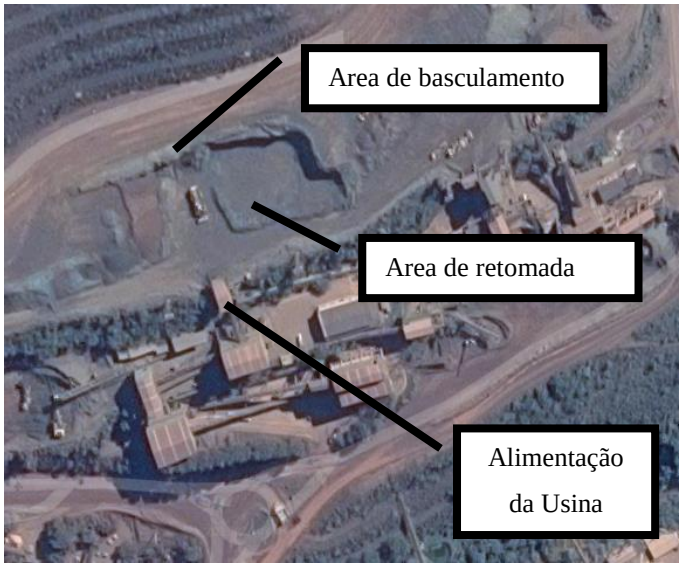

Figura 12 – Área de formação de pilhas do complexo de mariana (GOOGLE MAPS, 2017)

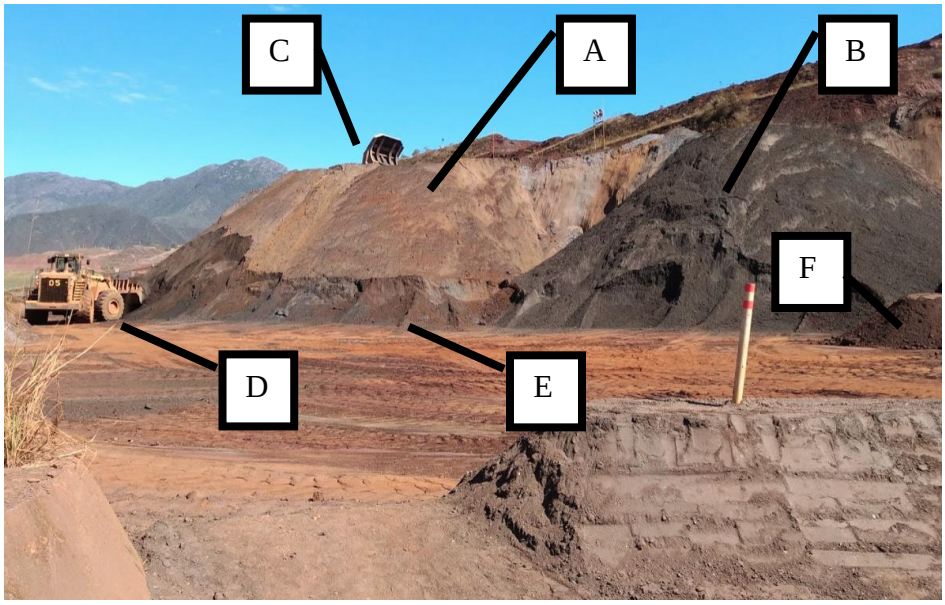

Figura 13 – Area de retomada de pilha onde, A- Pilha de alimentação da usina IB2 sentido Samarco/B-Pilha corretiva para a usina de IB2/C-Caminhao basculando material para Pilha de alimentação da usina IB1 Sentido Jatobá/D-Pá carregadeira retomando material para alimentação da usina/E- A retomada é feita circundando a saia da pilha/F-Leira de proteção para a pilha de alimentação as usina IB2 sentido jatobá sendo formada.

5. ANÁLISE DO ATUAL SISTEMA DE PROGRAMAÇÃO DE PILHAS.

Como estudo para melhorias no sistema de programação de pilhas, acompanhou-se a rotina da gerência de planejamento e de controle de qualidade do complexo de Mariana para compreender quais eram as informações críticas para a cadeia operacional responsável pela formação da pilha e qual setor poderia se tornar o responsável pelas mesmas. Após compreendidas as informações foi checado quais destas poderiam ser obtidas de maneira autônoma pelo despacho e comparou-se a mesma informação em ambas as fontes para checar qual possui maior credibilidade.

Enquanto o controle de qualidade dependia da informação repassada pelos operadores de máquina e despachantes para acompanhar a somatória de massa basculada para formação de determinada pilha (Tabela 1), o próprio despacho é capaz, utilizando o seu banco de dados (Figura 14),de selecionar o período de formação de pilha e rastrear todas as viagens que ali bascularam.

ShiftId	Ano	Mês	Mês#	Dia	Turma	Turno	Data	DataAbrev	PorteCod	Porte	FrotaTrCod	FrotaTr	EqptoTr	FrotaCgCod	FrotaCg	EqptoCg	Avanco	PtoCarga	PtoBas
170201001	17	FEV	2	1	D	Madrugada	01-FEV-2017 Madrugada	01-FEV-17	1	Grande Porte	8	Cat 785 C	CA60415	128	LET L1350	PE3502	F-LE0910A1/HE-FN	F-LE0910A1	IB35AI
170201001	17	FEV	2	1	D	Madrugada	01-FEV-2017 Madrugada	01-FEV-17	1	Grande Porte	8	Cat 785 C	CA60415	128	LET L1350	PE3502	F-LE0910A1/HE-FN	F-LE0910A1	PULM
170201001	17	FEV	2	1	D	Madrugada	01-FEV-2017 Madrugada	01-FEV-17	1	Grande Porte	8	Cat 785 C	CA60416	108	PC4000	EM4002	F-LE0940A5/FL-FN	F-LE0940A5	PE ST.
170201001	17	FEV	2	1	D	Madrugada	01-FEV-2017 Madrugada	01-FEV-17	1	Grande Porte	8	Cat 785 C	CA60416	128	LET L1350	PE3502	F-LE0910A1/FL-FN	F-LE0910A1	PE ST.
170201001	17	FEV	2	1	D	Madrugada	01-FEV-2017 Madrugada	01-FEV-17	1	Grande Porte	8	Cat 785 C	CA60416	128	LET L1350	PE3502	F-LE0910A1/HE-FN	F-LE0910A1	IB35AI
170201001	17	FEV	2	1	D	Madrugada	01-FEV-2017 Madrugada	01-FEV-17	1	Grande Porte	8	Cat 785 C	CA60416	128	LET L1350	PE3502	F-LE0910A1/HE-FN	F-LE0910A1	IB35AI
170201001	17	FEV	2	1	D	Madrugada	01-FEV-2017 Madrugada	01-FEV-17	1	Grande Porte	135	CAT 777G	CA67109	124	CAT 992K	PM3706	ESTQ BR FC FN/PRO-IB	ESTQ BR FC FN	AREA
170201001	17	FEV	2	1	D	Madrugada	01-FEV-2017 Madrugada	01-FEV-17	1	Grande Porte	135	CAT 777G	CA67109	124	CAT 992K	PM3706	ESTQ BR FC FN/PRO-IB	ESTQ BR FC FN	AREA
170201001	17	FEV	2	1	D	Madrugada	01-FEV-2017 Madrugada	01-FEV-17	1	Grande Porte	135	CAT 777G	CA67111	116	PC2000	EM2003	A-L51070A1/HE-AL	A-L51070A1	ESTQ
170201001	17	FEV	2	1	D	Madrugada	01-FEV-2017 Madrugada	01-FEV-17	1	Grande Porte	135	CAT 777G	CA67111	128	LET L1350	PE3502	F-LE0910A1/HE-FN	F-LE0910A1	ESTQ
170201001	17	FEV	2	1	D	Madrugada	01-FEV-2017 Madrugada	01-FEV-17	1	Grande Porte	135	CAT 777G	CA67111	128	LET L1350	PE3502	F-LE0910A1/HE-FN	F-LE0910A1	ESTQ
170201001	17	FEV	2	1	D	Madrugada	01-FEV-2017 Madrugada	01-FEV-17	1	Grande Porte	135	CAT 777G	CA67112	128	LET L1350	PE3502	F-LE0910A1/HE-FN	F-LE0910A1	ESTQ
170201002	17	FEV	2	1	C	Dia	01-FEV-2017 Dia	01-FEV-17	1	Grande Porte	131	Cat 789D	CA66540	116	PC2000	EM2003	A-E31040A1/ATM-AL	A-E31040A1	IB35AI
170201002	17	FEV	2	1	C	Dia	01-FEV-2017 Dia	01-FEV-17	1	Grande Porte	131	Cat 789D	CA66540	128	LET L1350	PE3503	A-E30980A1/ATM-AL	A-E30980A1	IB35AI
170201002	17	FEV	2	1	C	Dia	01-FEV-2017 Dia	01-FEV-17	1	Grande Porte	131	Cat 789D	CA66540	128	LET L1350	PE3503	A-L51050A1/MB-AL	A-L51050A1	PE DE
170201002	17	FEV	2	1	C	Dia	01-FEV-2017 Dia	01-FEV-17	1	Grande Porte	131	Cat 789D	CA66541	116	PC2000	EM2003	A-E30980A1/ATM-AL	A-E30980A1	IB35AI
170201002	17	FEV	2	1	C	Dia	01-FEV-2017 Dia	01-FEV-17	1	Grande Porte	131	Cat 789D	CA66541	116	PC2000	EM2003	A-E31040A1/ATM-AL	A-E31040A1	IB35AI
170201002	17	FEV	2	1	C	Dia	01-FEV-2017 Dia	01-FEV-17	1	Grande Porte	131	Cat 789D	CA66541	128	LET L1350	PE3503	A-E30980A1/ATM-AL	A-E30980A1	IB35AI
170201002	17	FEV	2	1	C	Dia	01-FEV-2017 Dia	01-FEV-17	1	Grande Porte	131	Cat 789D	CA66541	128	LET L1350	PE3503	A-L51050A1/MB-AL	A-L51050A1	PE DE
170201003	17	FEV	2	1	B	Tarde	01-FEV-2017 Tarde	01-FEV-17	1	Grande Porte	8	Cat 785 C	CA60416	128	LET L1350	PE3505	F-ND0820A1/ATM-FN	F-ND0820A1	IB35AI
170201003	17	FEV	2	1	B	Tarde	01-FEV-2017 Tarde	01-FEV-17	1	Grande Porte	8	Cat 785 C	CA60417	108	PC4000	EM4002	F-LE0940A5/HE-FN	F-LE0940A5	IB2SAI
170201003	17	FEV	2	1	B	Tarde	01-FEV-2017 Tarde	01-FEV-17	1	Grande Porte	8	Cat 785 C	CA60417	128	LET L1350	PE3505	F-ND0820A1/ATM-FN	F-ND0820A1	IB35AI
170201003	17	FEV	2	1	B	Tarde	01-FEV-2017 Tarde	01-FEV-17	1	Grande Porte	8	Cat 785 C	CA60420	108	PC4000	EM4002	F-LE0940A5/HE-FN	F-LE0940A5	IB2SAI
170201003	17	FEV	2	1	B	Tarde	01-FEV-2017 Tarde	01-FEV-17	1	Grande Porte	8	Cat 785 C	CA60420	108	PC4000	EM4002	F-LE0940A5/HE-FN	F-LE0940A5	PULM
170201003	17	FEV	2	1	B	Tarde	01-FEV-2017 Tarde	01-FEV-17	1	Grande Porte	8	Cat 785 C	CA60420	128	LET L1350	PE3505	F-CO0920A1/FL-FN	F-CO0920A1	PE CO
170201003	17	FEV	2	1	B	Tarde	01-FEV-2017 Tarde	01-FEV-17	1	Grande Porte	135	CAT 777G	CA67111	124	CAT 992K	PM3706	ESTQ BR FC FN/PRO-IB	ESTQ BR FC FN	AREA
170201003	17	FEV	2	1	B	Tarde	01-FEV-2017 Tarde	01-FEV-17	1	Grande Porte	135	CAT 777G	CA67112	124	CAT 992K	PM3706	ESTQ BR FC FN/PRO-IB	ESTQ BR FC FN	AREA
170201003	17	FEV	2	1	B	Tarde	01-FEV-2017 Tarde	01-FEV-17	1	Grande Porte	135	CAT 777G	CA67113	124	CAT 992K	PM3706	ESTQ BR FC FN/PRO-IB	ESTQ BR FC FN	AREA
170201003	17	FEV	2	1	B	Tarde	01-FEV-2017 Tarde	01-FEV-17	1	Grande Porte	135	CAT 777G	CA67113	124	CAT 992K	PM3706	ESTQ BR FC FN/PRO-IB	ESTQ BR FC FN	AREA
170201003	17	FEV	2	1	B	Tarde	01-FEV-2017 Tarde	01-FEV-17	1	Grande Porte	135	CAT 777G	CA67113	124	CAT 992K	PM3706	ESTQ BR FC FN/PRO-IB	ESTQ BR FC FN	AREA
170201003	17	FEV	2	1	B	Tarde	01-FEV-2017 Tarde	01-FEV-17	1	Grande Porte	135	CAT 777G	CA67114	124	CAT 992K	PM3706	ESTQ BR FC FN/PRO-IB	ESTQ BR FC FN	AREA
170201004	17	FEV	2	1	A	Noite	01-FEV-2017 Noite	01-FEV-17	1	Grande Porte	131	Cat 789D	CA66550	128	LET L1350	PE3502	F-LE0900A1/ATE-FN	F-LE0900A1	PE TE
170201004	17	FEV	2	1	A	Noite	01-FEV-2017 Noite	01-FEV-17	1	Grande Porte	131	Cat 789D	CA66550	128	LET L1350	PE3505	F-CO0920A1/FL-FN	F-CO0920A1	PE CO
170201004	17	FEV	2	1	A	Noite	01-FEV-2017 Noite	01-FEV-17	1	Grande Porte	131	Cat 789D	CA66550	128	LET L1350	PE3505	F-CO0920A1/FL-FN	F-CO0920A1	PE ST.
170201004	17	FEV	2	1	A	Noite	01-FEV-2017 Noite	01-FEV-17	1	Grande Porte	131	Cat 789D	CA66551	128	LET L1350	PE3505	F-CO0920A1/FL-FN	F-CO0920A1	PE ST.

Figura 14 – Banco de dados em SQL do despacho, são mostradas informações como data (*Shiftid, Ano, Mês, Mês#, Dia, Turma, Turno, Data e DataAbrev*), equipamentos envolvidos (*PorteCod ,Porte, FrotraTrCod, FrotaTr, EqptoTr, FrotaCgCod, FrotaCg, EqptoCg*), Local de carregamento (*Avanço ,PtoCarga*) e local de basculamento(PtoBascu).

Para analisar ambos os dados, as planilhas de programação de pilha (Tabela 1) foram formatadas e inseriu-se em um banco de dados as informações de “Local de Básculo (estoque)”, “ID da pilha (Pilha)”, “Data de início de formação de pilha (DataIniForm)”, “Data final de formação de pilha(DataFimForm)”, “Data de início de Retomada (DataIniRet)” e “Data final

de Retomada (DataFimRet)”(Figura 15). Para o mês de janeiro e fevereiro de 2017 foram compreendidas 34 pilhas para uma usina (IB3) no estudo.

Estoque	Pilha	Shifbid	DataIniForm	DataFimForm	DataIniRet	DataFimRet
IB3JAT	17001	170101001	01/01/2017 01:00	01/01/2017 23:00	01/01/2017 21:00	03/01/2017 14:15
IB3SAM	17002	170101004	01/01/2017 23:30	03/01/2017 18:00	03/01/2017 14:15	04/01/2016 14:00
IB3JAT	17003	170103003	03/01/2017 16:01	01/01/2017 16:00	04/01/2017 14:00	05/01/2017 09:00
IB3SAM	17004	170104003	04/01/2017 15:45	05/01/2017 11:45	05/01/2017 09:20	06/01/2017 09:45
IB3JAT	17005	170105002	05/01/2017 10:00	06/01/2017 10:20	06/01/2017 10:20	07/01/2017 22:35
IB3SAM	17006	170106002	06/01/2017 10:31	08/01/2017 16:00	07/01/2017 22:35	08/01/2017 20:05
IB3JAT	17007	170108001	08/01/2017 01:30	08/01/2017 22:00	08/01/2017 20:05	
IB3SAM	17008	170108004	08/01/2017 22:30	10/01/2017 00:20	09/01/2017 20:25	21/01/2017 21:40
IB3JAT	17009	170109004	09/01/2017 21:55	11/01/2017 19:00	11/01/2017 21:40	
IB3SAM	17010	170112001	12/01/2017 03:00	13/01/2017 01:05	13/01/2017 01:00	14/01/2017 13:05
IB3JAT	17011	170113001	13/01/2017 01:25	13/01/2017 20:00	14/01/2017 13:05	
IB3SAM	17012	170114003	14/01/2017 18:30	15/01/2017 21:50	15/01/2017 21:40	17/01/2017 15:25
IB3JAT	17013	170115004	15/01/2017 22:20	17/01/2017 13:00	17/01/2017 15:25	18/01/2017 02:00
IB3SAM	17014	170117003	17/01/2017 17:00	18/01/2017 01:00	18/01/2017 02:00	
IB3JAT	17015	170119001	19/01/2017 02:00	20/01/2017 13:00	20/01/2017 18:00	21/01/2017 16:15
IB3JAT	17025	170130001	30/01/2017 02:30	31/01/2017 14:00	31/01/2017 13:16	01/02/2017 19:27
IB3SAM	17024	170129002	29/01/2017 10:00	30/01/2017 12:25	30/01/2017 10:20	
IB3SAM	17024	170129002	29/01/2017 10:00	30/01/2017 12:25	30/01/2017 10:20	
IB3JAT	17023	170128003	28/01/2017 13:00	29/01/2017 09:55	29/01/2017 09:55	30/01/2017 10:20
IB3SAM	17022	170127002	27/01/2017 07:20	28/01/2017 01:00	28/01/2017 09:05	09/01/2017 09:55
IB3JAT	17021	170125002	25/01/2017 10:20	27/01/2017 04:00	27/01/2017 05:40	28/01/2017 09:05
IB3SAM	17020	170124002	24/01/2017 08:00	25/01/2017 04:00	25/01/2017 03:25	27/01/2017 05:40
IB3JAT	17019	170123002	23/01/2017 11:00		24/01/2017 06:50	
IB3SAM	17018	170122003	22/01/2017 17:00	23/01/2017 11:20	23/01/2017 09:00	
IB3JAT	17017	170121003	21/01/2017 18:00	22/01/2017 13:00	22/01/2017 14:00	23/01/2017 09:00
IB3SAM	17016	170120004	20/01/2017 20:00	21/01/2017 16:40	21/01/2017 16:15	22/01/2017 14:30
IB3SAM	17026	170131003	31/01/2017 13:50	01/02/2017 20:00	01/02/2017 19:27	04/02/2017 00:40
IB3MEI	17032	170213002	13/02/2017 10:10		13/02/2017 12:15	
IB3JAT	17031	170207004	07/02/2017 21:30	09/02/2017 12:15	09/02/2017 11:10	13/02/2017 04:10
IB3SAM	17030	170206003	06/02/2017 14:00	07/02/2017 17:00	07/02/2017 17:30	
IB3JAT	17029	170205001	05/02/2017 05:30	06/02/2017 21:00	06/02/2017 13:00	07/02/2016 17:30
IB3SAM	17028	170204001	04/02/2017 02:00	05/02/2017 05:00	05/02/2017 03:30	06/02/2017 13:00

Figura 15 – Banco de dados da programação de pilha para a usina “IB3” em Janeiro e Fevereiro de 2017

Alguns erros de preenchimento da planilha (Tabela 1) foram encontrados. Tais como:

1- A formação da pilha antes de finalizar a anterior – Tal informação não condiz com a pratica operacional, que necessita de uma pilha concluída para iniciar a próxima (Erro 1 = 52%).
2- Horário de retomada anterior ao horário de finalização da formação de pilha – Tal condição apresentaria um grande risco à segurança do equipamento de retomada, pois o mesmo se situa a jusante do basculamento. (Erro 2 = 44%).
3- Ausência da “Data Final de Retomada” – Prejudica o filtro de busca no banco de dados da usina (Erro 3 = 29%).
4- Ausência de “Data final de formação” – Prejudica o filtro de busca no despacho (Erro 4 = 6%).

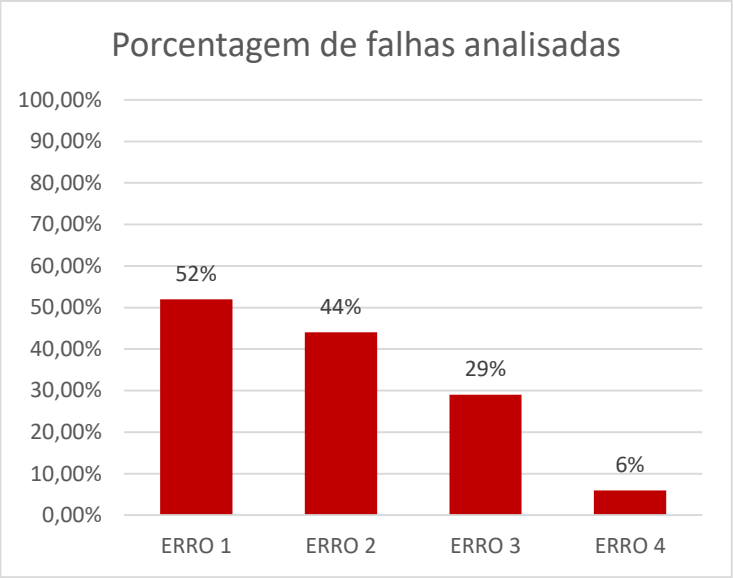

Figura 16 – Porcentagem de erros de preenchimento encontrados no período de análise.

Tais erros (Figura 16) por se tratarem de preenchimento de informações são reduzidos a 0 com o sistema atrelado ao despacho, uma vez que as informações seriam geradas de maneira autônoma com base no banco de dados do despacho, sem divergência com os dados de operação de mina.

As informações do banco de dados da programação de pilha foram então utilizadas como busca no banco de dados em SQL do despacho para recuperar as informações de massa movimentada e então, comparar com a descrita pela coluna "Massa Realizada" da Tabela 1.

Foi realizado o estudo para o mês de janeiro de 2017 para a usina “IB3” compreendendo 2288 viagens. Pelo estudo, foi observado que os intervalos de tempo compreendidos na planilha de programação de pilha são responsáveis somente por 79% da massa basculada na usina “IB3”, sendo os outros 21% basculados em intervalos de tempo que não foram descritos pela planilha. A Figura 17 mostra os resultados obtidos pelo estudo da usina da mina de Alegria (IB3) para o mês de janeiro de 2017, a massa que foi basculada na pilha fora do intervalo de tempo descrito pela programação da mesma foi classificada como "Desapropriada", podendo ser "Desapropriada em IB3JAT (Pilha sentido Jatobá de alimentação da IB3)", "Desapropriada em IB3SAM (Pilha sentido Samarco de alimentação da IB3)", "Desapropriada IB3MEIO (Pilha corretiva para a alimentação da IB3)".

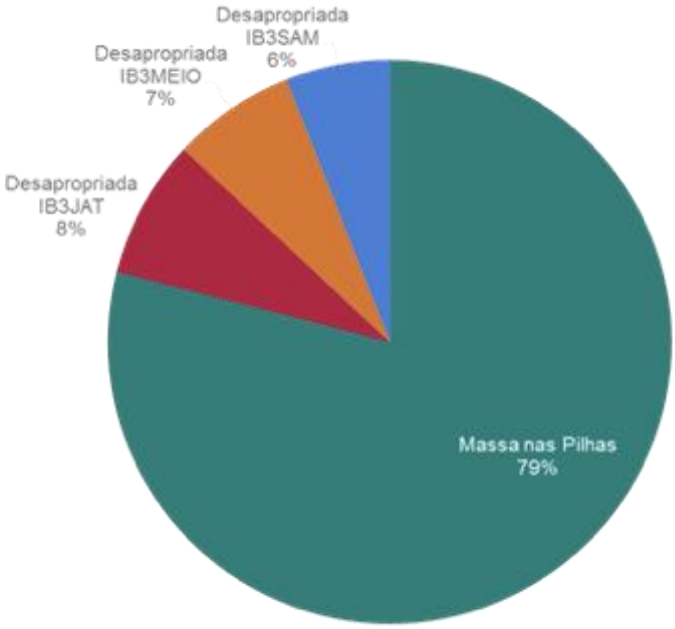

Figura 17 – Proporção da massa compreendida pela planilha de programação de pilha.

A massa compreendida pela planilha de programação de pilhas apresenta também incoerências com relação ao despacho quanto ao acompanhamento da massa transportada para determinada pilha. No exemplo cita-se a pilha 17007 que com um desvio de massa de 9% apresenta as seguintes incoerências apresentadas na Tabela 2 pela coluna "Diferença = |Despacho - programação|, que calcula a diferença em módulo dos valores de massa de um dado avanço entre as fontes de dados.

Tabela 2 - Estudo de comparação entre a massa apontada pela programação de pilha e acompanhada pelo despacho para uma dada pilha em um intervalo de tempo comum.

PILHA 17007						Diferença = |despacho-programação|
Programação de Pilha			Acompanhamento Despacho			
Avanço	n. viagens	massa (t)	Avanço	n. viagens	massa (t)	
A_E3_1050	10	**1900**	A-E31050A1	6	**1836.2**	**1259.4**
			A-E31045A1	5	**1323.2**	
A_E3970 detonado	27	**5130**	A-E30980A1	14	**5861.1**	**1548.9**
A_E3970 rampa	8	**2280**				
A_E3B_1045	7	**1330**	-	-	**-**	**1330**
A_L4_1050 BANCO	4	**190**	-	-	**-**	**190**
A_L5_1055	18	**3610**	A-L51050A1	10	**4697.3**	**1277.4**
			A-L51050A2	1	**190.1**	
A_PDE_1100	18	**3420**	PE-FOSFAL1095A1	6	**2876.5**	**543.5**
AV5_910L1	5	**190**	F-LE0910A1	7	**1938.8**	**3108**
			F-LE0920A3	11	**1359.2**	
AV9_940CL	15	**2850**	-	-	**-**	**2850**
OVER	20	**3990**	ESTQ BR GRANULADO FN	27	**5626.5**	**1636.5**
OVER FZ	3	**570**	SLC-ESTQ PSM FZ OVER	7	**1300.2**	**730.2**
-	-	**-**	PE-FOSFAL1130A2	2	**790.6**	**790.6**
TOTAL		**25460.0 t**			**27799.7 t**	**15264.5 t**

Foi constatado que o acompanhamento de viagens e massa por parte do controle de qualidade se dava de maneira ineficaz para fins de reconciliação de massa, Na Tabela 2 é apresentada uma diferença de 15264.5 tons para uma pilha de 27799.7 tons (aproximadamente 55% de divergência), o que gerou uma demanda operacional para implementação de um sistema de controle de pilhas para a mina.

6. O SISTEMA DE CONTROLE DE PILHAS

O sistema foi concebido com a principal finalidade de estimar a qualidade das pilhas de alimentação da usina juntamente com um maior controle da movimentação de massa do material, calculando a aderência à programação da pilha em tempo real via despacho. Ao mesmo tempo se torna responsável por duas reconciliações em sua rotina (Figura 18); A primeira (Reconciliação 1) condiz com a reconciliação mássica no período de formação da pilha, entre a somatória da massa basculada em determinada pilha, medida pelas balanças dos caminhões, com a massa retomada da mesma pilha, medida pela balança da usina; enquanto a segunda (Reconciliação 2) melhora a aderência do modelo de blocos pela reconciliação da qualidade amostrada com a estimada do modelo de blocos.

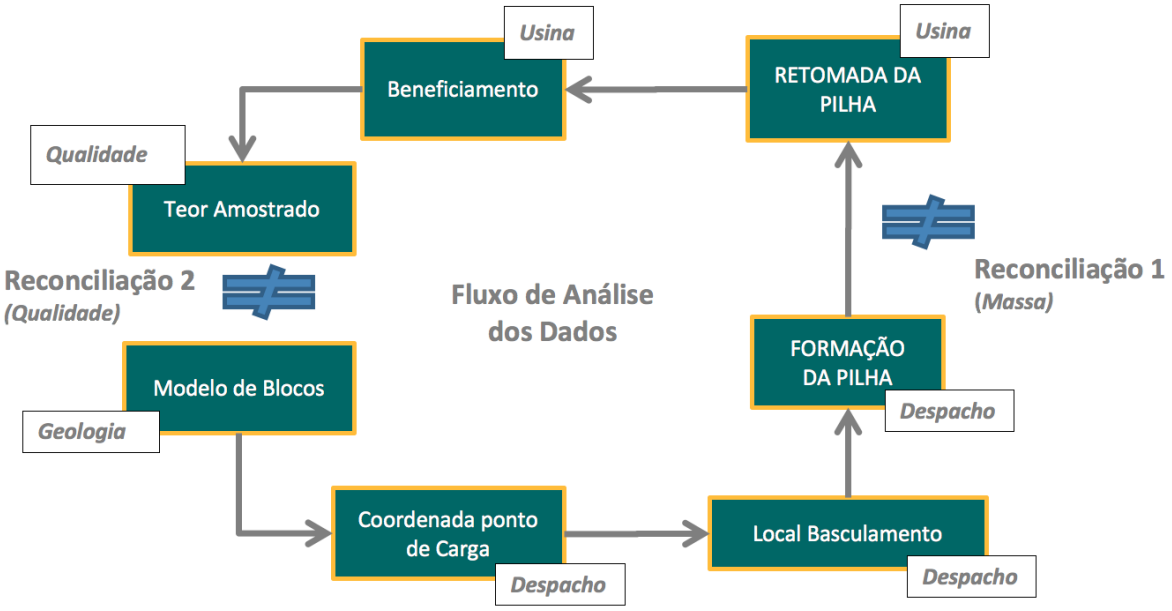

Figura 18 – Fluxo de informações no Sistema de acompanhamento de pilhas.

A reconciliação 1 se faz necessária pois o balanço de massa apontado pelo despacho condiz com a somatória das medições das sucessivas cargas apontadas pelas balanças dos caminhões fora de estrada no local de basculamento. O que por muitas vezes distancia-se dos valores oficiais da mina, os quais são apontados pelas balanças dispostas nas correias de transporte de material da usina. Um controle preciso dos horários de início e fim de formação e retomada permitirá reconciliar pilha a pilha a massa apontada pelo despacho e permitir a calibração das balanças dos equipamentos ou estudos para possíveis divergências.

A reconciliação 2 permitirá um indicador de aderência do modelo de blocos à lavra, uma vez que é possível traçar do material amostrado sua específica origem em alta precisão e

confrontar a qualidade estimada pelo modelo de blocos para aqueles pontos com a realizada e amostrada na usina, aprimorando o modelo de blocos e possivelmente reduzindo as divergências de qualidade.

O sistema baseia-se na utilização do modelo de blocos juntamente com as coordenadas em alta precisão dos locais de escavação para então atrelar as informações de movimentação com os dados de qualidade proveniente do modelo de blocos daquela coordenada específica. A lógica pode ser compreendida da seguinte maneira:

1- Importação do modelo de blocos – Um arquivo CSV padronizado das áreas de lavra proveniente do software Vulcan ® é importado no sistema do despacho.
2- Leitura do modelo de blocos – O material carregado no caminhão tem sua coordenada de escavação como parâmetro de busca de dados no modelo de blocos que adiciona no banco de dados de movimentação, os dados do respectivo bloco (Teor, litologia)(Figura 21 e Figura 20).
3- Estimativa do teor – O acompanhamento da massa basculada é atrelada aos dados de qualidade de movimentação. A média ponderada representa uma estimativa da qualidade da pilha/estoque.

6.1.Importação do Modelo de Blocos.

Como o modelo geológico está sujeito a atualizações periódicas, foi necessário a criação de uma rotina de importação onde juntamente com o fornecedor do software de despacho delimitou-se as dimensões do bloco (devido a restrições de cálculo[4]) e um modelo padrão de arquivo csv[5]. Com o arquivo de importação definido, foi gerado um script[6] para que o despacho consiga interpretar as informações. Após a importação é possível a visualização do modelo fracionado dentro da área gráfica do programa de despacho para a conferência da importação

[4] O cálculo baseia-se na coordenada do centróide do bloco e as suas dimensões para por meio de vetores identificar se uma dada coordenada encontra-se dentro dos limites de um bloclo.

[5] Arquivo simples de texto que contem informações estruturadas e delimitadas por um separador, como padrão este separador é a vírgula, a padronização se fez necessário pois a ordem em que os dados são dispostos devem ser a mesma para qualquer importação.

[6] Roteiros seguidos por sistemas computacionais para processar e transformar informações de um programa principal, o script do sistema identificava os dados relevantes ao controle de qualidade no arquivo CSV.

de maneira satisfatória e avaliar possíveis incoerências registradas no banco de dados de movimentação (Figura 19).

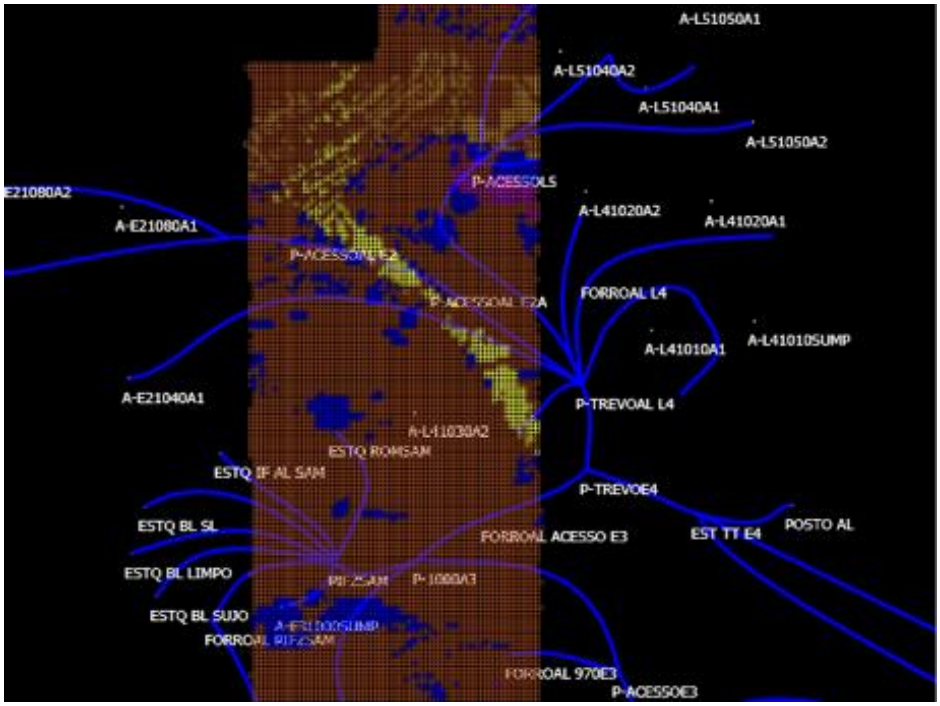

Figura 19 – Arquivo de modelo de blocos importado no despacho.

6.2.Leitura do Modelo de Blocos

A função de rastreamento de posição do GPS aliado a um sistema de análise de banco de dados permite a assimilação da coordenada de escavação com o modelo de blocos importado do programa, isso resulta em informações complementares ao banco de dados de movimentação como teor e litologia.

É arquivada a coordenada caçambada por caçambada do equipamento (Figura 20). Estas coordenadas são então inseridas no banco de dados que recuperam as informações do modelo de blocos de respectiva coordenada. A qualidade admitida para o ciclo de carregamento[7]do caminhão é calculada como a média ponderada da qualidade das caçambadas da máquina de carga que constituíram o preenchimento da caçamba do caminhão(Figura 21).

[7] Período de tempo em que a maquina de carga enche a caçamba do caminhão.

ID da caçamba	Hora inicial	Posição da caçamba X	Posição da caçamba Y	Ângulo de rotação (grau)
1	21/03/2017 10:46:28	657634,96	7770478,54	24,00
2	21/03/2017 10:47:31	657633,42	7770476,64	63,00
3	21/03/2017 10:48:12	657633,84	7770476,89	54,00
4	21/03/2017 10:48:49	657634,37	7770477,59	91,00
5	21/03/2017 10:49:56	657635,32	7770480,01	46,00
6	21/03/2017 10:50:33	657635,33	7770479,90	58,00
7	21/03/2017 10:51:06	657635,20	7770480,00	28,00

Figura 20 – Visualização do sistema de arquivamento da coordenada da escavação em um ciclo de carregamento.

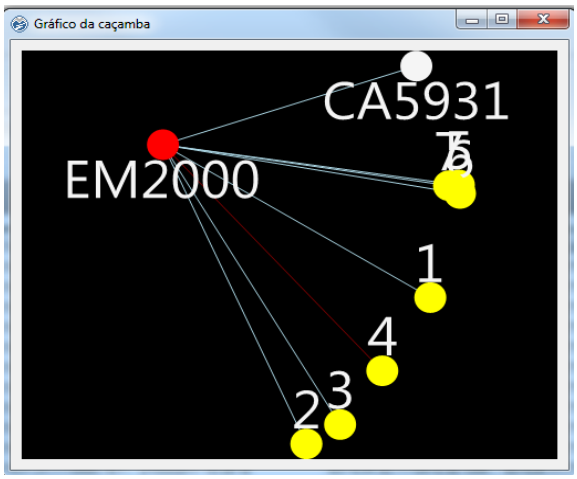

Figura 21 – Visualização da posição da caçamba da escavadeira EM2000 em um carregamento no caminhão CA5931

6.3.Controle de Massa e Estimativa do Teor

A operação de mina do complexo de Mariana possui um sistema integrado de acompanhamento de mina (SIAM) que é atrelado aos dados de movimentação em tempo real do complexo, tais dados provêm de bancos de dados em formato SQL do despacho. Para monitoramento da formação das pilhas com os dados de qualidade, foi gerado um novo relatório. O relatório foi planejado para demonstrar as informações de “Número de viagens”,

“Massa” e “Qualidade” por usina mediante a seleção de região de origem (por se tratar de um complexo minerador[8]) e de turno (período de tempo) (Figura 22).

Para facilitar a análise, foi incorporado também um gráfico em que os pontos de carga que constituíram as pilhas de análise são demonstrados no mapa com os avanços do mês da mina(Figura 23).

Todas as informações das viagens podem ser detalhadas mediante a seleção do usuário para demonstrar as parcelas constituintes da somatória de massa e qualidade demonstrada de maneira resumida no relatório (Figura 24).

VALE

Gerado em : 25/4/2017 7:58:37

Controle de Movimentação (HGPS) ⊟(?)

Versão 3.5

Início: 24-ABR-2017 Madrugada

Fim: 25-ABR-2017 Madrugada

Relatório gerado com os dados provenientes do sistema de alta precisão. A qualidade estimada provém das movimentações em que o GPS esteja operante JUNTAMENTE com um local que possua valores de modelos de blocos. Um indicador será adicionado posteriormente para demonstrar a proporção dos dados utilizados para a estimativa.

USINA AL | USINA FN | USINA FZ

U S I N A S - C O M P L E X O

Pto. Basculo	Cargas	Tons	Fe	SiO2	Al2O3	P	Mn	PPC
IB2JAT	135	18.893 t	62,46 %	4,85 %	1,76 %	0,08 %	0,10 %	3,16 %
IB2SAM	1	195 t						
IB3SAM	172	25.417 t	58,56 %	7,09 %	1,93 %	0,10 %	0,07 %	4,17 %
PULMAO FN	293	42.235 t	59,01 %	6,93 %	1,99 %	0,07 %	0,11 %	3,11 %
SLC-ESTQ PSM FZ	35	3.231 t	58,45 %	14,01 %	1,21 %	0,03 %	0,13 %	0,82 %
SLC-LOKOTRACK	265	23.905 t	59,72 %	10,69 %	1,72 %	0,04 %	0,25 %	1,40 %

Figura 22 – Relatório de acompanhamento de pilha via despacho, tabela resumida.

[8] Complexo é o conjunto de minas que se encontram próximas umas das outras e que estao sob uma mesma direcao tecnica e financeira.

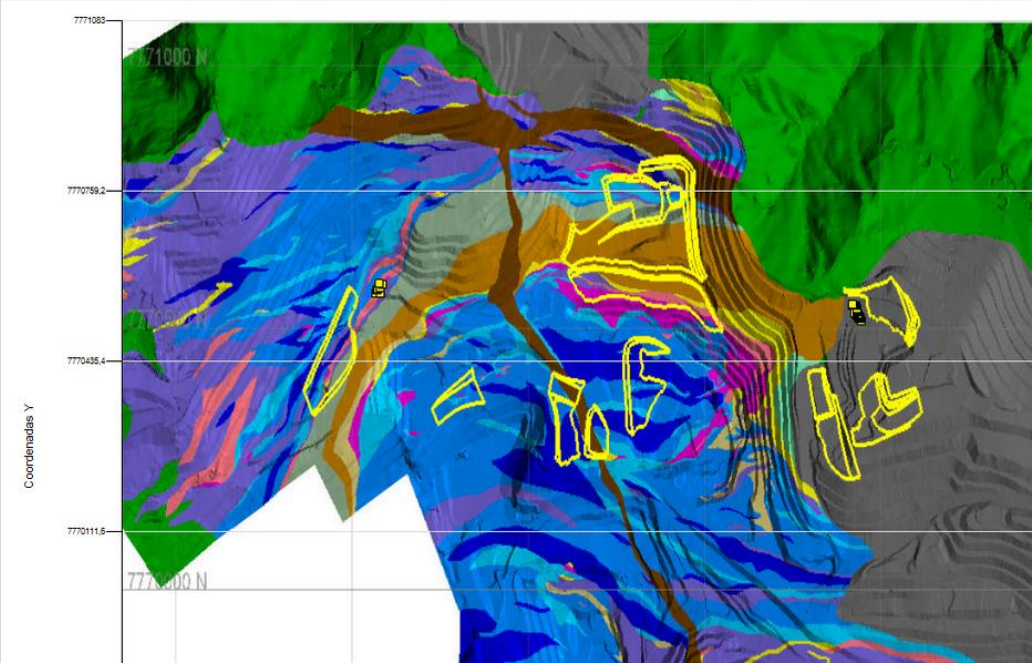

Figura 23 – Relatório de acompanhamento de pilha via despacho, mapa dos pontos de carga.

VALE

Gerado em : 26/4/2017 12:00:20

Controle de Movimentação (HGPS) ⊞ (?)

Versão 3.5

Início: 24-ABR-2017 Tarde

Fim: 26-ABR-2017 Dia

USINA AL | USINA FN | USINA FZ

U S I N A S - C O M P L E X O

Pto. Basculo		Cargas	Tons	Fe	SiO2	Al2O3	P	Mn	PPC
⊟ ESTQ BSM	⊞ A-L41020A1	22	1.930 t	55,70 %	16,20 %	0,84 %	0,10 %	0,03 %	2,96 %
	⊞ A-L41020A2	43	3.722 t	62,42 %	4,34 %	0,93 %	0,11 %	0,06 %	3,44 %
	⊞ ESTQ BR GRANULADO FN	16	1.462 t						
	⊞ F-LE0910A1	13	1.170 t	59,58 %	7,02 %	1,46 %	0,13 %	0,47 %	5,27 %
	⊞ F-LE0910A3	20	1.788 t	64,47 %	5,02 %	0,83 %	0,06 %	0,13 %	1,84 %
		114	10.071 t	60,83 %	7,50 %	0,92 %	0,10 %	0,08 %	3,23 %
⊞ IB2JAT		153	21.897 t	61,46 %	4,78 %	1,70 %	0,08 %	0,10 %	3,18 %
⊟ IB2SAM		1	195 t						
⊞ IB3JAT		152	23.063 t	59,55 %	8,76 %	0,95 %	0,11 %	0,06 %	3,40 %
⊟ IB3SAM		213	31.582 t	57,36 %	9,88 %	1,70 %	0,11 %	0,07 %	4,30 %
⊞ BRFN		27	2.214 t						
⊞ PULMAO FN		334	56.801 t	59,27 %	6,82 %	1,94 %	0,07 %	0,10 %	3,30 %
⊟ SLC-ESTQ PSM FZ		44	4.112 t	57,15 %	12,93 %	1,20 %	0,04 %	0,11 %	1,19 %
⊞ SLC-LOKOTRACK		465	42.706 t	58,16 %	10,97 %	2,24 %	0,06 %	0,33 %	2,30 %

Figura 24 – Detalhamento das informações de viagens para determinada pilha.

7. CONCLUSÃO

O trabalho se mostrou promissor e de rápida aceitação na rotina operacional uma vez que sua utilização não implica diretamente no aumento de tarefas para o controle de qualidade. Foi eliminada a responsabilidade do operador e do técnico de qualidade do monitoramento e arquivamento dos dados de movimentação de mina ficando isto a cargo do despacho.

Uma etapa de confronto dos dados de massa anterior ao relatório e após possibilitou a migração de maneira ininterrupta dado que as informações da nova fonte de dados convergiam com aderência de 100% a operação de mina.

O uso do sistema de GPS de alta precisão se mostrou versátil e aplicável na operação de mina, é necessário o acompanhamento da qualidade do sinal das antenas para não impactar na captação dos dados e consequentemente diminuir a representatividade dos valores de estimativa apontados.

O modelo de blocos se mostrou de grande utilidade dentro do sistema de despacho, pois diferente da cubagem de programação de pilhas que estima a localização do avanço a ser lavrado, o despacho analisa estritamente os dados do local onde ocorreu a lavra. Em um modelo com grande heterogeneidade como do complexo de alegria isto representa maior confiabilidade na estimativa de qualidade gerada no relatório.

A implicação direta da análise dos dados de estimativa de qualidade foi constatada como efetiva e promissora pelo departamento de geologia pois os valores apresentam-se próximo ao programado (Teor global de 58% de Fe).

Foi reduzido o erro de apontamento de viagens a 0% uma vez que os dados agora provêm diretamente do despacho, ante erro de aproximadamente 21% da análise compreendida no período de janeiro de 2017.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ferreira, F. M., & Chaves, A. P. (2012). Estocagem em Pilhas. In: A. P. Chaves, *Manuseio de Sólidos Granulados* (pp. 18-94). Sao Paulo, SP, Brasil: Oficina de Textos.

GOOGLE MAPS*Google*

Juran, J. M. (1992). *A Qualidade Desde o Projeto.* Cengage Learning.

Modular Mining Services. (2016). *Medições dos locais da antena GPS.* MMS.

Otoya, C. P. (2011). Modelagem Geológica e Estrutural 3D e Análise de Estabilidade de Taludes 2D em Mina a Céu Aberto Pelo Método SRM (Synthetic Rock Mass). *PUC-Rio*.

Schofield, C. G. (1983). *Homogenization/blending systems design and control for minerals processing.* Trans Tech Publications.

Valadares, T. N., Amorim, C. A., & França, L. A. (2012). Aumento de Produtividade da Frota de Transporte – Mina de Fábrica Nova (Vale Complexo Mariana). *Revista Minérios & Minerales* .

Yamamoto, J. K. (2001). *Avaliação e Classificação de Reservas Minerais.* Sao Paulo: Editora da Universidade de Sao Paulo.