



ISSN: 2230-9926

Available online at <http://www.journalijdr.com>

# IJDR

*International Journal of Development Research*

Vol. 11, Issue, 08, pp. 49633-49639, August, 2021

<https://doi.org/10.37118/ijdr.22578.08.2021>



RESEARCH ARTICLE

OPEN ACCESS

## QUALITY ASSESSMENT OF DIVERGENCES CAUSES IN WEIGHING COPPER ORE AT A MINING COMPANY IN THE AMAZON REGION

Cristiane Sampaio Rocha, Ellen Laena de Sousa Sousa Cardoso, Rafael da Silva Fernandes, Najmat Celene Nasser Medeiros Branco\* and Rosana Maria do Nascimento Luz

Campus Parauapebas, Universidade Federal Rural da Amazônia, Parauapebas, PA,68.515-000, Brasil

### ARTICLE INFO

#### Article History:

Received 08<sup>th</sup> May, 2021

Received in revised form

26<sup>th</sup> June, 2021

Accepted 11<sup>th</sup> July, 2021

Published online 29<sup>th</sup> August, 2021

#### Key Words:

Copper ore Mining; Dump Trucks  
Transportation; Quality Management;  
Weighing Differences.

#### \*Corresponding author:

Najmat Celene Nasser Medeiros Branco

### ABSTRACT

Copper ore production performs great importance in industrial development. In this sense, strategic elements of quality assessment should guide production, impacting the way a company distributes its resources and investments. Considering the practical impossibility of achieving a complete separation of the mineral constituents, obtaining higher contents and better recoveries (product quality) consequently implies an increase in the treatment cost (process quality). Thus, compliance controls are established to measure quality highlighting the copper concentrate weighing management transported by dump trucks. Therefore, this work aims to investigate the main causes of divergences in weighing copper concentrate product, which is transported by dump trucks, since the moment the cargo leaves the mine area to its reception at the warehouse. From the collected data of analysis and investigation processes, seven main causes were identified, highlighting the importance of using Quality Management tools.

Copyright © 2021, Cristiane Sampaio Rocha et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Citation: Cristiane Sampaio Rocha<sup>1</sup>, Ellen Laena de Sousa Sousa Cardoso, Rafael da Silva Fernandes, Najmat Celene Nasser Medeiros Branco and Rosana Maria do Nascimento Lu. "Quality assessment of divergences causes in weighing copper ore at a mining company in the amazon region", *International Journal of Development Research*, 11, (08), 49633-49639.

## INTRODUCTION

Amineração é uma atividade essencial para a sociedade, cujo uso da matéria-prima abrange diversos setores. De acordo com o MME - Ministério de Minas e Energia (2020), o Brasil destaca-se pela extensão geográfica e por deter um enorme patrimônio mineral, sendo um dos maiores produtores mundiais de minério. Benefícios relacionam-se a produção de diversos produtos consumidos pela sociedade, assim como ao alto potencial econômico promovido às regiões onde atua, contribuindo para a geração de emprego e renda e desenvolvimento da infraestrutura local. O relatório anual de mineração emitido pela ANM - Agência Nacional de Mineração (2020) indica que as substâncias metálicas correspondem a cerca de 80% do valor total da produção mineral comercializada no país. Dentre os minerais mais produzidos está o ferro (Fe) – ocupando primeira posição e sendo extraído principalmente do Estado do Pará – e o cobre (Cu), representando 9,4% do valor arrecadado. Este possui maior extração nos estados do Pará, Goiás e Bahia.

Além dos benefícios econômicos e sociais, é necessário considerar o crescente aumento da demanda pelo minério de cobre, trazendo como consequência, uma preocupação com sua produção, de modo a minimizar impactos ambientais (Dong, *et al.* 2020; Moreno-Leiva, *et al.* 2020; IEA, International Energy Agency 2009; ANM - Agência Nacional de Mineração 2020). Tais impactos podem trazer consequências como a poluição do ar, a escassez de água, contaminação do solo, descarte de resíduos tóxicos, além do risco de rompimento das barragens de rejeitos (Ayub, *et al.* 2019; Ribeiro, *et al.* 2019; Feliciano & Garcia 2020; Romero 2020; Reichl, *et al.* 2020), sendo necessário promover a adoção de práticas de gestão de responsabilidade social corporativa e busca por soluções ótimas que integram os aspectos econômicos, sociais e ambientais. (Gan & Griffin, 2018; Shen *et al.* 2018; Nocholls, 2020; Clune & O'Dwyer, 2020) Desta forma, dado que a gestão da qualidade considera coletivamente os efeitos de práticas individuais nos elementos estratégicos relacionados aos objetivos das empresas, a avaliação da qualidade permite munir as organizações com instrumentos e métodos de controle e melhoria dos processos.

(Garcia, et al. 2015; Tornelli, 2017; Drummond, et al. 2018). Além disso, a GQ tende a ter um impacto positivo no desempenho organizacional agregado e nas dimensões de desempenho, incluindo desempenho financeiro, desempenho organizacional, atendimento ao cliente e qualidade do produto (Xu, et al. 2020). Do ponto de vista do cliente, a empresa deve ser atenta às informações de produção e estoques, pois precisa fornecer informações confiáveis aos *stakeholders*, além de identificar divergências, evitando efeitos indesejáveis nos diversos processos organizacionais. Do ponto de vista dos custos de produção, a empresa deve se preocupar com a eliminação de perdas e otimização do processo produtivo. Logo, requer direcionamento de todas as ações do processo produtivo para o pleno atendimentos aos objetivos. No tratamento de minérios, Luz & Lins (2018) advertem que “é impossível, na prática, obter uma separação completa dos constituintes minerais”. Assim, para a obtenção de teores mais altos e melhores recuperações (qualidade do produto), inevitavelmente, haverá um aumento no custo do tratamento (qualidade do processo). Como na mineração há perdas tanto na lavra quanto no beneficiamento, gerando custos maiores de produção, é relevante analisar toda a cadeia produtiva, de modo a identificar e tratar os desperdícios. Portanto, busca-se encontrar soluções que controlem o processo e retornem a faixa de variação aceitável, influenciando na melhoria da qualidade. De modo simplificado, a extração de minérios no Brasil ocorre com lavra a céu aberto, seguido de beneficiamento e expedição. Esta última etapa é o foco deste trabalho, onde ocorre o transporte dos minérios beneficiados até o porto para serem comercializados. Diante do exposto e da importância da acurácia das informações realizou-se um estudo em uma mineradora multinacional, localizada no sudeste do Estado do Pará que, dentre outros minérios, produz minério de cobre concentrado. No ano de 2019, foi observado um histórico de divergências de pesagem fora dos limites de especificação, sinalizando um processo fora de controle. Portanto, a investigação das principais causas das divergências de peso do produto concentrado de cobre é tão importante.

## METODOLOGIA

Estudos que visam medir graus de diferenças em processos produtivos, enquadram-se numa grande área conhecida como gestão e avaliação da qualidade, em particular neste trabalho, o foco são nas atividades operacionais no processo produtivo de minério de cobre. Desta forma, para produzir a qualidade no contexto deste estudo, seguiu-se o processo de avaliação da qualidade, o qual Paladini (2019) apresenta algumas características e descrições conforme a seguir:

- **Passo 1 (O que avaliar?):** Definir o item de interesse desta avaliação, que conforme seção 1, trata-se das divergências de peso desde a saída da carga (mina) ao recebimento (armazém), do produto minério de cobre concentrado e transportado por carretas basculantes.
- **Passo 2 (Por que avaliar?):** Justificar a avaliação da qualidade, considerando: [1] confiabilidade das informações, ou seja, do volume de produção e qualidade do teor de minério e foco no atendimento dos interesses dos clientes finais e; [2] o processo produtivo que enfatiza as atividades-fim (peso no recebimento), dado através da atividade-início (peso na mina), analisando as consequências das atividades-meio (causas) que, por sua vez, impactam diretamente nos custos de produção.
- **Passo 3 (Como avaliar?):** Aplicar uma metodologia analisando a gestão da qualidade no processo que engloba a busca por eliminação de perdas, otimização do processo e inserção da avaliação do processo nos objetivos globais da organização.

Ressalta-se que esse processo de avaliação da qualidade descrita em passos, visa dimensionar, delimitar e direcionar o enfoque das ações da gestão da qualidade. Logo, a partir do enquadramento teórico, este trabalho baseia-se na metodologia PDCA (Planejar, Executar, Checar,

Agir, do inglês *Plan, Do, Check, Act*) como forma inicial de investigar as causas geradores do problema em estudo. Devido sua praticidade cíclica e ininterrupta, colabora para promover a melhoria contínua e sistemática da organização consolidando a padronização de práticas (Chen & Li, 2019). Tratando-se de gestão da qualidade no processo (Defeo & Juran, 2015) propõem que a organização precisa considerar no plano estratégico, as metas e políticas de qualidade e a conversão dessas metas em resultados, que são alcançadas por meio de processos gerenciais estabelecidos. A gestão voltada para a qualidade faz uso amplo de três processos gerenciais: [1] Desenvolvimento de *design* ou planejamento voltado para qualidade; [2] Conformação, controle ou garantia da qualidade; e [3] Melhoria ou criação de saltos da qualidade. Esses três processos são conhecidos como *Trilogia Juran* e são interrelacionados (Juran, 1997). A partir dos conceitos apresentados, este trabalho foi desenvolvido da seguinte forma: identificou-se o problema, realizou-se a coleta de dados durante todo o ano de 2019, através do banco de dados do sistema de gestão da empresa. Após isso, utilizou-se a metodologia PDCA, na qual a etapa de Planejamento (P), foi subdividida em: análise e descrição do processo, apresentada na seção 3; e identificação do problema e análise do fenômeno, apresentados na seção 4. Em seguida, deu-se continuidade às etapas subsequentes do planejamento, avaliando e discutindo a aplicação da metodologia na seção 5, realizando o processo de investigação das causas e o estabelecimento do plano de ação, onde as diversas ferramentas da gestão da qualidade foram aplicadas. Por fim, as considerações finais foram apresentadas na Seção 6.

## DESCRIÇÃO DO PROCESSO

**Macroprocesso de Produção:** O processo predominante no Brasil de extração de minerais é o método de lavra a céu aberto, posteriormente seguido da etapa de beneficiamento, sendo finalizado com a etapa de expedição. Este processo pode ser realizado de forma multimodal, integrando minas, ferrovias e portos até o minério ser entregue ao cliente. Para garantir a confiabilidade desse sistema de escoamento vários controles de *compliance* são estabelecidos (Zvarivadza, 2018). Dentre os controles de *compliance* definidos nas operações de escoamento do cobre das minas, destaca-se a gestão de pesagem do concentrado de cobre transportado por carretas basculantes. O objetivo da pesagem é mensurar os volumes produzidos, os estoques, os ajustes contábeis, a expedição e evitar desvio de carga no trajeto. Porém, ao se analisar as divergências de peso de saída da carga da área de mina até o recebimento no armazém foi possível identificar expressiva variabilidade dos dados em relação aos limites de especificação, sinalizando um processo fora de controle. O sistema de produção do cobre refere-se às rotas tecnológicas adotadas pelas indústrias para a produção do cobre. Assim, conforme Wang, et al. (2015), existem três rotas básicas: pirometalúrgica (produção primária), hidrometalúrgica (produção primária) e produção secundária. Este estudo trata-se de uma produção pirometalúrgica, comumente aplicada à concentrado de sulfeto de cobre, cujo macroprocesso foi definido pelas etapas: extração, beneficiamento e escoamento. A etapa de extração do cobre é realizada através do método de lavra a céu aberto, devendo-se definir ciclos para viabilizar o melhor aproveitamento da jazida. Na etapa de beneficiamento, o minério passa por um tratamento físico-químico para se adequar às exigências do cliente (Barreto, 2020), sendo constituída por:

- **Britagem:** é o conjunto de operações que fragmentam os blocos de minérios originários da mina, levando-os a granulometrias compatíveis para posterior processamento;
- **Moagem:** é o último estágio do processo de fragmentação, havendo redução das partículas através da combinação de impacto, compressão, abrasão e atrito, tornando-as em um tamanho adequado à liberação do mineral de interesse, geralmente, a ser concentrado nos processos subsequentes;
- **Flotação:** é a separação feita em uma suspensão em água (polpa) das espécies minerais, considerando a capacidade de suas partículas se prenderem a bolhas de gás e se deslocarem verticalmente a superfície, onde ficam retidas e separadas em

uma espuma, enquanto as demais partículas das espécies minerais mantêm sua rota no fluido;

- **Filtragem:** garante a unidade adequada do concentrado de cobre através de um complexo sistema de filtragem. Este parâmetro é extremamente relevante durante o descolamento do minério até o cliente, seja por modal rododiferroviário ou marítimo.

Após o beneficiamento do minério, são formadas pilhas de estoque temporárias nas filtragens das plantas, para que seja realizado o escoamento do produto acabado até o cliente. O escoamento do concentrado de cobre das minas ao porto resulta em um complexo logístico de transporte de minério. De modo a atender os objetivos da empresa, adota-se o transporte multimodal.

**Descrição do Processo em Estudo:** A etapa de escoamento do minério produzida na mina em estudo, consiste no transporte por caminhões basculantes até o entreposto, onde ocorre a mudança de modal de transporte rodoviário para ferroviário. Em seguida, o produto é encaminhado em vagões ao porto de São Luís, no Maranhão, através do transporte ferroviário de cargas. O fluxo do transporte modal de escoamento é apresentado na Figura 1.



Figura 1. Fluxo Transporte Multimodal de Escoamento de Minério

O processo de pesagem dos caminhões rodoviários ocorre em duas fases do processo. Ao chegar na mina, em uma balança rodoviária, é realizada a pesagem inicial do caminhão para retirar o peso inicial (tara), etapa denominada peso na origem. Em seguida, o caminhão é direcionado a um galpão onde estão formadas as pilhas de estoque do produto acabado. Após o carregamento do caminhão, é realizada a pesagem final e obtém-se o peso bruto (PBT). Durante o carregamento do caminhão é realizada a coleta de amostra e enviada ao laboratório para realizar a determinação de umidade do material. Essa primeira fase do processo consta na Figura 2.



Figura 2. Fluxo de Pesagem de Caminhão na Minas

Para suportar este processo são adotados alguns sistemas de controle. O sistema CAP (Captura Automática de Pesagem) captura os pesos, lança esses dados ao sistema SAP que através de uma planilha eletrônica, consolida os dados de pesagem e emite um relatório de pesagem. Estes controles visam evitar lançamentos manuais garantindo assim a confiabilidade da informação. Após a realização da pesagem final, ocorre o transporte do minério por meio de caminhões até o armazém de cobre, na cidade do sudeste do estado do Pará. Nele, acontece a segunda fase de pesagem do minério, denominada de recebimento, de acordo com a Figura 3. Ao chegar no

armazém é realizada a pesagem inicial do caminhão, seguindo um fluxo inverso à etapa anterior, sendo efetuado o basculamento da carga e realizado uma inspeção visual para verificar a existência de material agregado na caçamba do caminhão. Em seguida, o caminhão retorna à balança para a pesagem final, que consiste em processar o peso da tara da carreta. Assim como ocorre na primeira fase, são adotados como controle os sistemas CAP, SAP e relatório de pesagem. Ao capturar os pesos final e inicial (tara e PBT) o sistema calcula a diferença e obtém o peso líquido, este é o número da massa recebida no armazém sendo utilizado para contabilizar o estoque no galpão de armazenamento. Após o basculamento no galpão, é realizado o carregamento dos vagões de trem para transporte do cobre até São Luís, no estado do Maranhão e, posteriormente, ao porto, através de navios de carga. Para identificar se há variação nos pesos entre os postos, é realizada uma comparação entre os pesos líquidos de origem e destino. Deste modo, têm-se como limites de especificação do processo  $\pm 0,0125\%$  de variação, valor determinado pela própria empresa.



Fonte: Os autores, 2020.

Figura 3. Fluxo de Pesagem de Caminhão no Armazém

## ANÁLISE E IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA

**Identificação do Problema:** Os dados dos pesos coletados a partir das pesagens dos caminhões na saída das plantas das minas do Sossego e Salobo são utilizados para contabilizar os volumes de produção dos dois empreendimentos minerários, bem como para fins fiscais, tributários e de gestão de estoque. Em função disso, é imprescindível controlar o processo para evitar perdas, desta forma, aplica-se uma redundância que consiste em pesar a carga na origem e no destino. Assim, é possível comparar os pesos da massa transportada e identificar se há divergência; caso constatada, ela deve ser analisada e tratada. Para o processo em estudo, existem limites específicos que são utilizados como início para se realizar uma análise de desvio, entretanto ao se avaliar as variáveis que o constituem, nota-se variabilidade e limites fora de controle. O problema foi identificado devido às diferenças dos pesos líquidos da origem x destino que, de acordo com o procedimento operacional, não podem ultrapassar os limites de especificação. Para exemplificar este processo, foi realizado o mapeamento do caminho que os caminhões realizam da mina ao armazém, bem como os controles envolvidos. As diferenças líquidas da mina x armazém obtidas a partir do peso líquido capturado no armazém reduzido pelo peso líquido da origem, são expressas conforme (1):

$$\Delta_L = PL_a - PL_o \quad (1)$$

Onde,  $\Delta_L$  representa a diferença líquida entre o peso líquido do armazém ( $PL_a$ ) e o peso líquido da origem ( $PL_o$ ). Para analisar quantitativamente as variações de peso líquido, de um local a outro, foram coletados dados da planilha de pesagem durante um período de 180 dias, referente aos meses de janeiro a dezembro de 2019. Considera-se que, diariamente, são realizados em média 26 pesagens, cujas médias diárias apresentam-se na carta de controle da Figura 4. É possível observar a dispersão das médias de pesagem, variando acima e abaixo dos limites de especificação (linhas vermelhas) indicados pela empresa.

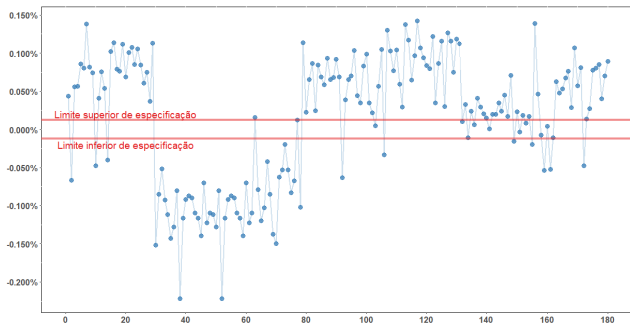


Figura 4. Carta de controle da média  $\Delta$  peso líquido origem x destino (%)

**Analisando a Variabilidade das Pesagens:** Os pesos líquidos em cada localidade são calculados a partir do Peso Bruto Total do Caminhão (PBT) e da tara, ou seja, do caminhão carregado de concentrado de cobre e da carreta sem o material na caçamba. Por meio dessas medidas é possível determinar o peso da carga, conforme (2) e (3). As etapas nas quais cada medida é encontrada estão demonstradas na Figura 5.

$$PL_o = PBT_o - TARA_o \quad (2)$$

$$PL_a = PBT_a - TARA_a \quad (3)$$

Em que,  $PBT_o$ : peso bruto total na origem,  $TARA_o$ : tara na origem,  $PBT_a$ : peso bruto total no armazém e  $TARA_a$ : tara no armazém.

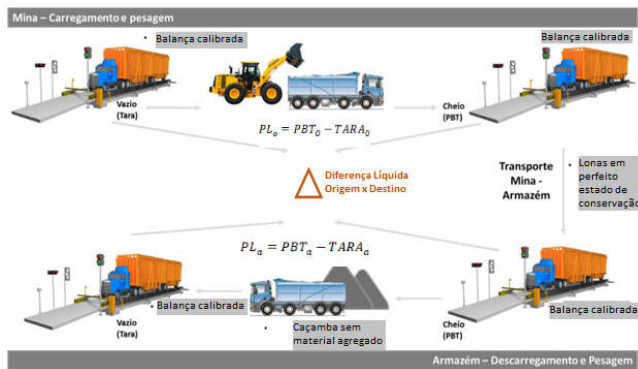


Figura 5. Esquema para obtenção do peso líquido na origem e no armazém

Observa-se que no *design* do processo em estudo foram indicados os controles adotados para garantir medidas mais precisas e confiáveis, sendo eles: a calibração das balanças rodoviárias durante as pesagens; o “enlonamento” dos caminhões durante o transporte da mina ao armazém; e a verificação de material agregado na caçamba do caminhão durante o descarregamento da carga no destino. O trajeto percorrido da mina Sossego ao armazém de cobre também foi considerado na análise, sendo igual a 89 Km (a análise para Salobo é análoga, pois o fluxo e o problema são parecidos). As diferenças de peso bruto total entre esses locais foram definidas a partir de (4) e a variabilidade dessas diferenças, dentro do período analisado (180 dias), foi disposta em uma carta de controle.

$$\Delta_V = PBT_a - PBT_o \quad (4)$$

Sendo,  $\Delta_V$ : a diferença do PBT da viagem,  $PBT_a$ : peso bruto total no armazém,  $PBT_o$ : peso bruto total na origem. Para o entendimento do fenômeno em estudo, ainda foi necessário verificar as variações das Taras nos locais de pesagem, visto que esta medida compõe o peso líquido da carga. Esta diferença é dada pelo peso da tara na origem ( $TARA_o$ ) subtraído do peso da tara no armazém ( $TARA_a$ ), denotada por (5). Como forma de avaliar a interferência dos pesos das taras no peso líquido foi elaborada mais uma carta de controle referente as médias diárias das diferenças de peso da Tara.

$$\Delta_T = TARA_o - TARA_a$$

Onde,  $\Delta_T$ : diferença do peso da tara,  $TARA_o$ : tara na origem,  $TARA_a$ : tara no armazém.

Finalmente, foi verificado o momento em que ocorre o abastecimento dos caminhões e, em seguida, indicado no fluxo de pesagem, cujas grandezas obtidas foram consolidadas para se obter uma visão geral visualizada na Figura 6. Constatou-se, então, que os caminhões são sempre abastecidos com combustível na mina, antes de iniciar as pesagens. Por fim, o desdobramento do problema proporcionou uma investigação mais detalhada do processo.

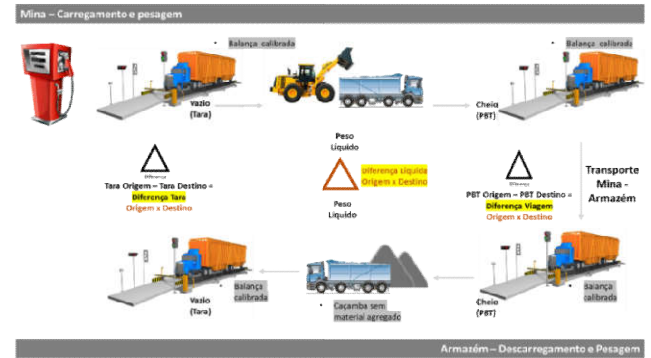


Figura 6. Esquema das grandezas de peso obtidas no processo de pesagem

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Observa-se que no ano de 2019 houve uma perda total ( $\sum \Delta$ ) de 282.230 kg durante o transporte da carga, com média diária ( $\bar{x}$ ) de 60,72 kg. Referente ao peso líquido a perda total foi de 34.300 kg com uma média por dia de 7,38 kg. Com relação à tara, não houve perdas, entretanto, houve ganho total de 247.930 kg com média de 53,34 kg por dia. A partir das equações (2) e (3), substituídas em (1), é possível concluir que as variações do PBT durante a viagem ( $\Delta_V$ ) somadas às variações da tara ( $\Delta_T$ ), compõe a variação do peso líquido de origem x destino ( $\Delta_L$ ), conforme (6). Portanto, torna-se necessário explicar como ocorrem os ganhos na tara e perdas durante a viagem.

$$\Delta_L = \Delta_V + \Delta_T \quad (6)$$

Inicialmente foi analisada a variação de peso da viagem, isto é, a perda de 60,72 kg/dia. Deste modo, a primeira investigação realizada foi referente à influência do combustível utilizado nos caminhões. Estes, são do modelo Scania G 440 e possuem tanque de combustível com capacidade de 450 litros e consumo médio de 2,5 km/L. O combustível utilizado é o diesel S10, com densidade média de 0,84 kg/L, cujo abastecimento sempre ocorre na mina, antes de serem carregados com o minério e percorrerem um trajeto de 89 km até o armazém. Em seguida, foi calculado o consumo médio de combustível por caminhão em kg, conforme (7):

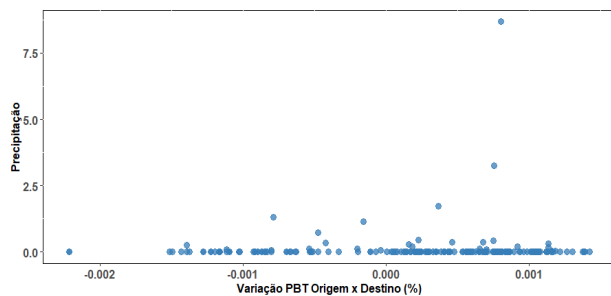
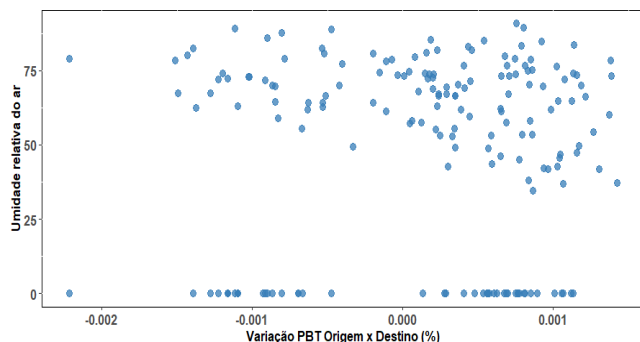
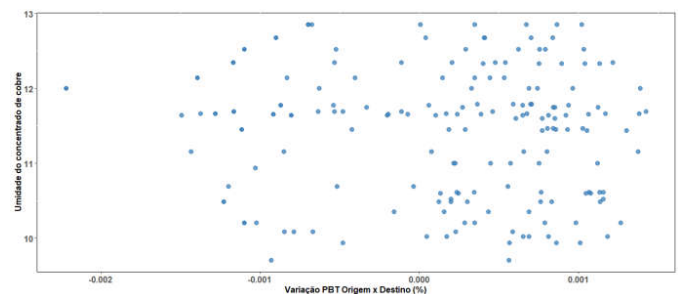
$$\text{Combustível em kg} = \left( \frac{\text{distância}}{\text{consumo médio}} \right) \times \text{densidade do combustível}$$

Assim, pode-se calcular que dos 60,72 kg de perda durante a viagem, 29,90 kg correspondem ao combustível do caminhão, restando ainda investigar a causa dos outros 30,82 kg. Neste sentido, foram determinados os principais fatores que poderiam impactar no peso da carga durante o transporte, sendo eles: precipitação, pois no caso de haver chuva e alguma avaria nas lonas dos caminhões, haveria influência no peso; umidade relativa do ar e umidade do concentrado de cobre. Para os dois primeiros, foram coletadas informações do (INMET - Instituto Nacional de Meteorologia 2019) obtendo-se os dados do período analisado.

Quadro 1. Proposta de solução

CAUSA FUNDAMENTAL	ANÁLISE	PROPOSTA DE SOLUÇÃO
Presença de material agregado na caçamba do caminhão	Devido a granulometria do concentrado de cobre e sua umidade combinado ao material da caçamba do caminhão, é comum durante o basculamento não deslizar todo o material até a pilha de estoque ficando ainda uma massa residual.	Testes com revestimentos 100% deslizantes nas caçambas.
Ausência de inspeção da balsa após o descarregamento da carga	Devido à dificuldade por restrições de segurança dos envolvidos na atividade a inspeção se torna inviável e muitas não é realizada, pois não existem condições seguras para fazê-la em tempo curto.	Havendo um revestimento 100% deslizantes nas caçambas dos caminhões a inspeção de tornaria desnecessária uma vez que reduziria as chances de material agregado.
Falta de <i>check</i> pelo balanceiro de possíveis diferenças de peso (origem x armazém)	Nenhum dos recursos utilizados para registrar os pesos (CAP, SAP e Planilha de pesagem) fornecem a informação da ocorrência da divergência do peso o momento do recebimento do caminhão no armazém, e o balanceiro por falta de tempo e conhecimento não realiza o cálculo manual para verificar se estão dentro do limite de especificação.	Desenvolver Andon no sistema CAP de modo de alertar o operador da ocorrência de divergência de pesos, caso houver, de modo que este atue na investigação da falha ou relato da divergência.
Registromanual	Os registros manuais ocorrem devido a impossibilidade de uso do sistema, por problema de ausência de energia, no computador ou até mesmo na captura dos pesos pelo CAP, para não paralisar a operação os balanceiros seguem a atividade realizando pesos manuais.	Funcionamento do sistema CAP no modo <i>off-line</i> . Instalação de gerador de energia para as salas de pesagem das carretas.
Indisponibilidade do sistema (CAP/SAP)	Ocorre quando há falha na rede de internet.	Funcionamento do sistema CAP no modo <i>off-line</i> .
Falta de sincronização dos dados (sem apontamento do recebimento no armazém)	Advém da sincronização dos sistemas CAP e SAP a planilha de pesagem.	Desenvolver módulos no sistema CAP que forneça as informações da planilha de modo a eliminar a necessidade de seu uso e assim utilizando apenas dois sistemas elimina as falhas de sincronização.
Processo não fornece mecanismos ao empregado para identificar as divergências e atuar conforme define o procedimento	Nenhum dos recursos utilizados para registrar os pesos (CAP, SAP e Planilha de pesagem) fornecem a informação da ocorrência da divergência do peso o momento do recebimento do caminhão no armazém, e o balanceiro por falta de tempo e conhecimento não realiza o cálculo manual para verificar se estão dentro do limite de especificação	Desenvolver Andon no sistema CAP de modo de alertar o operador da ocorrência de divergência de pesos, caso houver, de modo que este atue na investigação da falha ou relato da divergência.

Com referência a umidade do concentrado de cobre, os dados foram adquiridos a partir de relatórios de controle de qualidade, que apresentam as amostras obtidas durante o carregamento do caminhão na mina, sendo realizada a cada dez caminhões. A avaliação da correlação dessas informações com as variações do peso bruto, origem x destino, foi realizada por meio de gráficos de correlação visualizados na Figura 7, Figura 8 e Figura 9.

Figura 7. Correlação  $\Delta$  PBT origem x destino (%) e precipitaçãoFigura 8. Correlação  $\Delta$  PBT origem x destino (%) e umidade relativa do arFigura 6. Correlação  $\Delta$  PBT origem x destino (%) e umidade do concentrado de cobre

De acordo com as observações realizadas, pode-se concluir que a precipitação, a umidade relativa do ar e a umidade do concentrado de cobre não interferem significativamente nas diferenças de peso bruto total. O grau de correlação dessas variáveis é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Coeficiente de correlação das variáveis do PBT.

	Precipitação	Umidade Relativa do Ar	Umidade do Concentrado de Cobre
$\Delta$ PBT Origem x Destino	10%	5%	20%

De forma similar, o coeficiente  $R^2$  apresentado nos gráficos de dispersão acima, reforçam a baixa correlação entre os dados, visto que, quanto mais próximo de 1, maior a representatividade da variável do eixo x ao explicar o comportamento da variabilidade que ocorre com a variável do eixo y. Porém, este grau de explicação também é baixo, considerando que não ultrapassam 0,5. Após a análise dos fatores quantificáveis, que poderiam interferir nas diferenças de peso durante a viagem, foi realizada uma avaliação dos motivos das variações da tara.

Portanto, foi considerada apenas a precisão das balanças como causa potencial. A partir disso, foram examinados os certificados de calibração do instrumento de pesagem. Em 2019, houve duas calibrações das balanças: janeiro e novembro. Os certificados são emitidos por empresas credenciadas pelo (INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia 2017) seguindo as normas de calibração previstas na NBR ISO/IEC 17025. Os instrumentos de pesagem utilizados são balanças de precisão do tipo rodoviária, que são menos sensíveis à flutuação de temperatura e correntes de ar, produzindo leituras estáveis em uma faixa mais ampla de condições ambientais, sendo próprias para o uso industrial. Informações técnicas encontram-se na Tabela 3.

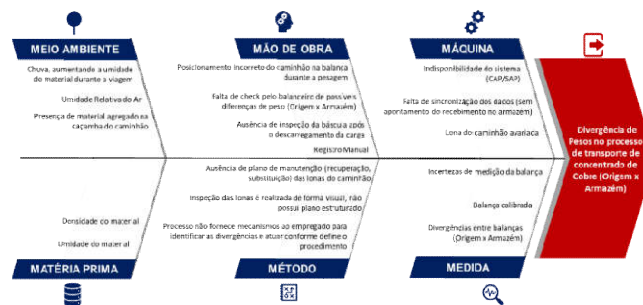
**Tabela 1. Informações técnicas das balanças rodoviárias**

Marca	Modelo	Capacidade Máxima	Carga Mínima	Resolução	Classe de Exatidão
Mettler	820 PM3	80.000 kg	200kg	10kg	III
Toledo					

A resolução é a menor divisão da balança, isto é, a menor indicação observada na balança; enquanto a classe de exatidão determina os erros máximos permitidos apresentados nas normas do INMETRO. As calibrações são realizadas utilizando padrões de 500 kg aplicados com auxílio de caminhão Munck. Sempre que recebem o laudo, os responsáveis analisam e validam de acordo com os critérios de aceitação definidos para o processo. São eles: [1] incerteza expandida:  $\pm 10$  kg; [2] erro máximo:  $\pm 20$  kg; [3] tolerância máxima:  $\pm 20$  kg e; [4] carga aceitável para calibração, tendo o mínimo de 4 pontos intercalados entre 0 kg e 10.000 kg. Os ensaios de calibração são realizados com testes de fidelidade, excentricidade e pesagem, baseados em (INMETRO, 2017). E, definidos a seguir:

- **Fidelidade:** são as diferenças apresentadas quando é depositado o mesmo peso várias vezes para verificar se a balança indica sempre o mesmo valor. Por meio desse teste, é possível determinar a incerteza de medição do instrumento.
- **Excentricidade:** verifica se um mesmo peso colocado em qualquer posição da plataforma de pesagem não apresenta variações na leitura obtida. Essa capacidade de reproduzir um determinado valor em toda a sua extensão útil evita de o operador precisar escolher a melhor posição para pesar o material.
- **Pesagem:** compara a leitura da balança ao serem aplicados diferentes pesos, avaliando se existe variação em relação a eles.

Primeiramente, foi avaliado se os laudos de calibração correspondem aos critérios de aceitação definidos para o atender o processo. No teste de fidelidade, para as quatro calibrações realizadas em 2019 (duas em cada balança, mina e armazém), foram realizados 5 ensaios que resultaram em uma incerteza expandida de  $\pm 5,8$  kg. No teste de excentricidade foram averiguadas 6 posições de carga; enquanto no teste de pesagem foram aplicadas 6 cargas com pesos diferentes que variavam de 0 kg a 22.730 kg para a balança do armazém, e de 0 kg a 22.560 kg para a balança da mina. Todos os valores encontraram-se dentro dos parâmetros esperados. Outra análise realizada foi referente ao uso prolongado das balanças, no qual foi verificado se ao longo do tempo, com o uso, elas perdem precisão. Entretanto, os resultados do laudo de janeiro comparados ao laudo de novembro de cada uma das balanças, apontam precisão dos instrumentos, não sendo identificados variações de incerteza de medição. Além disso, foram verificados os resultados dos testes comparando-se os laudos de janeiro da balança do armazém com os laudos da balança da mina, ocorrendo o mesmo com os certificados de novembro. A análise demonstrou também que ambos os instrumentos possuem os mesmos parâmetros, concluindo-se que ambas não provocam diferenças de peso da tara. Com intuito de explicar o ganho de 53,34 kg da tara e a perda ainda não justificada de 30,82 kg da viagem, esta investigação foi complementada com uma ferramenta qualitativa da qualidade, o diagrama de causa e efeito. Deste modo, foram levantadas as possíveis causas do problema classificando-as nos 6Ms (Meio Ambiente, Mão de Obra, Máquina, Matéria Prima, Método e Medida), conforme o diagrama da Figura 10.



**Figura 7. Diagrama de causa e efeito – possíveis causas**

Em seguida foram descartadas as causas que possuíam relação com a investigação quantitativa realizada até o momento, visto que não foram evidenciadas influências negativas destas para a ocorrência do problema em estudo. Desta forma, a incidência de chuva, umidade relativa do ar e umidade do concentrado de cobre foram eliminadas, devido a comprovação de baixa correlação com as diferenças de peso. O posicionamento incorreto do caminhão durante a pesagem, as incertezas de medição das balanças, bem como as calibrações e as divergências entre elas, também foram desconsideradas, devido análises expostas anteriormente. As causas envolvendo as lonas dos caminhões também foram invalidadas, conforme análises anteriores, pois haveria influência em caso de chuva, afetando a umidade do material transportado e, conseqüentemente, seu peso. E, por falta de dados da densidade do material, essa causa não foi analisada. Logo, restaram 7 causas fundamentais a serem averiguadas. A realização de entrevistas com os envolvidos confirmou a importância dessas causas serem analisadas. Assim, foi elaborada uma proposta de solução para eliminá-las, conforme Quadro 1, considerando que, uma vez bloqueadas, o processo retorna à normalidade, ou seja, as variações de peso ficam dentro dos limites especificados. Em resumo, as propostas de bloqueio das causas são: revestimento nas básculas das carretas; instalação de gerador de energia; melhorias no CAP com o Andon, funcionamento no modo *off-line* e utilização de módulos que forneçam todas as informações sem a necessidade de uso da planilha eletrônica. Dessa forma, simplificaria o processo eliminando inspeções nas caçambas das carretas, otimizando o tempo e reduzindo, conseqüentemente, os riscos de paradas ou registros manuais por falta de energia. Além disso, o aperfeiçoamento do sistema de captura de pesagens não admitiria impactos no desenvolvimento das atividades, em caso de indisponibilidade de rede; enquanto a implantação de módulos, possibilitaria a centralização dos dados, assim como a aplicação de Andon para sinalizar falhas e atuarem imediatamente na correção. Finalmente, para assegurar a efetivação dessas deliberações e eliminar as causas e seus efeitos, conduzindo o processo dentro de controle, foi elaborado um Plano de Ação aplicando-se a ferramenta 5W2H, tornando os funcionários envolvidos cientes das suas tarefas.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho proporcionou uma grande oportunidade ao realizar um processo de avaliação da qualidade em uma empresa de mineração, localizada no sudeste do Estado do Pará. Os resultados foram obtidos através de extensa análise, onde algumas ferramentas da gestão da qualidade puderam ser aplicadas, como fluxograma, cartas de controle, gráficos de dispersão e diagrama de causa e efeito. Finalizando com a indicação de um plano de ação e realização do 5W2H. As análises quantitativas permitiram explicar uma perda de 29,90 kg pelo combustível do caminhão e descartar algumas causas potenciais, que inicialmente acreditava-se ser as razões dos desvios de pesagens dos outros 30,82 kg durante a viagem. Essa investigação também propiciou a eliminação da incerteza de medição das balanças como causa do ganho de 53,34 kg na tara. Complementando o processo investigativo, o diagrama de causa e efeito proporcionou a indicação de 7 causas principais que, após comprovadas, possibilitaram a elaboração de uma proposta de solução que visa

bloqueá-las. Deste modo, o estudo evidenciou como análises qualitativas podem ser fundamentais para identificar causas especiais que provocam variações indesejáveis nos processos e, a partir disso, tomar decisões que melhorem o processo reduzindo flutuações, desperdícios e custos, mantendo o negócio competitivo. A implementação de ações que eliminam causas de problemas evitará seus efeitos, ou seja, eliminando-se a grande variabilidade nas medidas de pesagem, tornará o processo atuante dentro da normalidade. No entanto, como projetos futuros indica-se a avaliação de capacidade do processo e a verificação dos dados das pesagens após as ações implementadas, para constatar a suficiência em solucionar o problema. Finalmente, reduzindo as variações e mantendo o processo dentro dos limites especificados.

## REFERÊNCIAS

- ANM, 2020. Agência Nacional de Mineração. *Anuário Mineral Brasileiro: Principais Substâncias Metálicas 2019*. Brasília: ANM.
- Ayub, Sohail, Ali Akbar Mohammadi, Mahmood Yousefi, and Fazlollah Changani. 2019. "Performance evaluation of agro-based adsorbents for the removal of cadmium from wastewater." *Desalination and Water Treatment* 142: 293-299.
- Barreto, Paula Bernardes. 2020. "Caracterização e concentração do minério de cobre da Mineração Caraíba." Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 113 f.
- Chen, Yan, and haoqi Li, 2019. "Research on Engineering Quality Management Based on PDCA Cycle." *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 490, no. 062033.
- Clune, Conor, and Brendan O'Dwyer. 2020. "Framing Engagement that Resonates: Organizing Advocacy for Corporate Social and Environmental Accountability." *European Accounting Review* 29, no. 5: 851-875.
- Défio, J. A., and J. M. 2015. Juran. *Fundamentos da Qualidade para Líderes*. Porto Alegre: Bookman.
- Dong, Di, Laurant van Oers, Arnold Tukker, and Ester van der Voet. "Assessing the future environmental impacts of copper production in China: Implications of the energy transition." *Journal of Cleaner Production* 274 (2020).
- Drummond, Pamela, Fernando Araújo, and Renata Borges. "Meeting halfway: Assessing the differences between the perceptions of ERP implementers and end-users." *Business Process Management Journal* 23, no. 5 (2017): 936-956.
- Fernandes, Rafael da Silva. "Compartmental Epidemiological Models for Covid-19: Sources of Uncertainty, Goodness-of-Fit and Goodness-of-Projections." *IEEE Latin America Transactions* 19.6 (2021): 1024-1032.
- Feliciano, Anderson Feitosa Silva, and Solange Garcia. "Divulgação Socioambiental: Relato sobre Rejeitos Minerais das Empresas de Mineração no Brasil." *Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente*, 11 2020.
- Gan, Yu, and W. Michael Griffin. "Analysis of life-cycle GHG emissions for iron ore mining and processing in China—Uncertainty and trends." *Resources Policy* 58 (2018): 90-96.
- Garcia, S., Y. C. Cintra, Ribeiro M. Souza, and B. Santiago Dibbern. "Qualidade da divulgação socioambiental: um estudo sobre a acurácia das informações contábeis nos relatórios de sustentabilidade." *Revista Contemporânea de Contabilidade* 12, no. 25 (2015): 67.
- IEA, International Energy Agency. "Key world energy statistics." *Energy Agency*, 2009: 3.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. 2019. <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>.
- INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia. 2017. [www.inmetro.gov.br](http://www.inmetro.gov.br).
- Juran, Joseph M. *Juran, J. M. (1997). A qualidade desde o projeto: novos passos para o planejamento da qualidade em produtos e serviços*. Cengage Learning Editores., 1997.
- Luz, Adão Benvindo da, e Fernando A. Freitas Lins. "Introdução ao Tratamento de Minérios." Em *Introdução ao tratamento de minérios*, por Coordenação de Processos Minerais - COPM, 3-20. Rio de Janeiro: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2018.
- MME - Ministério de Minas e Energia. *Programa Mineração e Desenvolvimento – Plano de Metas e Ações 2020/2023*. 2020. <http://antigo.mme.gov.br/documents/36108/1260630/Programa+Minera%C3%A7%C3%A3o+e+Desenvolvimento+-+PMD+2020-2023/8fbcee73-e143-860e-dbd3-bea24cb5539a?version=1.1>.
- Moreno-Leiva, Simón, et al. "Renewable energy in copper production: A review on systems design and methodological approaches." *Journal of Cleaner Production*, 2020: e118978.
- Nicholls, Jeremy Andrew. 2020. "Integrating Financial, Social and Environmental Accounting." *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal* 11, no. 4: 745-769.
- Paladini, Edson Pacheco. *Gestão e Avaliação da Qualidade: Uma Abordagem Prática*. São Paulo: Atlas, 2019.
- Reichl, C., M. Schatz, and A. Masopust. 2020. *World Mining Data 2020*. <http://www.world-mining-data.info/wmd/downloads/PDF/WMD2020.pdf> (accessed 03 05, 2021).
- Ribeiro, João Vitor de Castro, Diego Luiz Teixeira Boava, Fernanda Maria Felício Macedo, and Jussara Jéssica Pereira. 2019. "O Rompimento da Barragem da Samarco e a Construção de Significados: O Caso de Agentes Públicos de Órgãos de Amparo e Socorro aos Atingidos pela Lama." *Revista Estudos Organizacionais e Sociedade* 6, no. 15: 115-162.
- Romero, Sérgio Luiz Gusmão Gimenes. 2020. "A economia no meio do caminho: mineração e endividamento no Drummond da década perdida." *Literatura: Teoria, história e crítica* 22, no. 2: 127-151.
- Shen, Xun, Lingen Chen, Shaojun Xia, Shaojun Xie, Zhihui Xie, and Xiaoyong Qin. 2018. "Burdening proportion and new energy-saving technologies analysis and optimization for iron and steel production system." *Journal of Cleaner Production* 172: 2153-2166.
- Tornelli, F. R. et al. 2017. *A utilização de ferramentas de gestão da qualidade no desempenho de uma usina de beneficiamento mineral*. Minas Gerais.
- Wang, Hong Tao, Yu Liu, Xian Zheng Gong, Zhi Hong Wang, Feng Gao, and Zuo Ren Nie. 2015. "Life Cycle Assessment of Metallic Copper Produced by the Pyrometallurgical Technology of China." *Materials Science Forum* 814: 559-563.
- Warell, Linda. 2018. "An analysis of iron ore prices during the latest commodity boom." *Mineral Economics* 31: 203-216.
- Xu, Lu, Xianghui Peng, Robert Pavur, and Victor Prybutok. 2020. "Quality management theory development via meta-analysis." *International Journal of Production Economics* 229: e107759.
- Zvarivadza, T. 2018. "Sustainability in the mining industry: An evaluation of the National Planning Commission's diagnostic overview." *Resources Policy* 56 70-77.

\*\*\*\*\*