

## ESTRATÉGIA PARA REDUZIR A VARIABILIDADE NO TEOR DE $\text{SiO}_2$ DE *SINTER FEED* ATRAVÉS DA METODOLOGIA SEIS SIGMA (6S)

B. M. M. CAMPOS<sup>1</sup>, N. L. D. C. D. JUNIA<sup>2</sup>, D. B. MAZZINGHY<sup>3</sup>, P. H. A. CAMPOS<sup>4</sup>

Universidade Federal de Minas Gerais

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8475-9000><sup>1</sup>

[brendamcampos16@gmail.com](mailto:brendamcampos16@gmail.com)<sup>1</sup>

Submetido 11/01/2020- Aceito 08/06/2020

DOI: 10.15628/holos.2021.9394

### RESUMO

Numa mineradora de ferro, que possuía como problema a alta variabilidade no teor de  $\text{SiO}_2$  do *Sinter Feed* produzido, foi desenvolvido um Projeto Seis Sigma (6S) buscando alcançar a redução dessa variação. As produções diárias da usina devem buscar alcançar uma meta de teor mensal, que é previamente acordado com os clientes. Durante o período de um ano os dados do teor de  $\text{SiO}_2$  na produção diária foram coletados e analisados e verificou-se que, mensalmente, em média apenas 51% dos dias o produto possuía teores dentro das especificações e deu-se o nome de aderência ao indicador que mediu esse fato. Estabeleceu-se como meta desse indicador o valor de 62%. Após mapeamento do processo, determinou-se que a dificuldade de realizar

*blending* era um dos fatores prejudiciais ao processo. A ferramenta *Line-Up* e ferramentas de simulação se mostraram de grande valia no tratamento dessa causa. Através de um planejamento turno a turno de atividades e um eficiente alinhamento entre todas as equipes, foi possível que os serviços prévios necessários para a realização e manutenção da lavra fossem executados em tempo, sem prejuízo para o *blending*. Após um ano desde o início do projeto, a aderência alcançou uma média de 65%, acima do indicador proposto. Notou-se que o 6S se mostrou eficiente na análise dos processos, identificação e seleção das variáveis de impacto, tratamento dessas, e mensuração dos resultados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Projeto Seis Sigma, mineração, minério de ferro, sinter feed, ferramenta Line Up.

## STRATEGY TO REDUCE VARIABILITY IN $\text{SiO}_2$ CONTENT OF SINTER FEED USING SIX SIGMA (6S) METHODOLOGY

### ABSTRACT

In a mining company that had as a problem the high variability in  $\text{SiO}_2$  content of the produced Sinter Feed, it was developed a Six Sigma Project (6S) to reduce this variation. The daily plant production must reach a monthly grade target, which is the grade previously agreed with customers. During the period of one year, the data of  $\text{SiO}_2$  content in the daily production were studied and it was verified that, on average, only 51% of the days the product had contents within the specifications and the name of adherence was given to the indicator that measured that fact. The target of this indicator was set at 62%. After process mapping, the

difficulty of blending was determined to be a detrimental factor to the process. The Line-Up tool has been of great value in treating this cause. Through shift-by-shift planning and efficient alignment between all teams, it is possible that the prior services required for the performance and maintenance of the extraction are performed on time, without jeopardize the blending. One year after the start of the project, adherence averaged 65%, above the proposed indicator. It was noted that the 6S proved to be efficient in the analysis of processes, identification and selection of impactors, their treatment, and measurement of results.

**KEYWORDS:** Six Sigma Project, mining, iron ore, sinter feed, Line-Up tool.



## 1 INTRODUÇÃO

Diante de um cenário organizacional extremamente competitivo, as empresas têm buscado, cada vez mais, ferramentas e metodologias para tratar suas ineficiências. Como resultado das melhorias de processos alcançadas, as organizações aumentam sua competitividade, ganhando em produtividade e qualidade (Nair, Malhotra & Ahire, 2011).

Os projetos Seis Sigma (6S) são um dos artifícios que têm sido adotados pelas companhias em busca de redução da variação de seus processos críticos. Conforme Werkema (2002), essa metodologia é, na verdade, uma estratégia gerencial disciplinada, que tem como objetivo: i) aumentar a lucratividade e performance das corporações através da melhoria da qualidade dos processos e produtos; ii) proporcionar uma maior satisfação aos clientes.

O 6S surgiu numa empresa do ramo de telecomunicações, a Motorola. Entretanto, ao longo dos anos, diversos outros segmentos se tornaram adeptos à metodologia, como por exemplo tradicionais indústrias de automóveis, eletroeletrônicos, siderurgia e metalurgia, mecânica, química e petroquímica, além de outros ramos como farmacêutico, higiene e cosméticos (Andrietta; Miguel, 2007).

É interessante notar a existência de publicações acadêmicas voltadas a apresentar melhorias de desempenho obtidas, com o auxílio do 6S, na cadeia produtiva mineral (e.g. Coutinho, 2017; Soeiro & Oliveira, 2010; Steinberg, 2010; Reis, Santana & Euzébio, 2017; Correia, Rangel, Milanezi, Santos & Pereira, 2018). As etapas de extração, beneficiamento, manutenção de equipamentos e logística de transporte se mostraram as com maiores esforços em busca de uma melhor eficiência operacional.

Um projeto de 6S foi desenvolvido numa mineradora de ferro, buscando diminuir a variabilidade no teor de SiO<sub>2</sub> do *Sinter Feed* produzido. O ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Act*) foi o método utilizado na condução do projeto. Embora tradicionalmente o DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) seja a abordagem mais utilizada na condução desses trabalhos, segundo Werkema (2004) e Aguiar (2006), os métodos gerenciais DMAIC e PDCA são análogos e, entre eles, há mudança apenas na nomenclatura. Ambos são métodos sistemáticos que se baseiam em dados e uso de ferramentas estatísticas.

O objetivo desse trabalho é mostrar os resultados do projeto 6S, assim como apresentar o *Line-Up*, metodologia utilizada no planejamento diário de atividades. Essa ferramenta de TI (tecnologia da informação) se mostrou uma importante aliada no tratamento das causas levantadas do problema.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Embora estudos científicos da Qualidade tenham sido desenvolvidos apenas a partir do início do século XX, esse conceito remonta aos primórdios da civilização. Segundo Yong e Wilkinson (2002), na Idade Antiga os egípcios já utilizados instrumentos de medição e controle de alinhamento, tais como compasso e esquadro em suas pinturas, assim como os chineses, por volta do século 21 a.C, na construção de suas carroças e bigas.



Durante a Idade Média, o conceito de Qualidade estava muito associado à inspeção, realizada por supervisores, após a produção dos artesãos. Entretanto, como a produção era em pequena escala, esse controle de qualidade, quando havia, era conduzido de maneira informal (Yong & Wilkinson, 2002).

A Revolução Industrial e posteriormente a Primeira Guerra Mundial estimularam a produção em massa. Nesse contexto, passaram a ser exigidas a confiabilidade dos produtos, assim como a entrega no tempo determinado. A partir daí, surgiu a necessidade de técnicas estatísticas para controle de qualidade, visando aumentar a eficiência do trabalho e reduzir as perdas. Diversos autores contribuíram, durante esse período, na construção de conceitos e estratégias de Qualidade, como Crosby, Deming, Feigenbaum, Juran e Ishikawa (Yong & Wilkinson, 2001; Kessler, 2004).

No final da década de 1980, a Motorola começou a estudar conceitos de Deming de variação de processo e a aplicar análise de variação em todas as atividades da empresa, fazendo surgir o Programa Seis Sigma. Entretanto, muito mais que isso, a empresa estava focada no conceito de melhoria contínua (Eckes, 2001). A partir da divulgação de que a Motorola havia obtido ganho de 2,2 bilhões de dólares com o programa (Werkema, 2004) e posteriormente com a divulgação do ganho de outras empresas como General Eletric (GE) e AllinedSigma, o Seis Sigma passou a ser conhecido.

Werkema (2004) define o Seis Sigma como “estratégia gerencial disciplinada e altamente quantitativa que tem como objetivo aumentar drasticamente a lucratividade das empresas por meio da melhoria da qualidade de produtos e processos e do aumento da satisfação de clientes e consumidores”. Aguiar (2006) destaca ainda que, nesse Programa, há uma mudança na cultura da empresa, isto é, na forma de identificar e tratar os problemas. Essas mudanças são:

- Uma das principais metas da empresa passa a ser o atendimento da necessidade do cliente;
- Toda meta ou projeto que será desenvolvido deve trazer um retorno financeiro mínimo;
- Toda a equipe da empresa deve procurar aperfeiçoar-se na forma de condução do seu trabalho, buscando produzir sem retrabalho e eliminando atividades que não agregam valor ao produto;
- Os problemas da empresa são problemas de toda a equipe, de forma que todos os setores devem interagir quando o objetivo é buscar a solução de um problema;
- A metodologia de solução de um problema deve ser padronizada, ou seja, seguida por todos da empresa.

A existência de um método estruturado para alcance das metas é citada por Werkema (2004) como um dos segredos do sucesso do 6S. As duas metodologias mais utilizadas de solução de problemas/gerenciamento nos programas Seis Sigma são o PDCA e o DMAIC (Aguiar, 2006). O método PDCA é constituído de quatro etapas: *Plan* (Planejamento), *Do* (Execução), *Check* (Verificação) e *Action* (Ação). Já o método DMAIC é constituído de cinco etapas: *Define* (Definir), *Measure* (Medir), *Analyze* (Analisar), *Improve* (Melhorar) e *Control* (Controlar). Embora tradicionalmente o DMAIC seja a mais utilizado na condução dos projetos 6S, Werkema (2004) e Aguiar (2006) consideram os métodos análogos. Na Figura 1 está representada uma equivalência dos métodos DMAIC e PDCA.



Um projeto conduzido segundo o ciclo PDCA normalmente é dividido nas seguintes fases: identificação/definição do problema, análise do fenômeno, análise do processo, estabelecimento do plano de ação, execução do plano de ação, verificação dos resultados e padronização/ação (Aguiar, 2006).

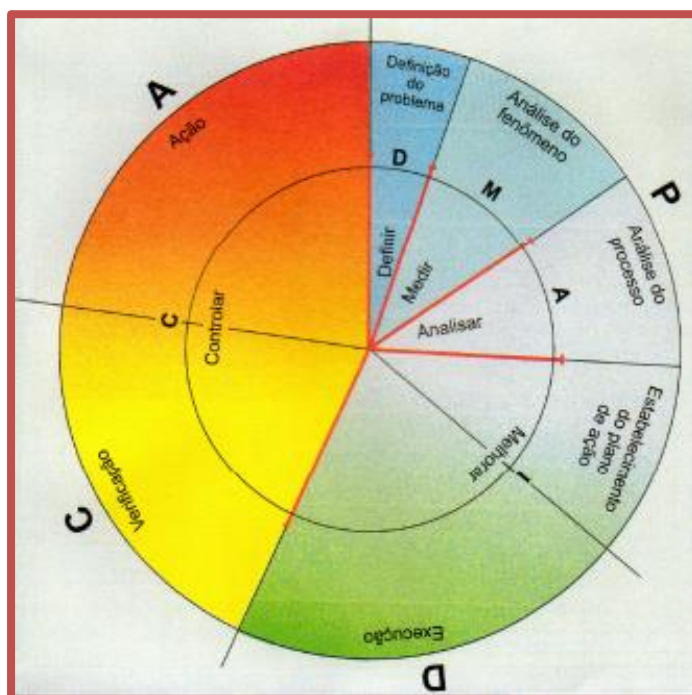


Figura 1: Comparação dos métodos DMAIC e PDCA. Fonte: Aguiar (2006).

### 3 METODOLOGIA

O projeto foi conduzido segundo o ciclo PDCA e dividido nas fases conforme apresentado na Figura 1. Como o presente trabalho pretende trazer os pontos principais do projeto 6S desenvolvido, assim como mostrar a utilização da ferramenta *Line Up*, nem todas as fases serão abordadas. A Figura 2 apresenta os pontos que serão discutidos.

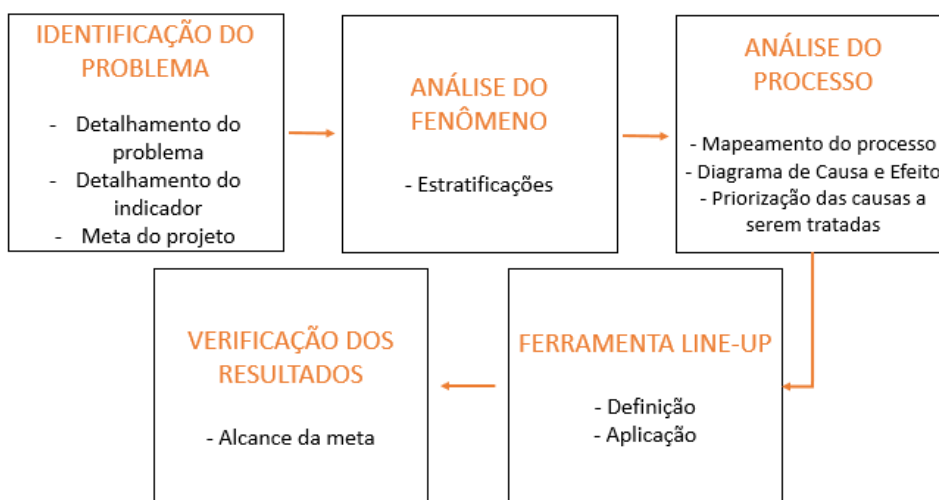


Figura 2: Representação esquemática dos pontos a serem discutidos.

As informações referentes ao teor de sílica do produto foram retiradas de um sistema padrão de banco de dados da empresa. Para análise dos dados, foi utilizado o programa de computador *Minitab*. Recorreu-se a diversas ferramentas de qualidade na condução do projeto. Na Tabela 1 estão apresentadas as ferramentas citadas nesse trabalho, assim como a justificativa para sua utilização.

Tabela 1: Ferramentas da qualidade utilizadas no Projeto Seis Sigma.

FERRAMENTA	JUSTIFICATIVA
Gráfico sequencial	Observar o aspecto global dos dados e verificar a existência de alguma tendência ou de pontos que desviam muito dos demais.
Histograma	Por se tratar de uma distribuição de frequência, é possível observar a tendência central dos valores e sua variabilidade.
Estratificação	Visualizar a composição real dos dados por meio dos seus estratos, auxiliando na análise de oportunidades de melhorias.
SIPOC	Obter uma visão geral e clara do processo e suas etapas
Brainstorming	Emitir e detalhar ideias em grupo sobre um determinado assunto.
Diagrama de Ishikawa	Representar as possíveis causas que levam a determinado efeito.
Matriz de Priorização	Representar os problemas através de quantificações e assim estabelecer prioridade para abordá-los
Boxplot	Comparar visualmente o comportamento dos grupos e identificar a presença de outliers.

Fonte: Adaptado de Pyzdek e Keller (2001); Marshall, Cierco, Rocha, Mota e Leusin (2009).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Identificação do problema

#### 4.1.1 Detalhamento do problema

Na mineradora em questão, é extraído minério de ferro, sendo o  $\text{SiO}_2$  (óxido de silício) o principal contaminante do material. A rota de beneficiamento adotada não contempla amostragem ou pilha de homogeneização do ROM (*Run of Mine*), sendo esse transportado diretamente, via caminhões, para o britador. Além disso, a usina de beneficiamento não possui nenhum método de concentração, o que torna tão importante um controle eficiente do ROM, de forma a se obter um produto (*Sinter Feed*) dentro das especificações, já que o ROM e o produto apresentam correlação direta.

A determinação da qualidade do produto (teores de Fe,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , P e Mn) que será ofertado mensalmente aos clientes é feita com base nos planos de lavra mensais confeccionados.

Portanto, a produção diária tem como meta essa qualidade assegurada previamente. Uma pequena variação nos teores é aceitável, visto que é possível realizar *blendagem* (mistura) entre as pilhas de produto e uma gestão adequada do pátio de carregamento.

No que se refere à oferta de produtos, o mercado está cada vez mais exigente e restritivo. No ano de 2017, por exemplo, a companhia teve um demérito médio de USD 1,10 no pagamento da tonelada do minério de ferro quando o teor de  $\text{SiO}_2$  entregue estava acima do que foi assegurado previamente. Por outro lado, como o processo em questão não apresenta etapa de concentração, caso seja entregue uma porcentagem de  $\text{SiO}_2$  abaixo da especificação, isso quer dizer que minérios com menor teor de ferro estão deixando de ser aproveitados e a consequência é uma menor otimização da cava e diminuição da vida útil das pilhas de estéril.

Na Figura 2 está representado um gráfico sequencial do acompanhamento diário do teor de  $\text{SiO}_2$  realizado durante o período de um ano (01/08/2017 a 31/07/2018) e a meta de teor dos meses em questão. Foram coletados 365 dados, e as estatísticas descritivas obtidas são apresentadas nas Figuras 3 e 4.

Pela análise da Figura 2, é possível visualizar que o teor de  $\text{SiO}_2$  têm apresentado comportamento oscilatório, sendo que tanto os picos altos quanto os baixos são prejudiciais ao processo. Isso demonstra a necessidade de descobrir a causa da variabilidade e propor soluções a fim de atingir patamares de variação que sejam aceitáveis.

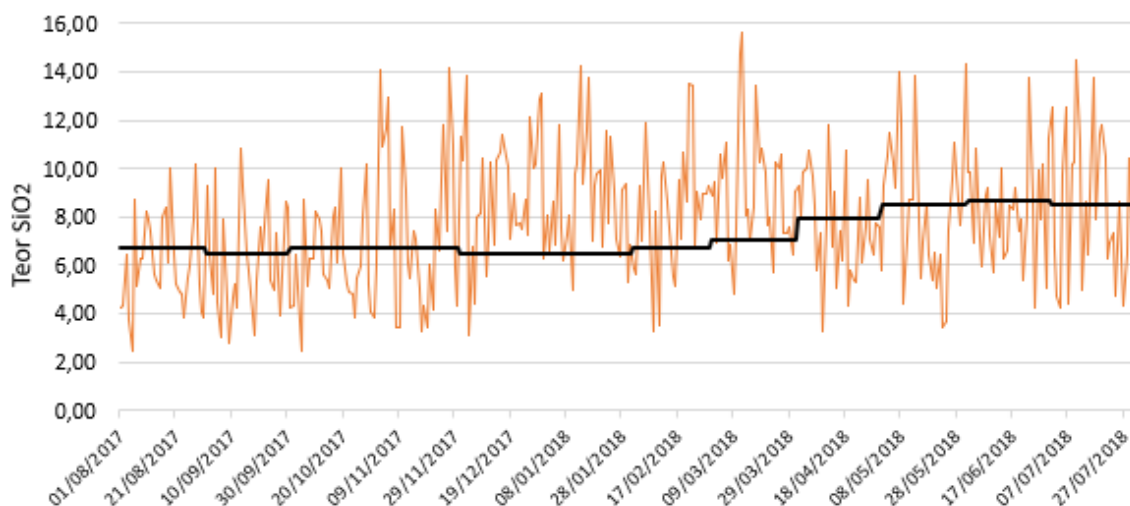


Figura 2: Acompanhamento do teor diário de  $\text{SiO}_2$  praticado (laranja) e meta mensal de teor (preto).

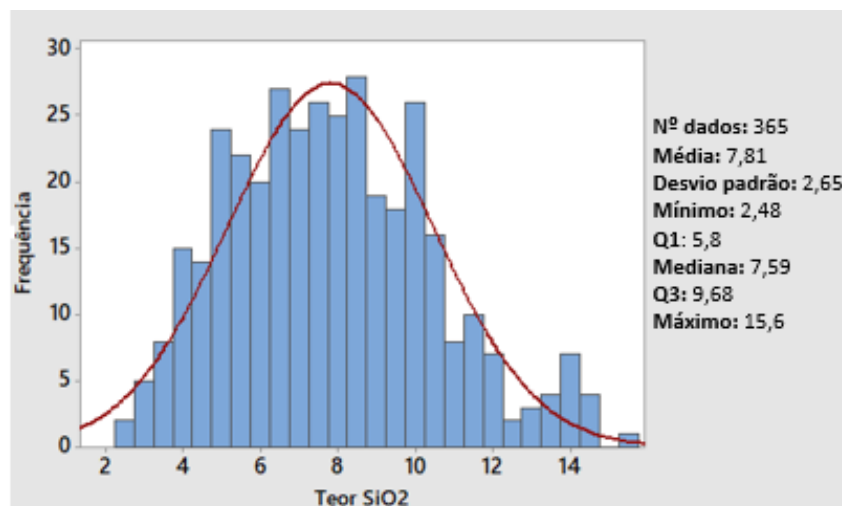


Figura 3: Histograma e estatísticas descritivas da variável teor de SiO<sub>2</sub> diário.

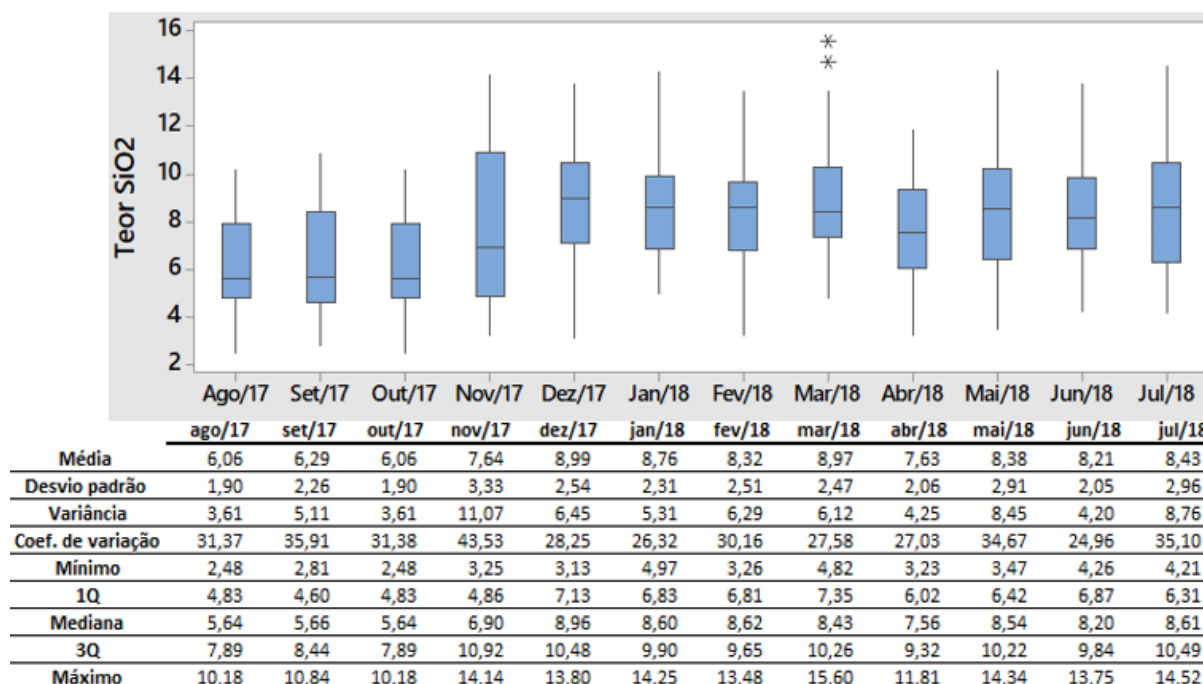


Figura 4: Boxplot e estatísticas descritivas da variável teor de SiO<sub>2</sub> mensal - período de estudo.

#### 4.1.2 Detalhamento do indicador

Conforme mencionado, uma pequena variação no teor do produto é aceitável. Dentre os meses analisados, o menor coeficiente de variação obtido foi 25%, no mês de junho. Assim sendo, adotou-se a variação de  $\pm 25\%$  do teor mensal ofertado como *benchmark* (referência).

Um indicador denominado “Aderência” foi criado e ele mensura, dentro do mês, quantos dias o teor de SiO<sub>2</sub> do produto estava dentro dos limites inferior (LI) e superior (LS) estabelecidos, conforme as Equações 1 e 2. A Tabela 2 apresenta o perfil desse indicador ao longo dos meses estudados.

$$LI_{teor\ siO_2} = 0,75\ teor\ SiO_2\ orçado \quad (1)$$

$$LS_{teor SiO_2} = 1,25 \text{ teor } SiO_2 \text{ orçado} \quad (2)$$

Tabela 2: Perfil do indicador "Aderência".

	Nº dias dentro de LI e LS	Aderência
agosto-17	18	58,1%
setembro-17	12	40,0%
outubro-17	18	58,1%
novembro-17	12	40,0%
dezembro-17	11	35,5%
janeiro-18	15	48,4%
fevereiro-18	11	39,3%
março-18	15	48,4%
abril-18	19	63,3%
maio-18	18	58,1%
junho-18	22	73,3%
julho-18	16	51,6%
<b>total</b>	<b>187</b>	<b>51,2%</b>

#### 4.1.3 Meta do projeto

Para determinar a meta do indicador Aderência foi utilizado o Método da Lacuna, conforme a Equação 3. A meta foi definida como 62%.

$$\text{Meta do indicador} = \frac{\text{máximo indicador} - \text{média indicador}}{2} + \text{média indicador} \quad (3)$$

#### 4.2 Análise do Fenômeno

O regime de trabalho na mina é de 3 turnos, sendo o 1º turno de 01:00-07:00, o 2º turno de 07:00-16:00 e o 3º de 16:00-01:00 e há 4 equipes que revezam, através de escala, as atividades. Como as expedições ocorrem diariamente, o material produzido pelos 3 turnos compõe a carga diária do trem.

O problema em questão foi estratificado por turma e por turno, a fim de verificar a existência ou não de algum desvio pontual. A partir dos resultados obtidos, apresentados na Figura 4, observou-se que as equipes nem os turnos apresentam comportamento discrepante do indicador entre si.

Embora os resultados tenham mostrado que, em média, apenas em 38% dos turnos a qualidade dos produtos está dentro das especificações, optou-se por tratar o problema de forma generalizada, ou seja, focando em atingir a meta de teor de SiO<sub>2</sub>, na produção diária. Essa decisão se deu pelo fato de que, primeiramente, os carregamentos são diários. Além disso, muitas vezes a estratégia de não cumprir a qualidade programada em determinado turno é necessária, em função de restrições operacionais.





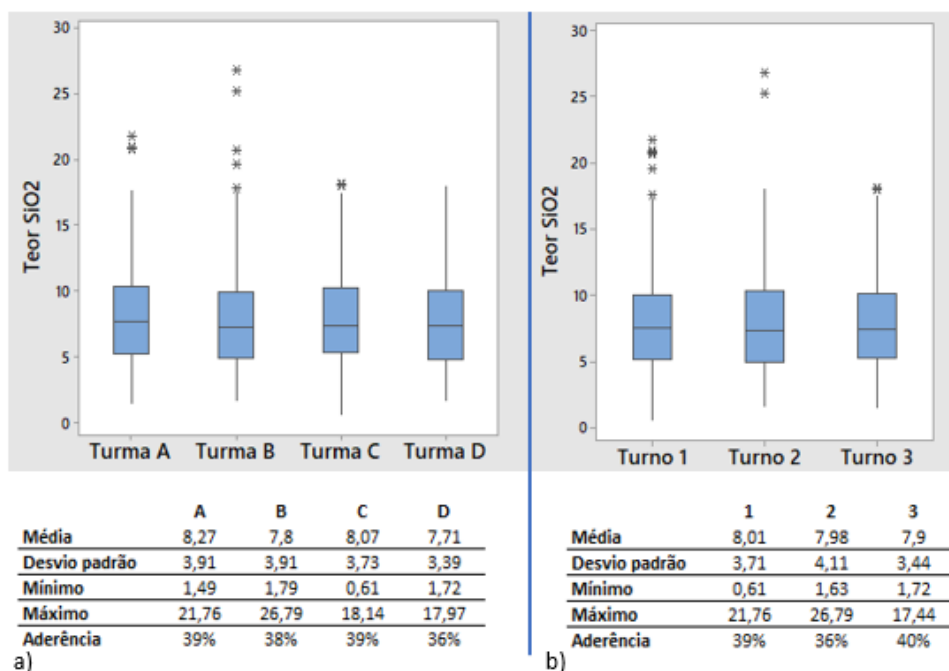


Figura 4: Estratificação do fenômeno - a) por turma b) por turno.

### 4.3 Análise do Processo

As reuniões do tipo *brainstorming* foram fundamentais para mapear o processo, assim como para refletir quais os principais impactantes. A ferramenta SIPOC - *Supplier* (Fornecedores), *Input* (Entradas/Insumos), *Process* (Processo), *Output* (Saídas), e *Customers* (Clientes/Fornecedores) foi utilizada para detalhamento dos processos e o resultado obtido está apresentado na Figura 5.



Figura 5: SIPOC elaborado para mapear o processo.

Após reflexão dos diversos impactantes, foi construído o Diagrama de Ishikawa (Figura 6). Nele, cada provável causa do problema foi classificada segundo a metodologia 6M: método, material, mão-de-obra, máquina, medida ou meio ambiente.

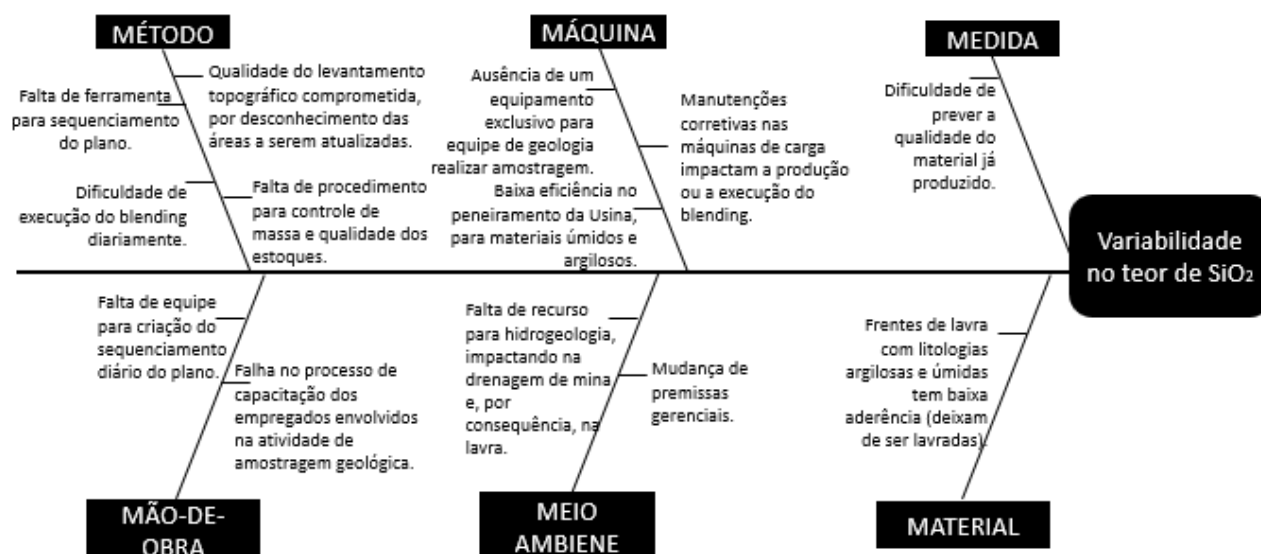


Figura 6: Diagrama de causas da variabilidade no teor de SiO<sub>2</sub>.

A priorização das causas se deu através da quantificação dos seguintes critérios: impacto no problema, custo, autonomia e rapidez. Assim, as causas escolhidas para serem tratadas foram:

- 1) Qualidade do levantamento topográfico comprometida, por desconhecimento das áreas a serem atualizadas;
- 2) Dificuldade de prever a qualidade do material já produzido;
- 3) Falta de equipe para criação do sequenciamento diário do plano;
- 4) Falha no processo de capacitação dos empregados envolvidos na atividade de amostragem geológica;
- 5) Dificuldade de execução do blending diariamente;
- 6) Frentes de lavra com litologias argilosas e úmidas tem baixa aderência (deixam de ser lavradas).
- 7) Falta de procedimento para controle de massa e qualidade dos estoques.
- 8) Ausência de um equipamento exclusivo para equipe de geologia realizar amostragem.

Para tratamento da causa 1, criou-se, utilizando o Power BI, um relatório automatizado no qual é possível visualizar um mapa da mina e os locais onde houve lavra no período desejado. O banco de dados do sistema de despacho Modular fornece as informações necessárias (coordenadas geográficas) para a criação desse relatório de gestão visual.

Ainda utilizando o mesmo banco de dados citado anteriormente, e integrando-o às informações do modelo geológico, foi possível criar outro relatório automatizado no Power BI, no qual se tornou possível simular a qualidade do material alimentado e estocado, solucionando, assim, as causas 2 e 7. A capacitação e reformulação da grade de funcionários, além da contratação de um equipamento exclusivo para a execução de amostragem solucionaram as causas 3, 4 e 8. A utilização da ferramenta *Line-Up* tem impacto nas causas 5 e 6.

#### 4.4 Ferramenta *Line-Up*

Conforme apresentado por Campelo (2018), o termo *Line-Up* se refere ao planejamento diário de atividades, e remonta de 2007, quando um consultor de mineração, ao visitar a Mina do Sossego da Vale S.A., identificou uma lacuna entre o planejamento e a execução da lavra. A fim de preencher essa lacuna, foi sugerido um detalhamento de todos os afazeres turno a turno.

Antes de acontecer a lavra de determinada frente, uma série de medidas podem ser necessárias, tais como realizar o desmonte, drenagem da praça, serviços de infraestrutura, marcações topográficas, reposicionamento de rede elétrica etc. Caso esses serviços fiquem atrasados, o *blending* pode ficar comprometido. No caso de litologias argilosas ou úmidas, além dos preparos a fim de mitigar ao máximo o impacto do material, podem ser necessárias pequenas adaptações temporárias na usina de processamento, tal como redução de taxa.

Diante do que foi exposto, a *Line-Up* funciona como uma maneira de a equipe de Planejamento de Curto Prazo direcionar as atividades das demais equipes. Um alinhamento adequado entre todos os envolvidos busca assegurar que os avanços sejam lavrados no momento adequado, minimizando, assim, impactos na qualidade ou massa de produto.

O planejamento diário é uma rotina cíclica. Primeiramente, os responsáveis da equipe de planejamento, juntamente com os supervisores/técnicos de cada uma das demais áreas, realizam uma “rodada de mina”. Nessa rodada de mina, verifica-se o andamento das atividades programadas no dia anterior. Caso seja detectado que algum serviço de suma importância não está sendo realizado, uma nova estratégia começa a ser traçada o quanto antes para diminuir as consequências.

Após verificar o andamento das atividades, começa-se a programar os serviços para o dia seguinte. Nem sempre os 3 turnos de um dia terão as mesmas atividades para executar, visto que as condições de segurança para execução, disponibilidade física dos equipamentos e existência de operadores com expertise devem ser considerados. Os supervisores/técnicos de cada área devem estar cientes do que está sendo programado e pontuar caso não concordem ou prevejam alguma dificuldade na execução.

Depois de finalizada a “rodada de mina”, o responsável do planejamento deve montar um documento que formalize tudo aquilo que foi combinado com as demais equipes. Essa formalização é necessária para que a informação não se perca ao longo das trocas de turno. Na Figura 7 está apresentado um exemplo do documento que é montado. Através de fotos, textos, desenhos e setas indicativas, busca-se dar o máximo de informação possível para que os executantes realizem a demanda de forma adequada.



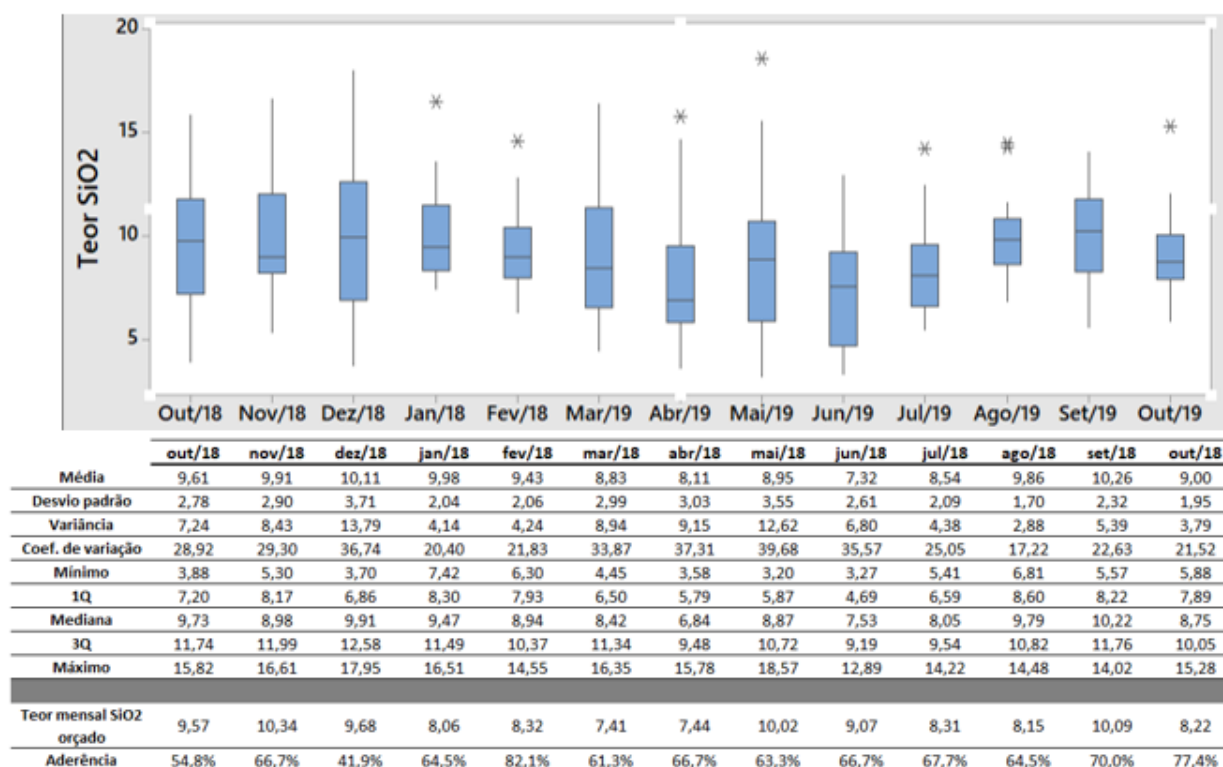
Figura 7: Exemplo de documento que é montado a fim de direcionar as atividades turno a turno.

Esse documento é colocado numa plataforma virtual. Essa plataforma virtual pode ser acessada pelos executantes usando o computador ou por tablets. A grande vantagem dos tablets é a possibilidade de utilizá-los em campo, não só para a visualização das atividades a serem realizadas, mas também para fotografar a execução da atividade. Nessa plataforma é possível adicionar fotos da execução ou da razão para não execução de uma demanda.

#### 4.5 Verificação dos resultados

As estratégias apresentadas acima, correspondentes à etapa “Execução” do ciclo PDCA, foram implementadas a partir de outubro de 2018. Como parte da etapa de verificação e ação, também entendida como etapa “Control”, conforme metodologia DMAIC, a Figura 8 apresenta as estatísticas descritivas dos dados coletados durante o período de controle.

Figura 8: Boxplot e estatísticas descritivas da variável teor de SiO<sub>2</sub> mensal - período de controle.



A métrica coeficiente de variação foi utilizada, durante a definição do indicador, para determinar uma variação de  $\pm 25\%$  do teor mensal ofertado como *benchmark* (referência). Quando compara-se o período de estudo e o período de controle, observa-se uma melhora na consistência dos dados. Enquanto que, no período de estudo, um coeficiente de variação de 25% foi alcançado apenas uma vez, durante o período de análise esse valor ou valores inferiores foram alcançados em cinco dos meses.

Entretanto, é preciso salientar que, não necessariamente altos coeficientes de variação representam uma aderência insatisfatória ao teor mensal de SiO<sub>2</sub> orçado. Observa-se, por exemplo, que entre os meses de março de 2019 a junho, o coeficiente de variação alcançou valores superiores a 30%, mas o indicador aderência apresentou valores satisfatórios relativos à sua meta de 62%. Isso se deve ao fato de que se lida com depósitos minerais, os quais apresentam uma variabilidade natural (Yamamoto & da Rocha, 1996).

A Figura 9 apresenta o gráfico de acompanhamento do indicador Aderência. É possível notar que, a partir do início do ano de 2019, as medidas adotadas começaram a se mostrar eficientes, já que o indicador se manteve sempre acima da meta. Após um ano do início do projeto, o indicador, que tinha média de 51% passou para 65%, sendo que a meta era 62%.

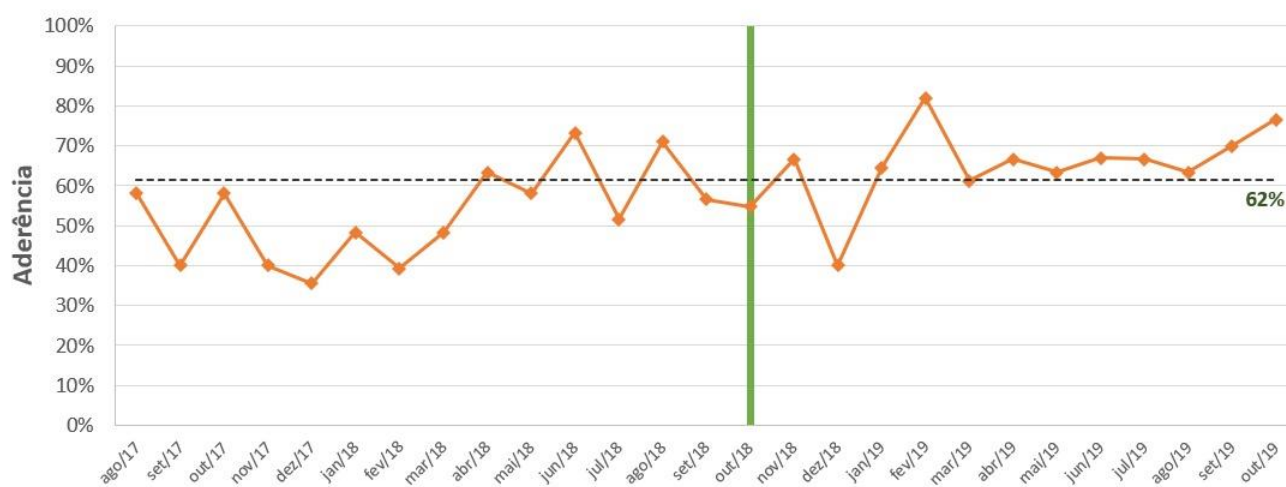


Figura 9: Perfil do indicador antes e após o início do projeto (em verde, marca-se o início do projeto).

## 5 CONCLUSÃO

Como uma das etapas de um Projeto Seis Sigma, criou-se o indicador denominado Aderência, que mensura, mensalmente, quantos dias o *Sinter Feed* produzido estava dentro das especificações. No início do projeto, a média do indicador era de 51%, ou seja, em praticamente metade dos dias de um mês os produtos não possuíam teor de  $\text{SiO}_2$  conforme o requerido. Foi definido como meta uma aderência de 62%.

Dentre os pontos encontrados como causadores do problema, a dificuldade de realizar o *blending* e a não realização da lavra de materiais argilosos ou úmidos foram alguns desses. A ferramenta *Line-Up* se mostrou de grande ajuda no tratamento dessas causas, já que permite um alinhamento adequado entre as equipes, de forma que serviços prévios a lavra sejam executados em tempo, não prejudicando o *blending*. Além disso, medidas mitigadoras podem ser tomadas a fim de diminuir o impacto e preparar a usina para receber os materiais de pior performance.

Após um ano da implantação do projeto, a aderência aumentou para 65%. O Projeto Seis Sigma mostrou seu valor no tratamento do problema enfrentado na mineradora, já que possibilitou quantificações, identificação das causas, seleção de causas a serem tratadas, implantação de soluções e acompanhamento da resposta do indicador frente às intervenções realizadas.

Ainda que se tenha obtido uma melhora expressiva, há espaço para ganhos ainda maiores. Uma das estratégias para melhoria do processo seria a integração dos bancos de dados de Despacho, que contém informações tal como disponibilidade física de equipamentos, e ferramenta

*Line Up*, tal como também foi apresentado por Campelo (2018), e banco de dados geológico. Dessa maneira, seria possível obter uma maior rapidez e acurácia na programação diária e, como consequência, uma redução da variabilidade no teor de SiO<sub>2</sub>.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar, S. (2006) *Integração das ferramentas da qualidade ao PDCA e ao Programa Seis Sigma* (Vol. 1). Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda.
- Andrietta, J. M., & Miguel, P. A. C. (2007). Aplicação do programa seis sigma no Brasil: resultados de um levantamento tipo survey exploratório-descritivo e perspectivas para pesquisas futuras. *Gestão e Produção*, 14(2), 203-219.
- Correia, V. A. N., Rangel, L. V., Milanezi, B. P., Santos, G. J. I., & Pereira, P. E. C. (2018, agosto) Utilização da metodologia Seis Sigma para redução da variabilidade da alimentação de minério fosfático. *Anais do Simpósio de Engenharia de Produção (SIENRPO)*, Catalão, GO, Brasil, 2.
- Coutinho, H. L. (2017). *Melhoria contínua aplicada para carregamento e transporte na operação de mina a céu aberto* (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, Brasil.
- Campelo, A. C. M. M. (2018) *Estimativa de indicadores de desempenho da lavra para integração entre sistema de despacho e programação diária*. (Dissertação de Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.
- Eckes, G. (2001). *A revolução Seis Sigma: o método que levou a GE e outras empresas a transformar processos em lucros* (R. C. Marcondes, Trad.). Rio de Janeiro: Campus. (Obra original publicada em 2001)
- Kessler, R. M. (2004) *A implantação do Seis Sigma em organizações: motivações de escolha e resultados obtidos*. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.
- Marshall, I., Jr., Cierco, A. A., Rocha, A. V., Mota, E. B., & Leusin, S. (2009) *Gestão da Qualidade* (9ª ed.). Rio de Janeiro: Editora FGV.
- Nair, A., Malhotra, M. K., & Ahire, S. L. (2011) Toward a theory of managing context in Six Sigma process-improvement projects: An action research investigation. *Journal of Operations Management*, 29(5), 529–548.
- Pyzdek, T., & Keller, P. A. (2010) *The Six Sigma Handbook* (3a ed.). Nova Iorque: McGraw-Hill.
- Reis, L. A., Santana, A. C., & Euzébio, T. A. M. (2017, outubro) Aplicação de DMAIC Seis Sigma na melhoria de desempenho de malhas de controle em uma planta de processamento de minério de ferro. *Anais do Seminário de Automação e TI*, São Paulo, SP, Brasil, 21.
- Soeiro, R. C., & Oliveira, J. C. (2010, outubro) Contribuições da metodologia Seis Sigma para a melhoria do desempenho no processo de tratamento de minérios de uma mineradora de grande porte. *Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP)*, São Carlos, SP, Brasil, 30.
- Steinberg, J. G. (2010) *“Lean Mining”: Modelagem e melhorias em cadeias logísticas minerais* (Tese de Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.



Werkema, M. C. C. (2004). *Criando a cultura Seis Sigma*. Nova Lima: Werkema Ed.

Yamamoto, J. K., & da Rocha, M. M. (1996) Revisão e recomendações para o calculo e classificação de reservas minerais. *Revista Brasileira de Geociências*, 26(4), 243-254.

Young, J., & Wilkinson, A. (2002). The long and winding road: The evolution of quality management. *Total Quality Management*, 13(1), 101-121.

#### COMO CITAR ESTE ARTIGO:

Campos, B. M. M., Junia, N. L. D. C. D., Mazzinghy, D. B., Campos, P. H. A. (2021). Estratégia para reduzir a variabilidade no teor de  $\text{SiO}_2$  de *Sinter Feed* através da metodologia seis sigma (6S). *Holos*. 37(4), 1-16.

#### SOBRE OS AUTORES

##### B. M. M. CAMPOS

Estudante de Graduação - Engenharia de Minas UFMG. E-mail: [brendamcampos16@gmail.com](mailto:brendamcampos16@gmail.com)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8475-9000>

##### N. L. D. C. D. JUNIA

Geóloga (IGC/UFMG). E-mail: [natjunia@gmail.com](mailto:natjunia@gmail.com)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5662-4707>

##### D. B. MAZZINGHY

Professor do Departamento de Engenharia de Minas (DEMIN/UFMG). E-mail: [dmazzinghy@demin.ufmg.br](mailto:dmazzinghy@demin.ufmg.br)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2569-6932>

##### P. H. A. CAMPOS

Professor do Departamento de Engenharia de Minas (DEMIN/UFMG). E-mail:

[pedrocampos@demin.ufmg.br](mailto:pedrocampos@demin.ufmg.br)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5208-7177>

**Editor(a) Responsável:** Francinaide de Lima Silva Nascimento e Elenice Schons Silva

**Pareceristas Ad Hoc:** Fábio de São José e Paulo Filipe Lopes

