

Avaliação da melhoria de desempenho da frota de transporte e carregamento de uma mineradora aliando ferramentas estatísticas ao software de despacho eletrônico

Improvement in the logistic performance of a mining machine with the use of statistical tools and electronic office software

DOI:10.34117/bjdv5n12-199

Recebimento dos originais: 15/11/2019

Aceitação para publicação: 13/12/2019

Ricardo Luiz Perez Teixeira

Doutor em Ciências, Engenharia Metalúrgica e de Materiais pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE UFRJ, Brasil

Instituição: Instituto de Engenharias Integradas da Universidade Federal de Itajubá
Endereço: UNIFEI Campus Itabira, Rua Irmã Ivone Drumond, 200 - Distrito Industrial II, Itabira – MG, Brasil
E-mail: ricardo.luiz@unifei.edu.br

Hellen de Araújo Assis

Graduanda em Engenharia Civil.

Instituição: Universidade do Estado de Minas Gerais Campus João Monlevade
Endereço: UEMG Campus João Monlevade, Av. Brasília, 1304 - Bau, João Monlevade - MG, Brasil
E-mail: hellenaraujo98@hotmail.com

Helder de Araújo Assis

Graduando em Engenharia de Minas.

Instituição: Universidade do Estado de Minas Gerais Campus João Monlevade
Endereço: UEMG Campus João Monlevade, Av. Brasília, 1304 - Bau, João Monlevade - MG, Brasil
E-mail: helderdearaujoassis@gmail.com

Haroldo Lhou Hasegawa

Doutor em Ciência e Engenharia dos Materiais pela Universidade Federal de São Carlos, UFSCar, Brasil

Instituição: Instituto de Engenharias Integradas da Universidade Federal de Itajubá
Endereço: UNIFEI Campus Itabira, Rua Irmã Ivone Drumond, 200 - Distrito Industrial II, Itabira – MG, Brasil
E-mail: haroldo.hasegawa@unifei.edu.br

Anna Carolina Simões

Mestre em Ciências Aplicadas à Educação pela Universidade Politécnica Y Artística Del Paraguai, UPAP, Paraguai

Instituição: Universidade do Estado de Minas Gerais Campus João Monlevade
Endereço: UEMG Campus João Monlevade, Av. Brasília, 1304 - Bau, João Monlevade - MG, Brasil
E-mail: krolsimoes@gmail.com

Leonardo Lúcio de Araújo Gouveia

Mestre em Geografia pela Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, Brasil

Instituição: Universidade do Estado de Minas Gerais Campus João Monlevade

Endereço: UEMG Campus João Monlevade, Av. Brasília, 1304 - Bau, João Monlevade -
MG, Brasil

E-mail: gouveialeo@yahoo.com.br

RESUMO

A avaliação do desempenho do setor produtivo mineral é realizada por meio de índices que medem a eficiência de um processo. Ferramentas de engenharia, como gráficos de controle, monitoram a variabilidade e a estabilidade de um processo, avaliando se este está de acordo com o esperado, ou não, por intermédio de indicadores desempenho. Neste trabalho, utilizou-se a combinação da importação do banco de dados do software de despacho (Smartmine®) de uma mineradora juntamente com o Power BI, que é um serviço gratuito para análise de negócios fornecido pela Microsoft, na produção de indicadores de desempenho para embasar os denominados relatórios simultâneos, que auxiliaram os gestores na avaliação de performance industrial, para a tomada de decisão, pela equipe gestora mineradora, na manutenção, troca de equipamentos e reformulação de estratégias de manutenção.

Palavras-chaves: Equipamentos de lavra; Desempenho; Ferramentas estatísticas.**ABSTRACT**

The performance of the mineral productive sector is performed through indices that measure the efficiency of a process. tools such as control charts monitor the variability and stability of a process, evaluating whether it conforms to the optimum condition or not, through performance indicators. In this paper, we used the combination of importing a mining company's dispatch software database (Smartmine®) along with Power BI, which is a free service analysis software provided by Microsoft to produce performance indicators to support the simultaneous reports that support the managers in the choice of the best performance condition, either in the decision making by the mining management team, or in the maintenance, equipment exchange and reformulation of maintenance strategies.

Keywords: Mining Equipment; Performance Index; Statistical Tools.**1. INTRODUÇÃO**

A atividade de mineração está inserida, direta ou indiretamente, nos mais diversos setores produtivos brasileiros e mundiais. A mineração tem-se desenvolvido continuamente, desde a pré-história, sendo a fonte de minerais diversos para auxiliar os seres humanos em suas demandas básicas e essenciais, para a sua sobrevivência e evolução, abrangendo eras diversas como as Idades da Pedra, do Bronze, do Ferro, do Aço e Nuclear. Há, inclusive, certa associação da mineração no fomento ao surgimento das grandes civilizações e ou as conquistas de grandes territórios na América, na África e na Ásia pelos impérios europeus (HARTMAN, 1987).

Segundo Hartman (1987), a mineração, juntamente com a agricultura, foi às primeiras atividades que a civilização utilizou para transformar o mundo de acordo com suas necessidades, sendo, assim, fundamentais para a sobrevivência humana em épocas como nos longos períodos glaciais, devido à necessidade de se fabricar ferramentas de caça, armamanetos e ferramentas e utensílios para estocar alimentos.

De acordo com Curi (2014), a produção em massa, de materiais ferrosos, se iniciou nos primeiros anos do século XX, por intermédio de descobertas de novas jazidas (jazimentos), o que fomentou e sustentou as duas guerras mundiais, bem como possibilitou que novos avanços tecnológicos fossem desenvolvidos para as ligas ferrosas, principalmente o aço.

O último Relatório sobre a Economia Mineral Brasileira, referente ao ano de 2015 (IBRAM, 2019) descreve o Brasil como um notável portador de diversidade geológica (existência de jazidas de vários minerais, algumas de classe mundial), em posição de destaque no cenário global, tanto em reservas quanto em produção mineral. Ainda, segundo o relatório, o setor econômico-mineral no Brasil atingiu no ano de 2014 o valor de US\$ 40 bilhões representando cerca de 5% do PIB Industrial do país. No Comércio Exterior, a indústria extrativa mineral contribuiu com mais de US\$ 34 bilhões em exportações de minérios, sendo somente o minério de ferro responsável por US\$ 25,8 bilhões deste valor. Por outro lado, significativos investimentos, da ordem de US\$ 53,6 bilhões, precederam a produção de bens minerais e a continuidade de sua exploração entre os anos de 2014 a 2018.

Racia (2016) define como explorações mineiras à céu aberto, aquelas em que os trabalhos de escavação são desenvolvidos ao ar livre e dirigidas a depósitos superficiais, ou aquelas em que os locais de trabalho não são constituídos por escavações cercadas em todo o seu perímetro pelos terrenos encaixantes. Quanto as escavações por lavra, o método de lavra por bancadas é o principal método de lavra a céu aberto usado em todo o mundo (COSTA, 2015).

Para Coutinho (2017) a mineração trata-se de um ambiente de produção em alta escala, onde apresenta um alto risco associado às operações de mina, dentre elas a interação entre equipamentos de grande porte (tratores, carregadeiras, caminhões, motoniveladoras, entre outros). Tendo em vista os diversos desafios do setor e por se tratar de equipamentos com altos custos de investimento e de operação, muitas empresas têm buscado aplicar intensivamente programas de melhoria contínua, de modo a alcançar ganhos em segurança, aumento de produção, redução de custos e redução do impacto ambiental (TEIXEIRA *et al.*, 2019).

1.1 DESEMPENHO NA MINERAÇÃO

Segundo Costa (2015), o desempenho é “o ato ou efeito de desempenhar (-se); execução de um trabalho, atividade, empreendimento, etc., que exige competência e/ou eficiência”. Caldeira (2012) conclui que para melhorar a gestão de uma empresa não basta apenas administrá-la, é necessário medir o seu desempenho; afirmando, ainda, que um gestor não é capaz de melhorar o desempenho de uma empresa se não for capaz de medir o seu próprio desempenho.

Ainda na visão de Caldeira (2012), monitorar o desempenho de uma empresa é essencial. Os indicadores de desempenho têm a função de medir os resultados de uma empresa para que possam comparar as metas aos possíveis desvios de performance, lucratividade e produtividade. Os indicadores são variáveis métricas que precisam possibilitar a comparação de melhorias nos processos por meio de medidas do desempenho ao longo do tempo de qualquer processo, através do uso de metodologias analíticas, onde se destacam as ferramentas estatísticas.

Racia (2016) afirma que a constante busca pelo aumento da produtividade e redução de custos representa em forte aporte de investimentos na indústria de mineração. Novas tecnologias de equipamentos de mineração foram desenvolvidas a fim de melhorar os indicadores, dentro deste contexto, destaca-se o uso da tecnologia e de sistemas computadorizados para a criação de diversos programas e modelos, que auxiliam a tomada de decisões na rotina dos trabalhos, e também no dimensionamento e alocação de insumos e equipamentos.

Alinhado com tal tendência, Leandro (2008), destaca que para se haver um monitoramento efetivo das características de qualidade de um processo de produção, o uso de ferramentas estatísticas torna-se desejável e necessário para detectar, identificar e analisar quais são os fatores responsáveis e principais pela variabilidade que afeta de maneira, por vezes imprevisível, um processo produtivo, tal como a mineração. Para que o nível de qualidade possa ser atingido, devem-se utilizar técnicas estatísticas convenientes e recorrer ao empenho geral de todos os envolvidos na melhoria contínua para a estabilidade de um processo produtivo, como o do setor mineral.

Por final, Costa (2005) complementa que em todas as fases, etapas ou estágios da vida de uma mina é essencial acompanhar o desempenho dos setores produtivos por meio de índices que medem a eficiência de um processo. Ferramentas como gráficos de controle monitoram a variabilidade e a estabilidade de um processo, avaliando se este está de acordo com o

desempenho desejado. Essa avaliação é obtida por intermédio de indicadores de desempenho como a reconciliação, aderência nas lavras, relação estéril / minério, disponibilidade física e utilização dos equipamentos, aderência econômica, entre outros.

Portanto, para a avaliação econômica da parte produtiva de um processo industrial, tal como a mineração, segundo Vieira (2013), a estatística é a ciência que melhor fornece os princípios e a metodologia para coleta, organização, apresentação, resumo, análise e interpretação de dados coletados. Seguindo este raciocínio é recorrente que tal conhecimento torna-se parte fundamental de diversas áreas, principalmente da área de pesquisas científicas. Através desta área é possível aumentar o lucro das empresas, aumentar a qualidade dos processos ou produtos, minimizar custos, tomar decisões de valor político ou econômico, aumentar a análise crítica, entre outros.

1.2 SOFTWARES DE DESEMPENHO E A MINERAÇÃO

Costa (2010) destaca que as empresas de mineração utilizam sistemas de roteirização para traçar as rotas para os diversos equipamentos da empresa seguindo alguns critérios referentes ao ritmo de lavra. Para que os caminhões sejam alocados de forma correta, seguindo as diversas restrições estabelecidas para o cumprimento das especificações de lavra, as empresas de mineração adotam o sistema de despacho.

Por outro lado, Germani (2002) afirma que quase todas as minas de grande e médio porte já estão equipadas com sistemas modernos de direcionamento (despacho) de caminhões para escavadeiras nas minas (GERMANI, 2002). Costa (2010) relata que além de alavancarem o desempenho houve outros ganhos. Segundo o autor, o banco de dados disponibilizado pelo sistema, possibilita um melhor gerenciamento da mina, com o histórico dos eventos ocorridos é possível entendê-los de uma forma mais eficaz e assim resolver os problemas decorrentes dos mesmos.

Gonçalves (2017) relata que Pereira (2016) utilizando o Programa ARENA para simular as operações de mina na Mineração Usiminas S. A. com o auxílio do Programa Minitab, conseguiu fazer um tratamento estatístico a alguns dados coletados através do Smartmine[®] – software de monitoramento instantâneo das atividades de lavra – como produtividade dos caminhões, cargas e velocidades médias das viagens.

O Minitab é um programa composto de ferramentas estatísticas básicas, opções para realização de regressões, ferramentas de qualidade e, além disso, ainda possui uma extensão

voltada a planejamento de experimentos, que pode ser de grande valia para estudos práticos (ANSELMO, 2016).

O SmartMine[®] é software intensivo de gerenciamento de mina em tempo real. É uma solução integrada em software e hardware, que usa técnicas modernas de simulação orientada a eventos e métodos estocásticos de otimização (TEIXEIRA, 2005).

1.3 DESPACHO ELETRÔNICO - SMARTMINE[®]

De acordo com Tomi (2017), o SmartMine[®] foi criado pela Devex, empresa brasileira fundada em 1997. Líder de mercado, internacionalizou-se a partir de 2006, sendo em 2014 adquirida pelo grupo Hexagon.

Podemos destacar como benefícios de utilizar um sistema de despacho: Reduzir os Custos de Operação da Mina; Garantir Produção de Minério de acordo com as especificações; Melhorar Aderência de Lavra (Planejada × Realizada); Controlar e Otimizar Operação de Mina em Tempo Real.

Diante disto, o presente estudo utilizou como base o banco de dados e ferramentas disponibilizadas pelo sistema de despacho da mineradora, estipular indicadores de desempenhos e avaliar estatisticamente os dados históricos, de forma a colaborar com tomadas de decisões e auxiliar o plano estratégico de produção da referida indústria.

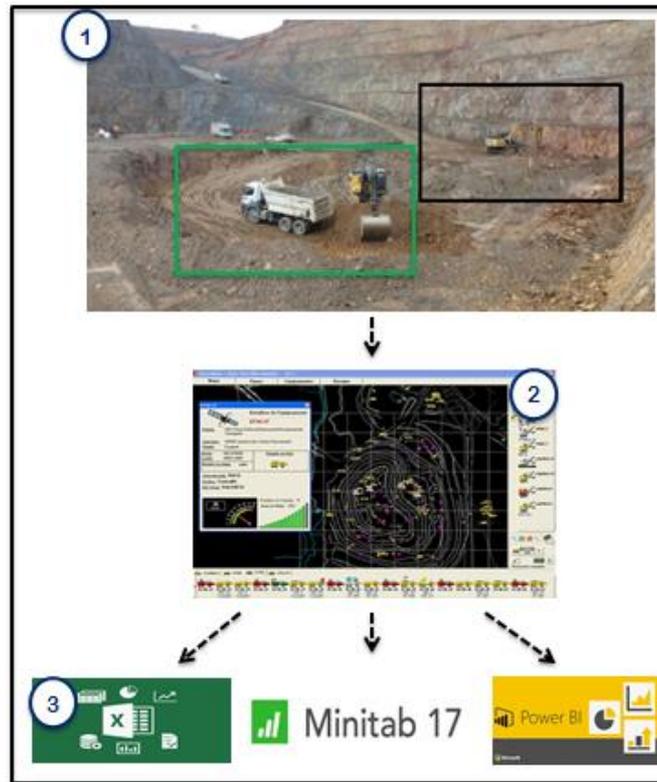
2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do estudo realizou-se inicialmente o levantamento bibliográfico para se compreender teoricamente quais fatores auxiliam na formação de indicadores de desempenho. Posteriormente, realizou-se visitas em campo, na empresa detentora do software de despacho, para melhor compressão do processo e obtenção dos dados junto ao Software SmartMine[®].

Considerada uma empresa de médio/grande porte, de acordo com Germani (2002), a empresa destinasse a prestação de serviços de movimentação de minério/estéril e demais atividades inerentes a atividades de infraestrutura de mina a céu aberto por bancadas, sendo a empresa assim uma terceira para execução do serviço de exploração mineral de ouro, na região de Santa Barbara/MG, na região do Quadrilátero Ferrífero (QF), em Minas Gerais. O QF ocupa uma área aproximada de 7.000 km² na porção centro-sudeste do estado, sendo reconhecido internacionalmente como um importante terreno com significativos recursos minerais (AZEVEDO *et al.*, 2012).

Após conhecimento da atividade do empreendimento e obtido os relatórios disponibilizados pelo software de despacho, coletou-se todos relatórios proporcionados pelo software para a realização do estudo. De posse dos relatórios, o projeto utilizou dos conhecimentos obtidos nas fases acima, junto aos softwares de análise (MS Excel, Power BI e MiniTab) de performance para realizar as avaliações de desempenho (Figura 01).

Figura 01 – Fluxograma de Atividade Realizadas.



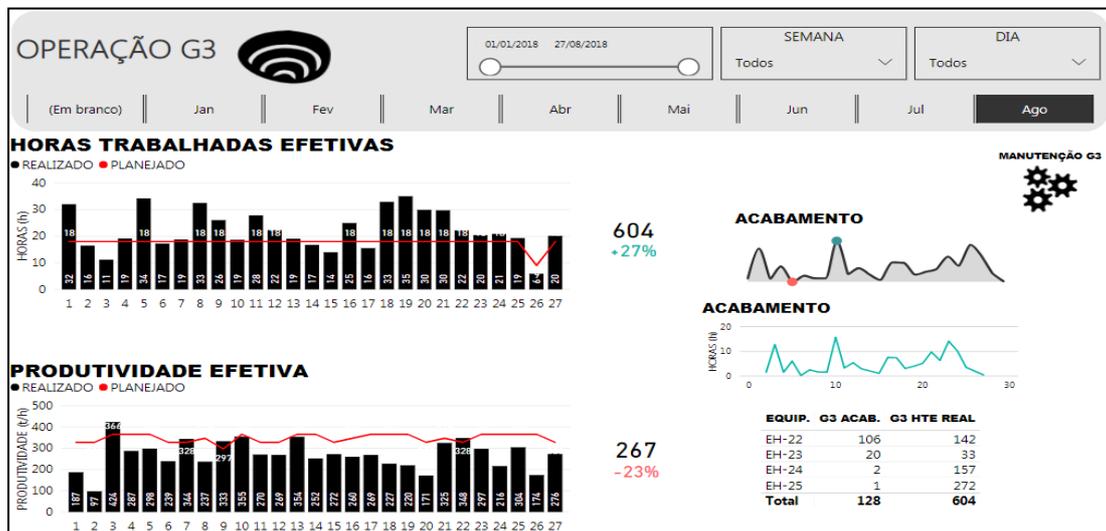
Fonte: Elaborada pelo autor.

Os softwares utilizados no projeto (MS Excel, Power BI e MiniTab), foram disponibilizados pela instituição de ensino parceira do projeto. O MS Excel, atuou como responsável pelo tratamento de dados emitidos pelo software de despacho eletrônico, especificamente, se inseria os relatórios no programa e o utilizando convertemos todos para o modelo de banco de dados, modelo reconhecido pelo os outros softwares: Power BI e MiniTab. O Power BI foi utilizado para criação de plataforma itinerantes de consultas, onde visualmente pode-se comparar todas variações interessadas no projeto, já o MiniTab executou o papel de ferramenta estatística e buscou explicar dificuldades que cercavam o consumo de diesel da empresa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O principal resultado do projeto foi a criação do Controle de Rotina (Figura 02). A plataforma foi criada utilizando-se o Power BI e foi disponibilizado na rede Internet para as equipes de operação de mina que, assim, puderam acompanhar o cumprimento de produção e demais índices inerentes suas atividades, dentro da margem ótima visualizada no *dashboard*, Figura 02. Destacam-se no *dashboard*, na Figura 02, os principais indicadores controlados pela equipe técnica da empresa, que também são fornecidos por relatórios do despacho. Entre os principais indicadores estabelecidos para controle, destacam-se: O Índice de Horas Trabalhadas, Produtividade de Escavação e Horas de Acabamento (atividade secundária)

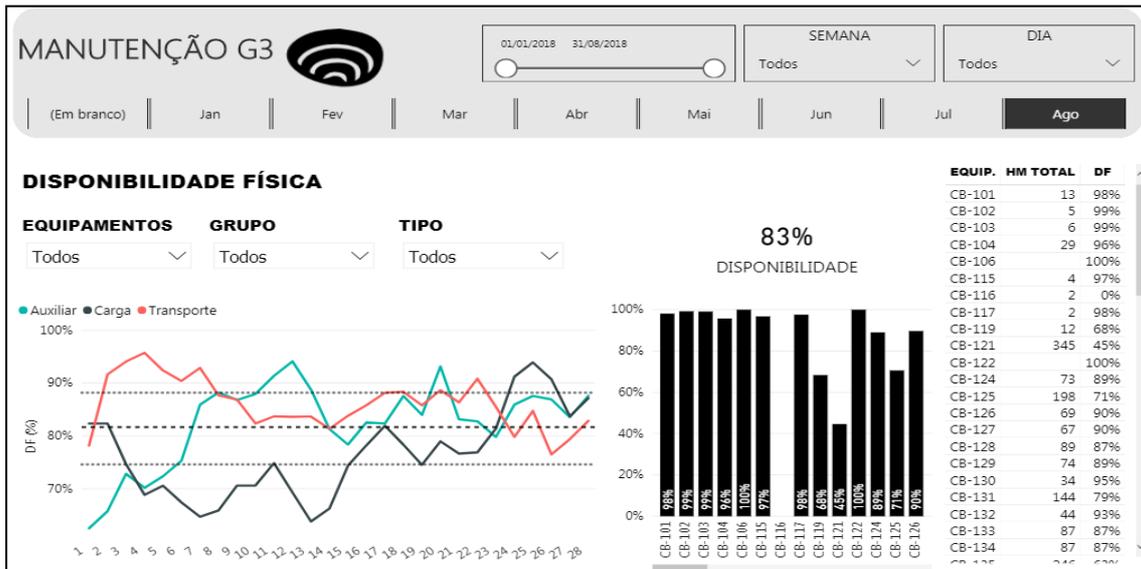
Figura 02 – Dashboard em Power BI utilizado pelas equipes para acompanhamento das taxas de produção.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Inferese pelos resultados, corroborado pela mineradora, que a Manutenção da frota da empresa, é o maior passivo de custo operacional da empresa. Portanto, o *dashboard* buscou apresentar indicadores de manutenção dos equipamentos, como o Índice de Disponibilidade Física e Horas de Manutenção da Frota (Figura 03).

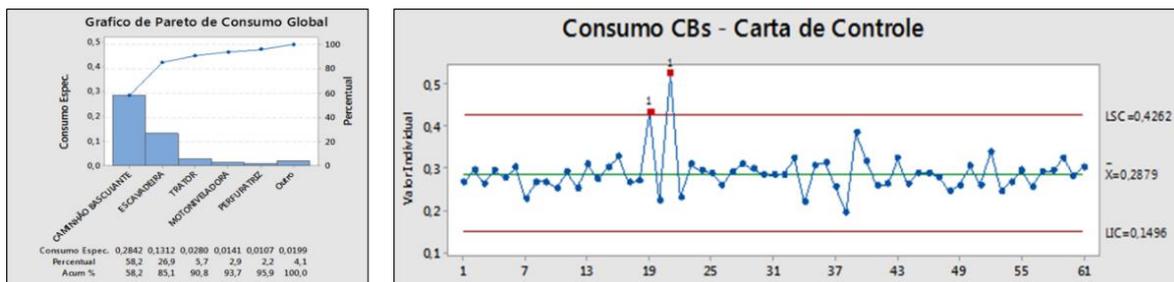
Figura 03 – Dashboard em Power BI utilizado para acompanhamento dos Índices de Manutenção de Frota.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Outro indicador de interesse em custos para a mineradora é o que avalia do consumo de diesel, que é o mais caro insumo para operação de mina, Figura 04. Pelo indicador de consumo de diesel, obteve-se os dados de consumo de diesel por classe de equipamento. Pelo MiniTab 17, para compilação dos dados (Figura 04), encontrou-se que os maiores consumidores são os Caminhões Bâscula e, desde então iniciou-se por parte da mineradora, o acompanhamento de consumo específico diário da frota.

Figura 04 – Avaliações de Consumo de Diesel utilizando o software Minitab 17



Fonte: Elaborado pelo autor.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que a combinação do Software de Despacho Eletrônico (SmartMine®) com os softwares utilizados para análise de desempenho (MS Excel, Power BI e MiniTab) contribuí diretamente para diversas avaliações da frota de transporte da mineradora e, também, auxilia os gestores na avaliação de performance, elaboração de relatórios gerenciais e subsidia a

tomada de decisão da equipe para manutenção na troca de equipamentos e reformulação de estratégias de manutenção, otimizando, assim, os custos produtivos da mineradora.

REFERÊNCIAS

ANSELMO, B.C.S. **Análise dos Parâmetros Geométricos e Estatística Usando Minitab no Estudo da Convecção Natural em Dissipadores**. Itajubá/MG, Universidade Federal de Itajubá III, 124p. (Dissertação, Mestrado em Ciências em Engenharia Mecânica.), 2016.

AZEVEDO, U. R. de, *et al.* **"Geoparque Quadrilátero Ferrífero (MG): proposta."** CPRM, 2012.

CALDEIRA, J. **100 Indicadores da Gestão: Key Performance Indicators**. 1ª ed. Coimbra: Actual, 2012.

COSTA, B. *et al.* **BENEFÍCIOS DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE DESPACHO: ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DE MINERAÇÃO**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 4, São Carlos/SP 2010.

COSTA, F.V. **ANÁLISE DOS PRINCIPAIS INDICADORES DE DESEMPENHO USADOS NO PLANEJAMENTO DE LAVRA**. Ouro Preto/MG: Departamento de Engenharia de Minas – UFOP, 98p. (Dissertação, Mestrado em Engenharia Mineral), 2015.

COUTINHO, H.L. **MELHORIA CONTÍNUA APLICADA PARA CARREGAMENTO E TRANSPORTE NA OPERAÇÃO DE MINA A CÉU ABERTO**. Ouro Preto/MG: Departamento de Engenharia de Minas – UFOP, 94p. (Dissertação, Mestrado em Engenharia Mineral), 2017.

CURI, A. **Minas a Céu Aberto: planejamento de lavra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

FERREIRA, A. B. H. **Novo Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1986.

GERMANI, D. J. A mineração no Brasil. **Relatório Final, Brasil**, 2002.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GONÇALVES, R.S. **ALOCAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE CARREGAMENTO E TRANSPORTE NA MINERAÇÃO USIMINAS POR TÉCNICAS DE PROGRAMAÇÃO LINEAR**. Ouro Preto/MG, Departamento de Engenharia de Minas – UFOP, 74p. (Monografia, Bacharel em Engenharia de Minas), 2017.

HARTMAN, H. L.; MUTMANSKY, J. M. **Introductory Mining Engineering**. 2nd ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2002.

LEANDRO, F.L. **A MINERAÇÃO NO BRASIL**. Rio de Janeiro/RJ, Secretaria Técnica do Fundo Setorial Mineral, 60p._____. **A UTILIZAÇÃO DA ESTATÍSTICA COMO FERRAMENTA NA TOMADA DE DECISÃO: ESTUDO DE CASO EM UMA INDÚSTRIA DE BASE**. Juiz de Fora/MG, Coordenação de Curso de Engenharia de Produção – UFJF, 47p. (Monografia, Bacharel em Engenharia de Produção), 2008.

PEREIRA, R. M. **O Uso da Simulação na Análise de Cenários em Operações de Carregamento e Transporte na Mineração Usiminas S.A.** Ouro Preto/MG, Departamento de Engenharia de Minas – UFOP, 66 p. (Dissertação, Mestrado em Engenharia Mineral), 2016.

RACIA, I.M. **Desenvolvimento de um modelo de dimensionamento de equipamento de escavação e de transporte em mineração**. Porto Alegre/RS, Escola de Engenharia – UFRGS, 108p. (Dissertação, Mestrado em Tecnologia Mineral), 2016.

IBRAM. **Informações da Economia Mineral Brasileira 2015**. PORTAL DO INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO, 2019. Disponível em <http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00005836.pdf/>. Acesso em 15 de agosto de 2019.

TEIXEIRA, R. L. P. *et al.* Utilização da sala de aula invertida em cursos de graduação em engenharia/Applying flipped classroom teaching model in a materials science and engineering course. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 10, p. 19061-19072, 2019.

TEIXEIRA, U.R. **REMODELAGEM DO BANCO DE DADOS DE UM SISTEMA EM TEMPO REAL COM GRANDE VOLUME DE INFORMAÇÕES: ESTUDO DE CASO - SMARTMINE**. Lavras/MG, Departamento de Ciência da Computação – UFLA, 47p. (Monografia, Bacharel em Ciência da Computação), 2005.

TOMI, G. - **Notas de Aula da Disciplina Escavação Mecânica e Transporte em Mineração** - São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2009.

VIEIRA, S. **Estatística básica / Sonia Vieira**. São Paulo: Cengage Learning, 2013.