



HOLOS

ISSN: 1518-1634

holos@ifrn.edu.br

Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Brasil

LEITE, J. Y. P.; SILVA, B. G.; SILVA, D. N.; TEIXEIRA, J. R. M.  
CONTROLE DE PROCESSO EM LABORATÓRIO DE PROCESSAMENTO MINERAL  
HOLOS, vol. 6, 2017, pp. 241-248  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Natal, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=481554851027>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica  
Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal  
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

**CONTROLE DE PROCESSO EM LABORATÓRIO DE PROCESSAMENTO MINERAL**

LEITE, J. Y. P.<sup>1</sup>, SILVA, B. G.<sup>2</sup>, SILVA, D. N.<sup>3</sup>, TEIXEIRA, J. R. M.<sup>4</sup>,  
<sup>1, 2, 3, 4</sup>, Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN), Laboratório de Tecnologia Mineral  
<sup>1</sup>jyp.leite@ifrn.edu.br

Submetido 16/10/2017 - Aceito 20/11/2017  
DOI: 10.15628/holos.2017.6522

**RESUMO**

O controle de processo tem grande importância nas plantas de tratamento de minérios. A instrumentação utilizada é incipiente na maior parte das usinas. Isto se deve provavelmente à ausência deste conteúdo no currículo dos cursos técnicos e de graduação na área mineral. Este trabalho tem como objetivo apresentar a inclusão do controle de processo utilizando inversores

de frequência e a plataforma Arduino, tendo em vista a automação de processo em equipamentos de laboratório de processamento mineral. O uso do inversor de frequência permitiu efetuar controle de processos, tais como: taxa de alimentação, vazão, pressão, força G, frequências, entre outros.

**PALAVRAS-CHAVE:** Controle de processo; instrumentação; processamento mineral.

**ABSTRACT**

Process control is of great importance in ore treatment plants. The instrumentation used is incipient in most plants. This is probably due to the absence of this content in the curriculum of technical and undergraduate courses in the mineral processing area. This work aims to present the inclusion of process

control using frequency inverters and the Arduino platform, in order to automate the process in mineral processing laboratory equipment. The use of the frequency inverter made it possible to control the processes, such as: feed rate, flow, pressure, force G, frequencies, among others.

**KEYWORDS:** Process control; instrumentation; mineral processing.

## 1 INTRODUÇÃO

O controle de processo em tecnologia mineral deve crescer mais ainda nos próximos anos, considerando os altos níveis de automação praticados em outras áreas do conhecimento. Assim, é necessária a introdução destes conhecimentos nas grades curriculares.

O segmento de mineração é bastante variado e com diferentes processos para extração de diferentes minerais ou rochas. Em todos eles se utiliza em larga escala motores elétricos como energia motriz para extrair, transportar, triturar e separar o minério, além de sistemas periféricos como: bombeamento e reciclagem de fluidos, tratamento e controle na emissão de poluentes como poeira tóxica, gases, etc. Estes motores quando usados adequadamente possuem níveis de rendimento bem elevados, que podem ainda serem melhorados com o uso de inversores (Tezza, 2009).

Os inversores proporcionaram a consolidação da utilização dos motores de indução assíncronos trifásicos (MITs) nos ambientes industriais. Além disso, eles alcançaram aplicações que transcendem o controle de velocidade de máquinas, sendo empregados no controle do fluxo de potência tanto na geração como na distribuição de energia elétrica. Nesse sentido, podem ser citadas as aplicações de geração distribuída, onde esses equipamentos se tornaram fundamentais nos procedimentos de interligações de fontes renováveis a rede elétrica (Oliveira, 2013).

Em tecnologia mineral este tema tem sido pouco abordado no Brasil, seja nos eventos e periódicos da área, gerado pela ausência de conhecimentos de inversores em disciplinas no curso de mineração que é de suma importância para estudos em laboratórios e empresas.

Em pesquisa realizada nos Anais dos ENTMMME foi identificado um artigo intitulado de Substituição dos variadores de velocidades das plantas de britagem e peneiramento de pedras de xisto por inversores de frequência, onde este afirma que é possível mostrar que a busca pela melhoria contínua gera ganhos com a instalação de inversores de frequência em uma empresa (Silva et al., 2015).

Nos sistemas convencionais os controladores de vazão, pressão e temperatura comandam válvulas e/ou dampers de estrangulamento, desperdiçando a energia elétrica. Nos sistemas atuais, as válvulas de estrangulamento estão sendo substituídas por inversores de frequência, acionando os motores principais. A grande vantagem de utilização de inversores é que além de gerar economia de energia também reduz o custo de instalação do sistema. Os inversores variam as velocidades dos motores de acordo com a maior ou menor necessidade de vazão ou pressão ou temperatura de cada zona de controle (Sousa, Leite, Veras, 2007).

O controle de processo na indústria mineral objetiva otimizar a recuperação, mantendo a qualidade para às etapas seguintes. Em processamento mineral o controle na redução de tamanho de minério e processos de separação de minerais são determinantes, no entanto existem limitações de instrumentação na medição, bem como os métodos para atualizar a informação entregue pelos sensores. Na prática, o objetivo geral da otimização é econômica e deve ser decomposto hierarquicamente em problemas de controle mais simples. Os métodos baseados em modelos são revisados, principalmente para processos de moagem e flotação, e classificados como maduros, ativos ou emergentes (Houdoin et al., 2001).

Este trabalho tem como objetivo apresentar a implantação de controle de processo utilizando inversores de frequência em laboratório de processamento mineral, tendo em vista ampliar o conhecimento deste tema na formação de estudantes.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Laboratório de Tecnologia Mineral do Instituto Federal do Rio Grande do Norte, onde foram contabilizados 46 equipamentos, entre os quais 17 deles podem ser instalados inversor de frequência para controle de alguma variável de processo. Entre eles, alimentadores, bombeamento, britador de mandíbulas, moinhos de bolas, de rolos, de galga, peneiramento, hidrociclone, jigüe, mesa vibratória, concentrador centrífugo, célula de flotação, espessador, incubadoras shaker, entre outros.

Inversor de frequência WEG CFW 08 (Manual WEG, 2006) foi usado para controle de velocidade, a qual está associada a uma variável de processo. O inversor controla a frequência em Hz do motor, o qual transfere movimento para o equipamento. Este movimento gera rotações, velocidades, vazões, entre outros, que podem ser aferidas por tacômetro, rotâmetros, anemômetro, manômetros, etc.

Estes processos podem ser aplicados para o controle de vazões, frequências, velocidades, número de G, pressões, entre outros parâmetros controladas pelo inversor de frequência.

A automatização do processo é realizada com a construção de curva de calibração entre a frequência em Hz gerada pelo inversor e a variável controlada. Estes dados são disponibilizado em planilha no Excel, tendo em vista a obtenção de equação com maior  $R^2$ . A metodologia simplificada no controle de processo dos equipamentos utilizadas neste trabalho é apresentada na figura 1.

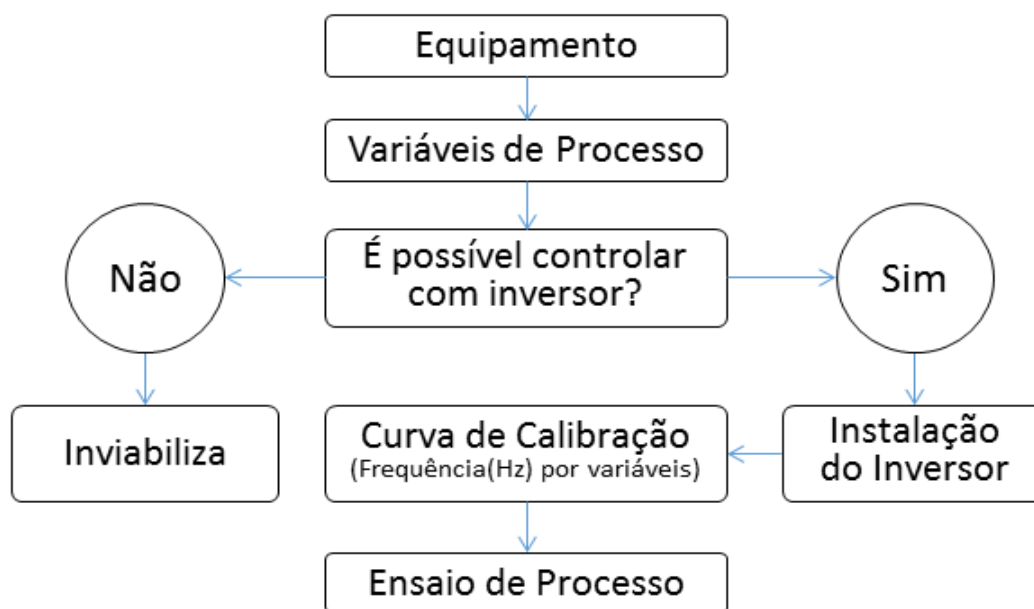


Figura 1 – Fluxograma metodológico de controle de processo.

A utilização desta metodologia leva ao técnico/engenheiro a aplicação de conhecimento de eletricidade, tendo em vista a instalação do sistema/painel do inversor de frequência e ligação do motor ao inversor de frequência para o controle de processo. O domínio da programação do inversor esta associado ao controle de processo.

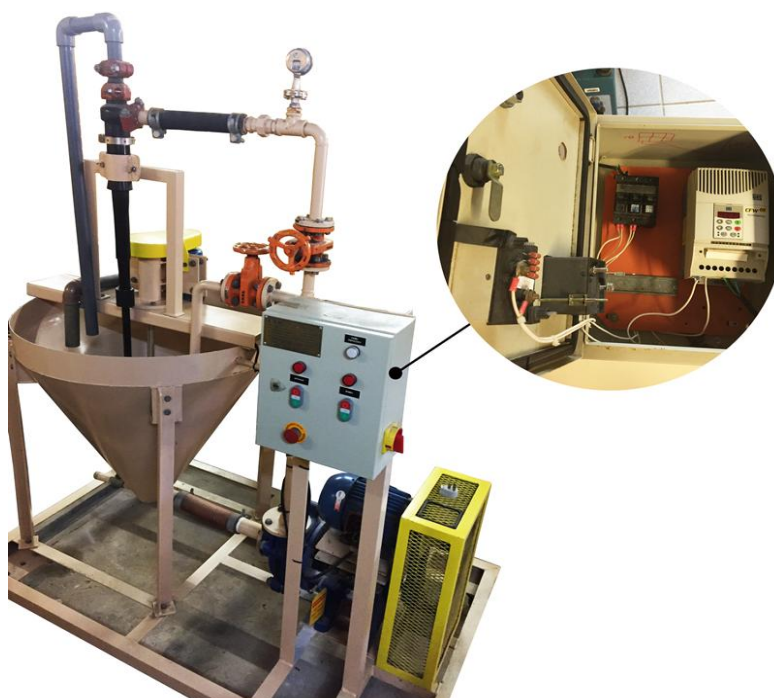
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A implantação do processo de controle de automação de processo em laboratório foi realizada para um conjunto de equipamentos apresentados na tabela 1.

Equipamento	Variável de Controle de Processo
Bombeamento	Vazão
Planta Piloto de Hidrociclonagem - CDC	Vazão e Pressão
Concentrador Centrífugo – Falcon SB-40	Número de G e pressão de água de fluidização
Mesa Vibratória - Mineraltec	Frequência
Air-Sep Lab	Vazão e Velocidade

**Tabela 1 – Equipamentos e variáveis de controle de processo.**

A figura 2 apresenta de forma simplificada o sistema utilizado no controle de processo, a saber, rede elétrica, painel de controle com inversor de frequência, motor, bomba e hidrociclone.



**Figura 2. Controle de processo com inversor de frequência no bombeamento do hidrociclone.**

O bombeamento é amplamente utilizado em processamento mineral para a transferência de água e polpa na usina (Chaves, 1996), sendo a sua vazão e a pressão variáveis de processo. A figura 3 apresenta curva de calibração de bomba utilizada para a alimentação de hidrociclone.

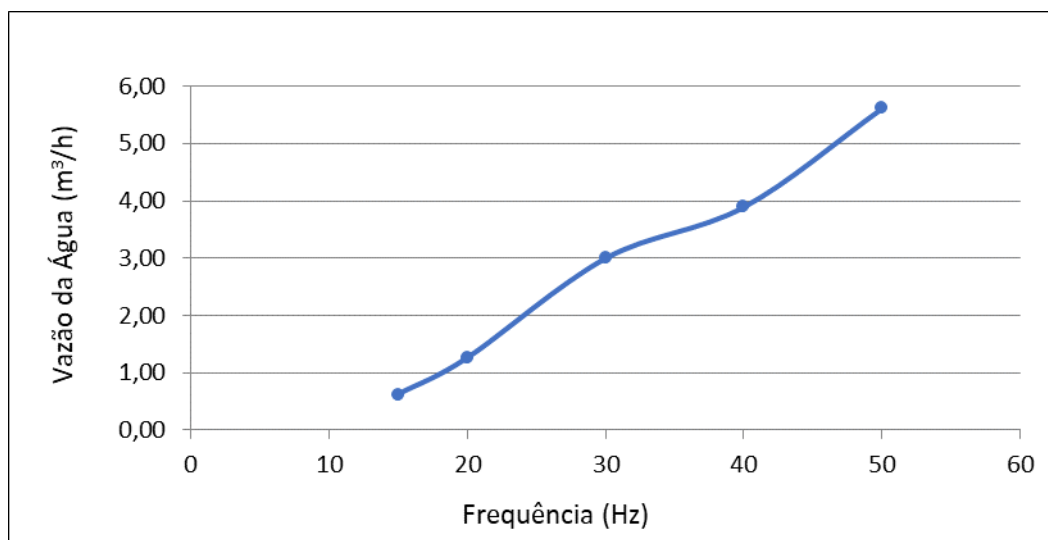


Figura 3. Curva de calibração da frequência em função da vazão de uma bomba.

A curva de calibração apresenta para os operadores o controle sobre a vazão de alimentação do hidrociclone e a pressão no sistema, a qual controla o diâmetro de corte que é desejável no processo. É importante observar que este sistema poderá ser controlado por CLP e operado a distância.

A operação com o concentrador centrífugo (Falcon SB-40) possibilitou o controle do número de G e a pressão de água de fluidização submetido pelo equipamento às partículas. A figura 4 apresenta o comportamento da frequência em função do número de G mostrado pela curva de calibração.

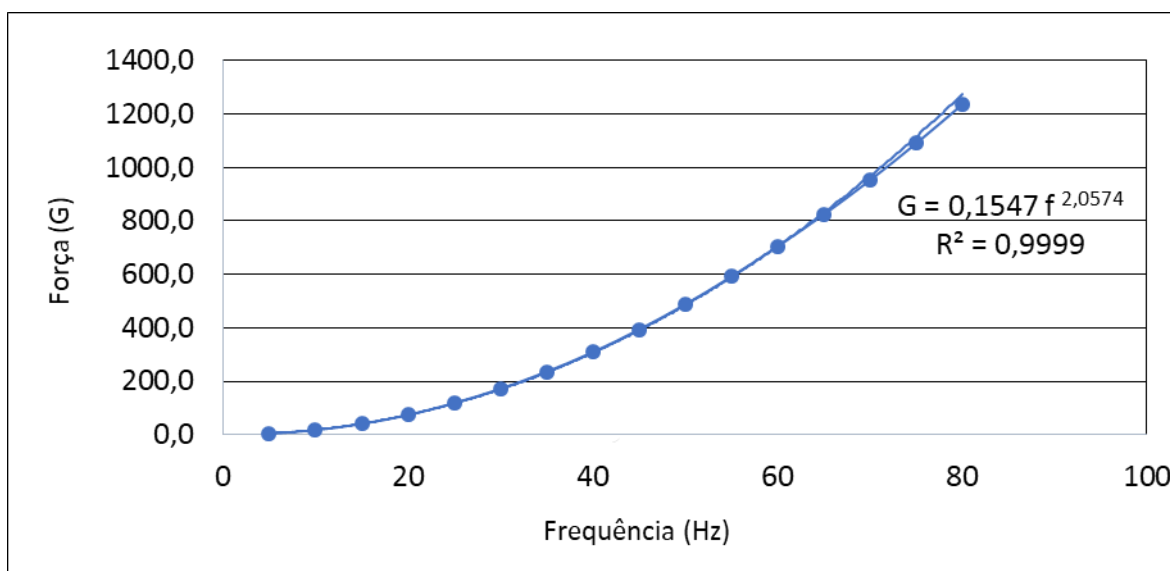


Figura 4. Curva de calibração da frequência em função da força G.

O modelo matemático para a força centrífuga em função ao número de rotações é apresentado pela equação 1.

$$F(G) = 4 * w^2 / 70,47 \quad (1)$$

A equação mostrada é simplificada, tendo em vista que o diâmetro do cesto do Falcon SB-40 já foi incluído e  $w$  é a velocidade que é aferida com o tacômetro.

A figura 5 apresenta uma curva de calibração da velocidade em função do número de G aplicado ao cesto do equipamento.

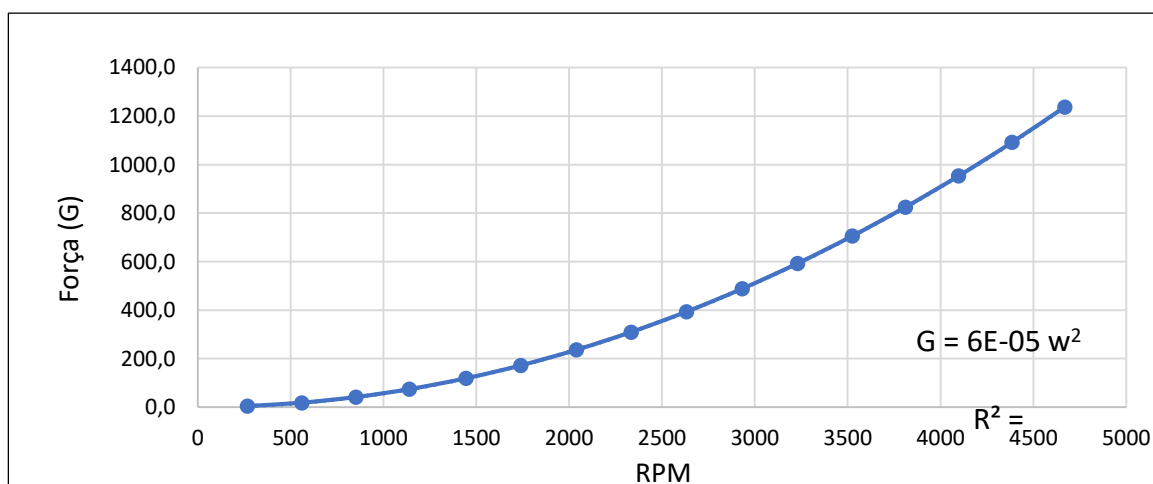


Figura 5. Curva de calibração da velocidade em função da força G.

A figura 6 apresenta dados de controle de processo da frequência de mesa vibratória.

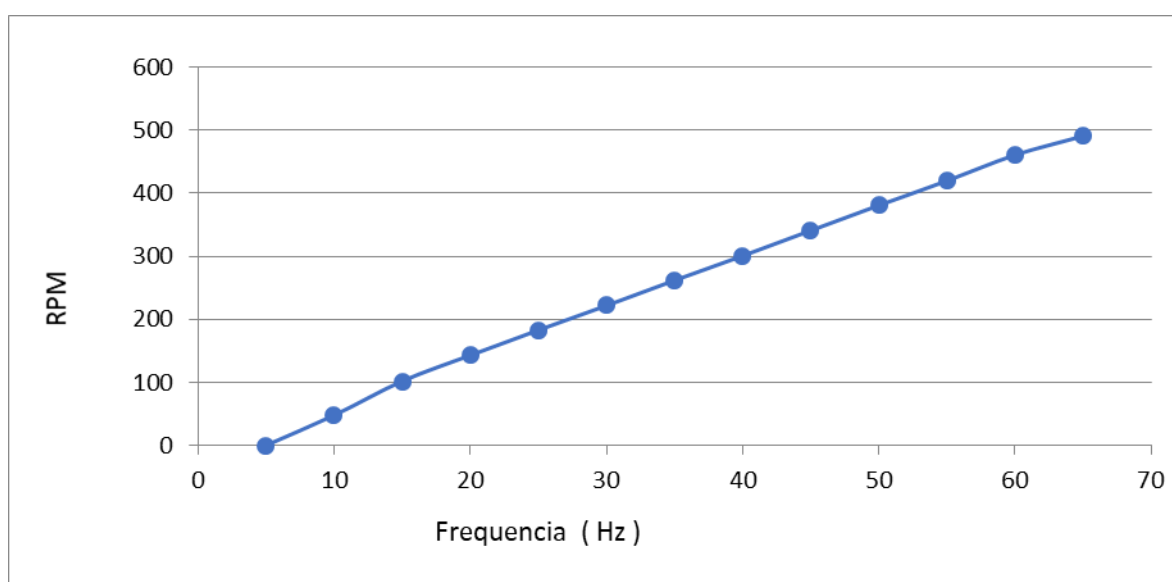


Figura 6. Curva de calibração da frequência em função da frequência do tablado da mesa.

A frequência do tablado, associado ao controle da amplitude, da inclinação do tablado, vazão de água de lavagem e da taxa de alimentação são possíveis de implantação de controles de processo, inclusive com a instalação de câmara para controle a distância.

Essa cultura deve ser estimulada na área mineral, tendo em vista contemporizar as novas tecnologias disponíveis.

Neste aspecto, deve-se introduzir o uso de tecnologia baseada na plataforma *Arduino* (Arduino, 2017) e estimular sua aplicação na formação de técnicos e engenheiros, tendo em vista ampliar o controle de processo na área mineral.

Identifica-se na literatura aplicações destas tecnologias para o monitoramento de fluxo de polpa usando ultrassom e de eco-pulso (Stener et al., 2016), monitoramento in situ das velocidades das partículas e variações da concentração de sólidos nos separadores magnéticos de baixa intensidade úmidos (Carlson et al., 2015), entre outros.

Estes conceitos, associado ao da *internet das coisas* (Barancourt, 2017), devem ser introduzidos para estimular a criação de ambiente que valorize a cultura inovativa no currículo para ampliar a motivação da juventude para a área mineral.

Importante salientar, que existe um grande número de equipamentos em escala de laboratório que com baixo investimento podem ser automatizados. Essa atmosfera para dar saltos precisa ser interdisciplinar.

#### 4 CONCLUSÃO

Este trabalho apresenta a inserção de inversor de frequência como equipamento auxiliar aos equipamentos de processamento mineral, tendo em vista o controle de processo.

A implantação foi realizada em elevado número de equipamentos com o objetivo de controle de vazão de bomba, frequência de tablado de mesa vibratória, número de força G e pressão de água de concentrador centrífugo, entre outros. Mostrou que esta plataforma pode ser controlada por CLP e operado à distância.

Verifica-se que existe necessidade da implantação de plataforma *Arduino* e *Internet das coisas* nos currículos de cursos na área de tecnologia mineral, visando a formação de cultura de criatividade.

#### 5 REFERÊNCIAS

- ARDUINO (2017). <https://www.arduino.cc> . Acesso em 30/maio/2017.
- BARANCOURT, L. (2017). **How the Internet of Things can meet expectations in mining**. Australian Mining. 2017. <https://www.australianmining.com.au/features/internet-things-can-meet-expectations-mining/> .
- J. E. Carlson, . J. E., Stener, F., Sand, A., Pålsson, B. I. (2015). In-situ monitoring of particle velocities and solids concentration variations in wet low-intensity magnetic separators, 2015 IEEE International Ultrasonics Symposium (IUS), Taipei, pp. 1-4.
- CHAVES, A. P. Teoria e Prática do Tratamento de Minérios. Signus Editora, São Paulo. Chapter 2, **Bombeamento de polpas**. 1996. P. 79-129.
- HOUDOIN, D., JAMSA-JOUNELA, S. L., CARVALHO, M. T., BERGH, L. (2001). **State of the art and challenges in mineral processing control**. Control Engineering Practice Volume 9, Issue 9, p. 995-1005



- SOUSA, T. R., LEITE, J. Y. P., VERAS, M. M. (2007). **Protótipo para ensaios de ciclonagem**. In: II Jornada Nacional da Produção Científica em Educação Profissional e Tecnológica. SETEC/MEC. São Luís/MA. p. 1-5
- OLIVEIRA, W. R. (2003). Uma análise sobre inversores de frequência e distorções harmônicas e inter-harmônicas. **Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação**, Brasília, v. 1, n. 1, p.1-69
- WEG et al. (2003). **Manual do usuário: Inversor de frequência**. Santa Catarina. Weg. p. 1-138
- SILVA, G.F., FREITAS, A.F., LIMA, G.C.L., ORMIANIN, G.L.C. (2015). **SUBSTITUIÇÃO DOS VARIADORES DE VELOCIDADE DAS PLANTAS DE BRITAGEM E PENEIRAMENTO DE PEDRAS DE XISTO POR INVERSORES DE FREQUÊNCIA**, Poços de Caldas-MG,v.1,n.1,p1-7
- STENER, J. F., CARLSON, J. E., SAND, A., PALSSON, B. I. (2016). Monitoring mineral slurry flow using pulse-echo ultrasound. **Flow Measurement and Instrumentation**. Volume 50, p. 135-146
- TEZZA, Cristian Benedet et al. (2009)Inversores de Frequência Aplicados em Processos de Mineração Trazem Ganho de Produtividade, Economia de Energia e Manutenção Reduzida. **Weg Automação**, Jaraguá do Sul, v. 1, n. 1, p.1-5