



**IGOR VERÍSSIMO ANASTÁCIO SANTOS**

**AUTOMAÇÃO DO SETOR QUATERNÁRIO DE BRITAGEM  
DE UMA INDÚSTRIA DE CAL**

**LAVRAS-MG**

**2020**

**IGOR VERÍSSIMO ANASTÁCIO SANTOS**

**AUTOMAÇÃO DO SETOR QUATERNÁRIO DE BRITAGEM DE UMA INDÚSTRIA  
DE CAL**

Concepção básica apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia de Controle e Automação, para obtenção do título de bacharel.

Prof. Dr. Danilo Alves de Lima  
Orientador

**LAVRAS-MG**

**2020**

**IGOR VERÍSSIMO ANASTÁCIO SANTOS**

**AUTOMAÇÃO DO SETOR QUATERNÁRIO DE BRITAGEM DE UMA INDÚSTRIA  
DE CAL**

**AUTOMATION OF THE QUATERNARY CRUSHING SECTOR OF A LIME  
INDUSTRY**

Concepção básica apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia de Controle e Automação, para obtenção do título de bacharel.

APROVADA em 26/06/2020

Prof. Dr. Belisario Nina Huallpa - UFLA

Prof. Dr. Vinicius Miranda Pacheco - UFLA

Prof. Dr. Danilo Alves de Lima  
Orientador

**LAVRAS-MG**

**2020**

## RESUMO

O setor minerário é altamente estratégico e tem apresentado importantes resultados para o Brasil nos últimos anos. Muitos desses resultados se devem à forte automação pela qual este setor tem passado. O objetivo deste trabalho é apresentar soluções para automatizar o setor quaternário de britagem de uma indústria de cal, levando em conta os principais problemas do setor que são o afogamento do britador e travamento das correias transportadoras. A britagem é dividida em quatro etapas de processamento da rocha (britagem primária, secundária, terciária e quaternária), sendo que são nas britagens terciária e quaternária que se obtêm os principais produtos (brita 0, brita 1 e pó de brita). A brita 1 possui a maior produtividade dentre os três produtos e, para redução do estoque, tem-se o setor quaternário de britagem, tendo a brita 0 como seu principal produto. Neste projeto, as principais variáveis a serem controladas são o nível da pilha de brita 1, os níveis das pilhas de brita 0 e pó de brita gerados na britagem quaternária e o nível de material na câmara de britagem do britador. Com base nesses níveis, o sistema de automação tomará a decisão de iniciar a planta ou desligá-la. Além dessas variáveis principais, o monitoramento das correias transportadoras também deve ser feito para que qualquer problema nas mesmas não venha a danificar os equipamentos de britagem. A principal vantagem da automação do setor quaternário é reduzir a ociosidade de mão-de-obra, onde é necessário um operador para ligar, monitorar e desligar a planta, além da redução do custo de manutenção. Soluções para o projeto serão estudadas, assim como o levantamento de custos dos equipamentos (sensores, controladores e atuadores) para tornar sua implementação viável.

**Palavras-chave:** Automação. Britagem. Setor quaternário de britagem. Britador. Correia transportadora.

## ABSTRACT

The mining sector is highly strategic and has presented important results for Brazil in recent years. Many of these results are due to the strong automation by which this sector has passed. The objective of this work is to present solutions to automate the quaternary crushing sector of a lime industry, taking into account the main problem in the sector which are the drowning of the crusher and the locking of the conveyor belts. The crushing is divided into four stages of rock processing (primary, secondary, tertiary and quaternary crushing), and it is in tertiary and quaternary crushing that the main products are obtained (crushed stone 0, crushed stone 1 and crushed powder). The crushed stone 1 has the highest productivity among the three products and, to reduce the stock, there is the quaternary crushing sector, with the crushed stone 0 as its main product. In this project, the main variables to be controlled are the level of the crushed stone 1, the levels of the crushed stone 0 and crushed powder generated in crushing quaternary and the level of material in the crusher's crushing chamber. Based on these levels, the automation system will make the decision to start the plant or shut it down. In addition to these main variables, the monitoring of conveyor belts should also be done so that any problem in them does not damage the crushing equipment. The main advantage of automation in the quaternary sector is to reduce the idleness of labor, where an operator is required to turn the plant on, monitor and shut down, in addition to reducing the cost of maintenance. Solutions for the project will be studied, as well as the survey of equipment costs (sensors, controllers and actuators) to make its implementation viable.

**Keywords:** Automation. Crushing. Quaternary crushing sector. Crusher. Conveyor belts.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>7</b>
1.1 Objetivos.....	9
1.2 Justificativa e contribuições .....	9
1.3 Estrutura do trabalho .....	10
<b>2 MINERAÇÃO .....</b>	<b>11</b>
2.1 Manutenções em atividades mineradoras.....	19
2.2 Automações em atividades mineradoras .....	24
2.2.1 Automações em equipamentos críticos de britagem.....	24
2.2.2 Automação no setor quaternário de britagem .....	26
2.3 Considerações finais do capítulo .....	30
<b>3 SOLUÇÃO 1: PROJETO , BENEFÍCIOS E COTAÇÃO.....</b>	<b>32</b>
3.1 O Projeto .....	32
3.2 Benefícios monetizáveis.....	37
3.3 Cotação.....	37
3.3.1 Sensor de nível .....	37
3.3.2 Chave detectora de velocidade.....	38
3.3.3 Inversor de frequência .....	38
3.3.4 Transformador de corrente.....	39
3.3.5 Controlador lógico programável .....	39
3.3.6 Mão de obra de instalação .....	40
<b>4 SOLUÇÃO 2: PROJETO, BENEFÍCIOS E INSTRUMENTAÇÃO .....</b>	<b>41</b>
4.1 O Projeto .....	41
4.2 Benefícios monetizáveis.....	44
4.3 Cotação.....	44
4.3.1 Sensor de nível .....	44
4.3.2 Chave detectora de velocidade.....	44
4.3.3 Transformador de corrente.....	45

<b>4.3.4</b>	<b>Controlador lógico programável .....</b>	<b>45</b>
<b>4.3.5</b>	<b>Mão de obra de instalação.....</b>	<b>46</b>
<b>5</b>	<b>ANÁLISE ECONÔMICA.....</b>	<b>47</b>
<b>5.1</b>	<b>Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR) .....</b>	<b>47</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>50</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>52</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O setor minerário é altamente estratégico e tem apresentado importantes resultados para o Brasil nos últimos anos. Segundo o IBRAM (Instituto Brasileiro de Mineração), o setor gera em torno de 180 mil empregos diretos e representa 1,4% do PIB brasileiro (FONSECA, 2018). Muitos desses resultados se devem à forte inovação e automação que o setor tem passado nos últimos anos. De acordo com a ABB (*Asea Brown Boveri*), empresa multinacional fornecedora de soluções em tecnologia para a indústria, suas vendas aumentaram em 25% no Brasil, um crescimento proporcional ao nível de automação (TRANSFORMAÇÃO DIGITAL, 2018).

São muitos os desafios do setor minerário, desafios que são contemplados desde o desmonte da rocha até o processo de fragmentação para atingir a faixa de granulometria característica de cada produto. Existem, também, os desafios relacionados aos riscos da atividade de mineração, considerados altos tanto para o profissional quanto para o meio ambiente. Segundo a Norma Regulamentadora 22 (MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO, 2019) é de responsabilidade da empresa a implantação de um plano de gerenciamento desses riscos, que vão desde riscos à integridade física do colaborador a atmosferas explosivas.

Dentro da mineração, o processo de britagem, ou fragmentação da rocha, é a principal etapa em termos de beneficiamento mineral (TÉCNICO EM MINERAÇÃO, 2014). Esse processo deve ser dividido em várias etapas e não segue um padrão de circuito específico (SANTANA, 2009). Além disso, a britagem é sequencial e cada etapa depende do bom funcionamento da etapa anterior. Uma das possibilidades de circuito de britagem pode ser de quatro etapas, sendo que, na britagem terciária se obtêm os principais produtos (Brita 0, Brita 1 e Pó de brita). A brita 1, devido sua maior granulometria dentre os produtos e menor necessidade de processamento, possui alta produtividade. Sendo assim, para otimização do processo produtivo, tem-se o setor quaternário de britagem que utiliza a brita 1 como matéria-prima para a produção de brita zero e pó de brita.

A britagem quaternária, dentre os processos citados, pode ser considerada a etapa mais simples devido ao processamento ser realizado em um material com uma faixa granulométrica reduzida (Brita 1) se comparada à matéria-prima dos processos anteriores. Segundo o Ministério de Minas e Energia a faixa granulométrica da brita 1 deve respeitar o limite mínimo de 9,5 mm e o máximo de 19 mm (VOTORANTIM, 2016). Portanto, o esforço exigido ao britador quaternário é inferior aos demais britadores.



Na britagem quaternária, pode-se classificar os ativos pelo nível de criticidade para o processo produtivo e, com base nesses níveis, traçar estratégias para minimizar a falha desses equipamentos. As correias transportadoras, britador, motor do britador e peneira vibratória podem ser considerados itens de alta criticidade, ou criticidade A, componentes como redutoras, rolos e motores das correias, itens de média criticidade, ou criticidade B e, por último, roletes e cavaletes, itens de criticidade baixa ou criticidade C. Os critérios de classificação envolvem produção, *backup*, qualidade e custo. Equipamentos com alto custo de manutenção e que afetam a qualidade do produto final, não possuem *backup* imediato e que, em caso de falha, interrompem o processo de produção são considerados os equipamentos de alta criticidade (DUTRA, 2019).

No processo de britagem muitas variáveis influenciam na produtividade da planta, como por exemplo, a regulagem dos britadores, frequência da calha vibratória, operação, etc. No entanto, o maior problema, levando em consideração custo e produtividade, são os danos causados pelo travamento das correias transportadoras, sendo que, esse travamento pode ser ocasionado por sujeira nos pés e rolos da correia transportadora e falhas no conjunto motor e caixa redutora. Dentre os danos relacionados a travamento de correia transportadora, destacam-se: o “afogamento” dos britadores cônicos, que pode ser entendido como uma superlotação de material na câmara de britagem do britador (SANTANA, 2009), queima das correias do motor do britador, quebra de rolos, rolamentos, mancais, buchas e rompimento dos tapetes das correias transportadoras causando prejuízo e perda de produção pela necessidade de manutenção corretiva. Sendo assim, é fundamental a detecção imediata e tomada de decisão para que a produtividade não seja afetada.

Neste trabalho serão abordadas alternativas para automatizar o setor quaternário de britagem de uma empresa do ramo da mineração, mais especificamente da britagem, visando estratégias para evitar os principais problemas e riscos encontrados no processo. As variáveis mais importantes serão levantadas e alternativas para o monitoramento e controle serão traçadas, levando em consideração os custos e também o nível de criticidade dos equipamentos presentes na planta. Serão estudadas duas soluções para que a automação do processo seja realizada.

Na primeira solução, será apresentada a instrumentação necessária e os custos atrelados para que o processo tenha um supervisor com banco de dados e informações que permitam sua otimização. Em termos de nível de controle, a primeira solução se encaixa no nível 3 da pirâmide da automação e visa a supervisão dos processos por uma determinada célula de trabalho na planta (AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL, 2012). Já a segunda solução

será focada em automações pontuais (nos equipamentos de alta criticidade), não sendo implementado um sistema supervisorio para isso. A instrumentação e os custos da segunda solução também serão levantados e a melhor alternativa, levando em consideração a realidade da empresa, será apontada.

## **1.1 Objetivos**

O objetivo desse trabalho é estudar algumas soluções para a automação do setor quaternário de britagem de uma indústria de cal, buscando alternativas economicamente viáveis para evitar o “afogamento” do britador cônico bem como o travamento das correias transportadoras. Além da redução de custos em curto, médio e longo prazo. Para tanto, os seguintes objetivos específicos foram definidos:

- Monitorar, em tempo real, as correias transportadoras;
- Criar um sistema automático de segurança para evitar o “afogamento” do britador;
- Analisar, em tempo real, a altura da pilha dos produtos;
- Levantar os custos das soluções apresentadas e também qual será a melhor em termos de investimento;

## **1.2 Justificativa e contribuições**

A manutenção é uma parte vital dentro de qualquer empresa. Em atividades de mineração o planejamento e controle dessas manutenções devem ser constantes. Devido à natureza dos materiais que estão envolvidos no processo de britagem, existe um alto índice de desgaste dos ativos, que, se não forem tratados, levará a falha funcional e à necessidade de manutenção corretiva.

Segundo a norma NBR – 5462, a manutenção corretiva é a manutenção efetuada após a ocorrência de uma falha, destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida (DUTRA, 2019). Esse é o tipo de manutenção mais caro e que se têm mais prejuízos na produtividade da empresa.

De acordo com um levantamento realizado pela equipe de manutenção da indústria de cal em estudo, a principal causa de falhas no processo produtivo está relacionada às correias transportadoras, sendo cerca de 44% das falhas. Sendo assim, é necessário que a atenção com relação a esse ativo seja redobrada e soluções que evitem suas falhas executadas. A seguir,

estão listados alguns itens que, em caso de falhas graves na correia transportadora, deverão ser substituídos e os custos com relação a lucro cessante e mão-de-obra:

- Motor do britador: R\$ 20.000,00;
- Rolo: R\$ 1.200,00;
- Rolamento 1213: R\$ 249,68 (2);
- Bucha H 313: R\$ 53,40 (2);
- Mancal SN 513: R\$ 315,56 (2);
- Tapete correia transportadora 30 polegadas: R\$ 3.382,20 (50 m);
- Lucro cessante: R\$ 26.656,00;
- Homem-hora: R\$ 293,00;
- TOTAL: R\$ 52.149,84;

Tendo em vista os custos e a perda de produtividade da britagem em caso de falhas graves na correia transportadora, soluções que permitam a tomada de decisão imediata se fazem necessárias. A automação do processo, além de permitir monitoramento em tempo real no caso da automação plena, torna possível a intervenção imediata o que evitará os prejuízos citados anteriormente.

### **1.3 Estrutura do trabalho**

Este documento está dividido em 6 capítulos. No primeiro capítulo é apresentado o projeto e o contexto da sua problemática. É apresentado o objetivo geral e os objetivos específicos que permitirão a conclusão do projeto. No segundo capítulo será apresentada a revisão teórica base para as soluções que serão apresentadas para o principal problema buscando um maior nível de detalhamento das dificuldades de automação na indústria de mineração. O terceiro capítulo apresentará a primeira solução, a automação plena do setor, onde será realizado um levantamento de toda instrumentação necessária para a implantação. O quarto capítulo propõe a segunda alternativa de solução, assim como no terceiro capítulo será levantado a instrumentação necessária. No quinto capítulo serão levantados os benefícios monetizáveis, os custos e a análise econômica das soluções. Por fim, no sexto capítulo serão apresentadas as considerações finais do trabalho e a recomendação da melhor alternativa para a empresa dentre as duas soluções apresentadas nos capítulos anteriores.

## 2. MINERAÇÃO

A mineração é uma das atividades mais importantes para a estrutura moderna da humanidade. Os recursos provenientes dela estão presentes em celulares e computadores, estrutura de prédios, sendo essencial para o avanço tecnológico.

Das diversas áreas presentes na mineração, pode-se destacar o beneficiamento de minério, que possui como principais etapas a fragmentação e a classificação do minério (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2019). Entretanto, algumas etapas são necessárias para que o beneficiamento seja realizado. Neste capítulo, será apresentado um breve descritivo do processo minerário, passando em seguida pela manutenção e automação.

O processo inicial, após a definição da área onde será extraída a rocha, utiliza uma perfuratriz (Figura 1), cuja finalidade é a perfuração da rocha. A quantidade de furos (minas) e o espaçamento entre eles são previamente calculados no plano de fogo. Esses equipamentos funcionam golpeando a rocha e ao mesmo tempo girando para que a perfuração seja efetiva (FERREIRA, 2013). Executada a quantidade de furos determinados no plano de fogo, o próximo passo é a detonação da rocha.

Figura 1 – Perfuratriz em ambiente minerário.



Fonte: Própria (2019).

Para que a detonação seja realizada, é necessária a utilização dos detonantes adequados. Os detonantes são explosivos que liberam sua energia rapidamente a cerca de

1.200 a 7.000 m/s (GERALDI, 2011). A quantidade de detonante e material a ser detonado também é especificado no plano de fogo.

Realizado o desmonte da rocha, o próximo passo consiste no carregamento e transporte para a planta de britagem (Figura 2). Para este processo são utilizados escavadeiras e caminhões traçados. Caso o desmonte não seja efetivo, nessa etapa, é utilizado um rompedor para a redução do diâmetro dos chamados matacões. Os matacões são blocos de rocha provenientes do desmonte que não são suportados pelo britador primário, de acordo com a norma NBR 6502 – Rochas e solos, os diâmetros médios dos matacões variam entre 20 cm a 1 m (CORSINI, 2011).

Figura 2 – Carregamento da rocha proveniente do desmonte para abastecimento da planta de britagem.



Fonte: Própria (2019).

A segunda etapa do processo consiste na fragmentação da rocha proveniente da jazida, onde são indispensáveis os britadores. Na indústria de cal são utilizados dois tipos de britadores, os britadores cônicos e o britador de mandíbula, sendo três britadores cônicos e um britador de mandíbula.

Na britagem primária é utilizado o britador de mandíbula que deve ser robusto, pois realizará o processamento em rochas com faixa granulométrica elevada, o diâmetro máximo da rocha a ser recebida pelo britador é de 800 mm segundo o procedimento da empresa, o britador utilizado no processo é um C110 da fabricante Metso. A Figura 3 ilustra o modelo do britador utilizado na indústria de cal.

Figura 3 – Britador de mandíbula Metso C110 que realiza o primeiro processamento da rocha proveniente da jazida.



Fonte: (Sigma, 2019).

Os britadores de mandíbula possuem três tipos de acionamento sendo eles: acionamento com motor elétrico e acoplamento, acionamento direto no motor elétrico e acionamento com motor hidráulico e acoplamento (LIMA, 2019). Seu funcionamento é simples e consiste basicamente na redução do diâmetro da rocha por compressão e cisalhamento utilizando duas mandíbulas, uma móvel e outra fixa.

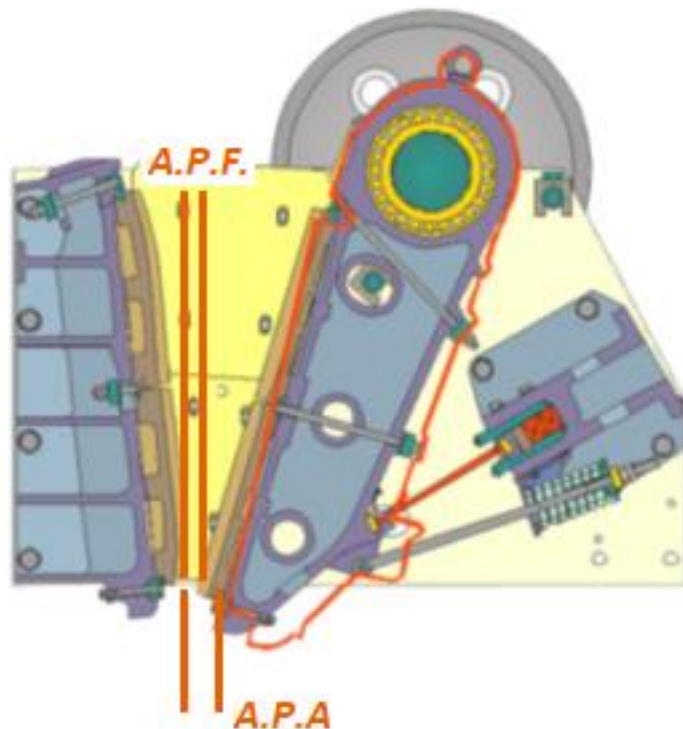
A redução do diâmetro da rocha pelo britador de mandíbula depende de duas variáveis: A.P.A. (Abertura na posição aberta) e A.P.F. (Abertura na posição fechada). A posição fechada determina o tamanho mínimo do material processado pelo britador. As Figuras 4 e 5 mostram o funcionamento do britador de mandíbula e suas variáveis.

Figura 4 – Funcionamento do Britador de mandíbula. Em destaque estão as mandíbulas, móvel e fixa, que são as peças de desgaste do britador primário.



Fonte: POP.BRI.03 – Produção britagens primária e secundária (PEREIRA, 2019).

Figura 5 – A posição fechada do britador (A.P.F) consiste no tamanho mínimo que o material sai do britador e a posição aberta (A.P.A) no tamanho máximo.

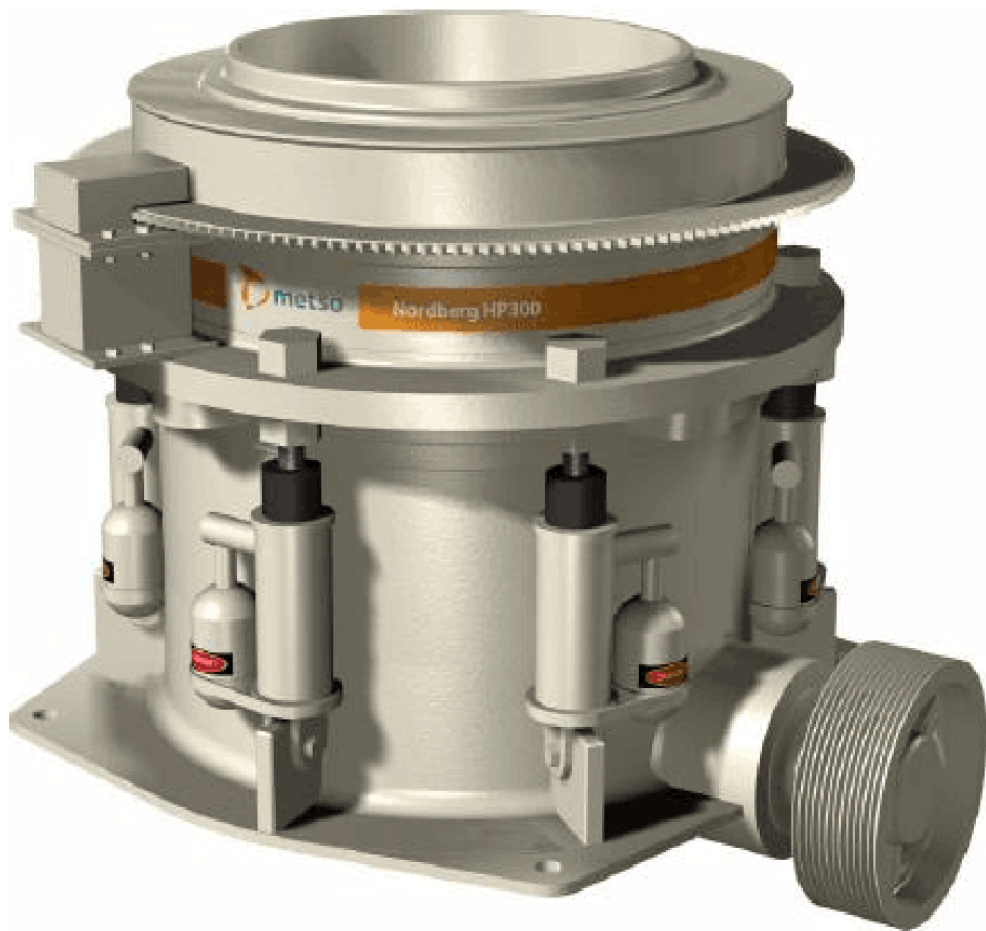


Fonte: Metamec (2020).

O material proveniente do britador é direcionado a uma pilha pulmão que abastece a britagem secundária e terciária. De acordo com o procedimento da indústria de cal, a pilha pulmão deve manter-se sempre cheia para que eventuais quebras e manutenções corretivas no setor primário não interrompam a produção (PEREIRA, 2019).

A terceira e última etapa de produção consiste no processamento do material da pilha pulmão para a obtenção dos produtos finais. Para tal atividade são utilizados os britadores do tipo cônico (Figura 6).

Figura 6 – Britador cônico Metso Nordberg que realiza o processamento do material proveniente do britador de mandíbula.



Fonte: Metso (2014).

Os britadores cônicos, assim como os britadores de mandíbula, realizam a redução do diâmetro da rocha por compressão e cisalhamento e possuem como principais variáveis o A.P.A. e A.P.F., os componentes do britador que mantêm contato direto com a rocha são chamados de manta e revestimento. Na Figura 7 está ilustrada a câmara de britagem de um britador cônico e suas posições aberta e fechada.



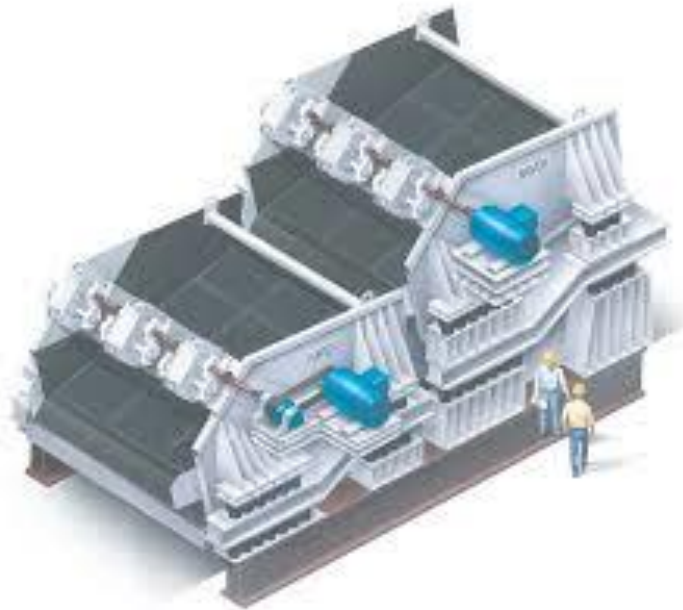
Figura 7 – Manta e revestimento, conjunto de desgaste e suas posições aberta e fechada (A.P.A e A.P.F).



Fonte: Guia de operação HP (LIMA, 2019).

Outro componente essencial para o beneficiamento mineral da brita são as peneiras vibratórias que possibilitam a seleção da granulometria e características dos produtos finais. O peneiramento é um processo que depende basicamente de três condicionantes: Estrutural, telas e alimentação do material (PORTILHO, 2019). Na Figura 8 tem-se um exemplo de peneira vibratória.

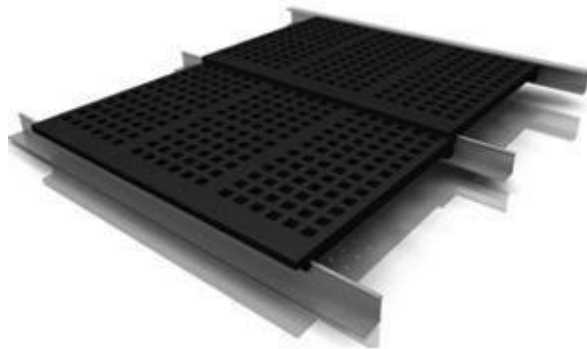
Figura 8 – Peneira vibratória utilizadas na seleção granulométrica da brita.



Fonte: Haver & Boecker (2020).

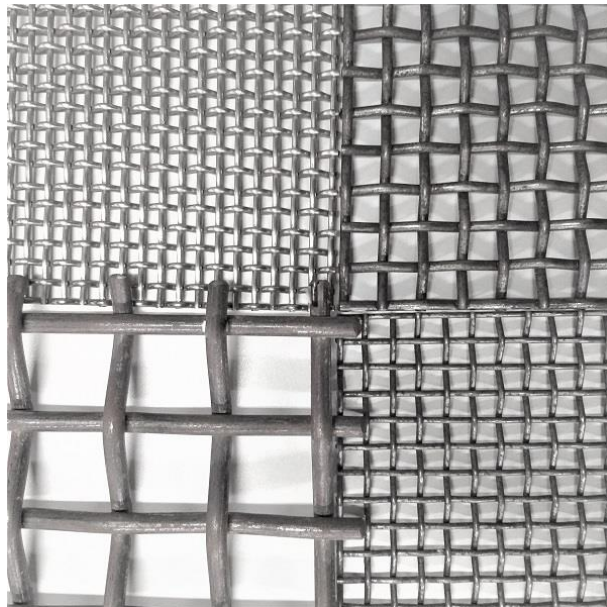
Dentre os diversos equipamentos e componentes da planta de britagem as telas das peneiras vibratórias são as principais responsáveis por um produto de qualidade e padronizado dentro das definições das normas regulamentadoras. As telas são divididas em duas categorias que dependem do material utilizado na sua fabricação, sendo elas as telas sintéticas e metálicas. As telas sintéticas (Borracha ou Poliuretano) possuem vantagens sobre as telas metálicas por serem mais resistentes e possuir maior vida útil (PORTILHO, 2019).

Figura 9 – Tela de borracha das peneiras vibratórias, utilizadas na seleção granulométrica da brita.



Fonte: Otimiza (2020).

Figura 10 – Tela de aço das peneiras vibratórias, utilizadas na seleção granulométrica da brita.



Fonte: Tegape (2020).

Para que todo o processo de britagem seja possível, é necessário que a rocha seja direcionada para os equipamentos que vão realizar o processamento e seleção. Para tal atividade são necessárias as correias transportadoras. Na Figura 11 está ilustrada uma planta específica de britagem onde estão destacadas as correia transportadoras.

Figura 11 – Correias transportadoras, utilizadas para o transporte de brita nas plantas de britagem.



Fonte: Simplex (2020).

Segundo Pinto (2019), os transportadores assemelham-se às artérias do corpo humano, ou seja, qualquer problema nessa etapa causará grandes transtornos no processo. Em suma, o processo de britagem, apesar de simples, depende de uma série de equipamentos e variáveis que, em desconformidade, impedem seu funcionamento.

## 2.1 Manutenções em atividades mineradoras

Assim como qualquer atividade, o beneficiamento mineral está sujeito a falhas, principalmente pela natureza da atividade e do alto nível de desgaste que os ativos estão sujeitos. Sendo assim, para que o processo de britagem seja otimizado, é necessário que a manutenção seja efetiva e que possíveis problemas nos componentes mais críticos sejam detectados antes que a falha funcional aconteça.

Para que a planta esteja sempre disponível para as demandas de produção, são necessários alguns pontos de atenção. A inspeção para detectar possíveis falhas deve ser constante, ou seja, as manutenções preditivas devem estar em dia. Para peças de desgaste e equipamentos com falhas conhecidas e periódicas, devem-se realizar as manutenções preventivas e, caso o ativo chegue à falha funcional, a equipe de manutenção deve estar preparada para realizar a manutenção corretiva em tempo ágil. Além disso, é imprescindível

equipamentos de boa qualidade e um bom dimensionamento de itens de estoque (REGGIO, 2019).

Para os britadores de mandíbula, o principal ponto de atenção são as peças de desgaste, mandíbula fixa e móvel. A troca deve ser periódica e baseada no desgaste desses componentes. O desgaste das mandíbulas depende de alguns fatores como, por exemplo, tipo de rocha a ser processada e ajuste da posição fechada, ou seja, quanto menor a quebra da rocha maior o esforço e desgaste. Segundo Lima (2019), a substituição das mandíbulas deve acontecer quando a espessura das extremidades chegarem aos 25 mm ou quando as corrugações ficarem planas. Na Figura 12 esta ilustrada a mandíbula e suas corrugações.

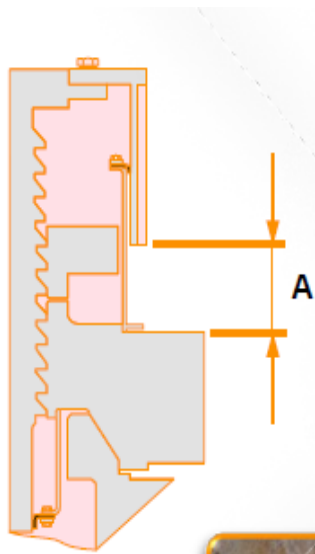
Figura 12 – Mandíbula, peça de desgaste do britador primário.



Fonte: Britadores de mandíbula (LIMA, 2019).

Os britadores cônicos, assim como os britadores de mandíbula, possuem peças de desgaste (manta e revestimento na Figura 7). A troca da manta e revestimento deve ser realizada quando a face inferior da capa de ajuste e o topo do anel de ajuste alcançar uma distância referencial obtida por amostragem como mostra a Figura 13.

Figura 13 – Distância referencial utilizada na medição de desgaste dos componentes do britador cônico.



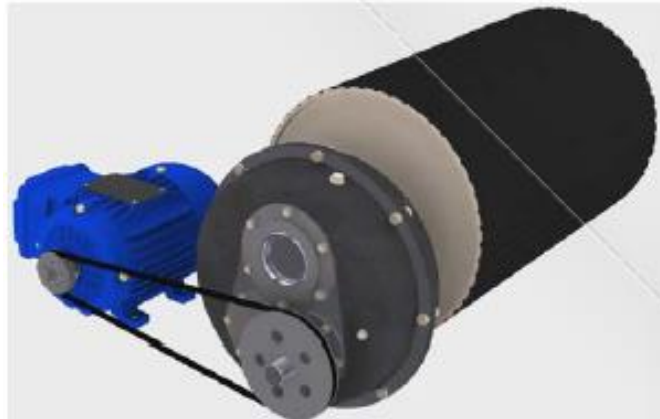
Fonte: Guia de operação HP (LIMA, 2019).

Outra forma de previsão de manutenção das peças de desgaste dos britadores é por horas trabalhadas. Quando a peça atinge determinado número de horas trabalhadas, em média 500 horas, mas varia de acordo com o tipo de rocha, é realizada a substituição por uma nova. Assim, como a distância referencial entre a capa e anel de ajuste, o número de horas deve ser determinado por amostragem e varia de acordo com o tipo de material que o britador está processando.

Outro conjunto de equipamentos críticos na planta de britagem são o dos transportadores que podem ser divididos em três subcomponentes em termos de manutenção: Conjunto de acionamento, Tapete de borracha, roletes e cavaletes.

Segundo Pinto (2019), para que a potência do motor seja transmitida às correias transportadoras é necessário um sistema de acionamento composto por um redutor e tambor de acionamento. Dentre as manutenções a serem realizadas nesse conjunto estão a inspeção periódica de temperatura dos redutores e motores, lubrificação e alinhamento entre polias. Caso sejam detectadas discrepâncias de temperatura, é necessária a substituição dos redutores, pois indica falha parcial do ativo. Na indústria de cal do presente estudo, a temperatura média de trabalho dos redutores abrange a faixa de 40°C a 60°C, considerada ideal pela equipe de manutenção. No caso dos motores, alta temperatura indica fadiga dos rolamentos, sendo necessária a substituição preventiva desses rolamentos. A Figura 14 ilustra o sistema de acionamento das correias transportadoras.

Figura 14 – Sistema de acionamento de transportadores composto por motor, redutor e tambor de acionamento.



Fonte: Transportadores (PINTO, 2019).

Os tapetes de borracha, roletes e cavaletes trabalham de forma conjunta e o bom funcionamento e condições de um desses componentes afeta diretamente o comportamento do outro. A principal causa de falha desse conjunto é o desalinhamento, ruptura dos tapetes e travamento dos roletes. Sendo assim, manter as correias transportadoras alinhadas e substituir roletes travados é importante para que não aconteçam falhas nesse equipamento. A Figura 15 ilustra um caso de desalinhamento do conjunto.

Figura 15 – Correia transportadora desalinhada, um dos principais problemas de transporte de materiais.



Fonte: Transportadores (PINTO, 2019).

As peneiras vibratórias, no quesito manutenção, devem ter uma atenção especial, por se tratar de um ativo que afeta diretamente a qualidade do produto e como consequência a satisfação dos clientes. Por se tratar de um ativo que está sujeito à vibração, os danos estruturais e alto nível de desgaste estão sempre presentes.

Além de danos na estrutura da peneira em si, como trincas e furos, que ocorrem devido ao atrito com o material e podem ser detectadas por inspeção em campo, as telas também são afetadas e com o tempo perdem sua capacidade de selecionar as britas na granulometria correta. Quando são detectadas as não conformidades do produto, é necessária a intervenção da equipe de manutenção na troca das telas desgastadas. Os danos estruturais e trincas das peneiras são detectados por meio da inspeção em campo, quando detectado é realizado a troca das chapas de desgaste ou telas no caso de produto não conforme. Na Figura 16 pode-se ver um exemplo de dano estrutural por desgaste devido ao atrito na peneira vibratória.

Figura 16 – Dano estrutural causado pelo atrito com o material rochoso em peneiras vibratórias.



Fonte: Própria (2019).



Devido à agressividade do processo de britagem e o excesso de pulverulento gerado é necessário que a lubrificação dos equipamentos seja efetiva e para isso toda planta de britagem deve ter um bom plano de lubrificação dos ativos. Os principais pontos de atenção em termos de lubrificação são: lubrificante incorreto, quantidade incorreta, frequência incorreta e contaminação do lubrificante.

O primeiro passo para a criação do plano de lubrificação da planta é determinar quais serão os pontos de lubrificação (Ex. Rolamento 1, Mancal 1, Redutor 1, etc.) e, posteriormente, a definição do lubrificante correto levando em conta a classificação por número de consistência NLGI (Instituto Nacional de Graxa Lubrificante, do inglês National Lubricating Grease Institute) para graxas e a viscosidade para óleos. E por fim, a definição da quantidade e frequência de lubrificação levando em consideração a temperatura de trabalho do ativo pelo número de horas trabalhadas (DUTRA, 2019).

## **2.2 Automações em atividades mineradoras**

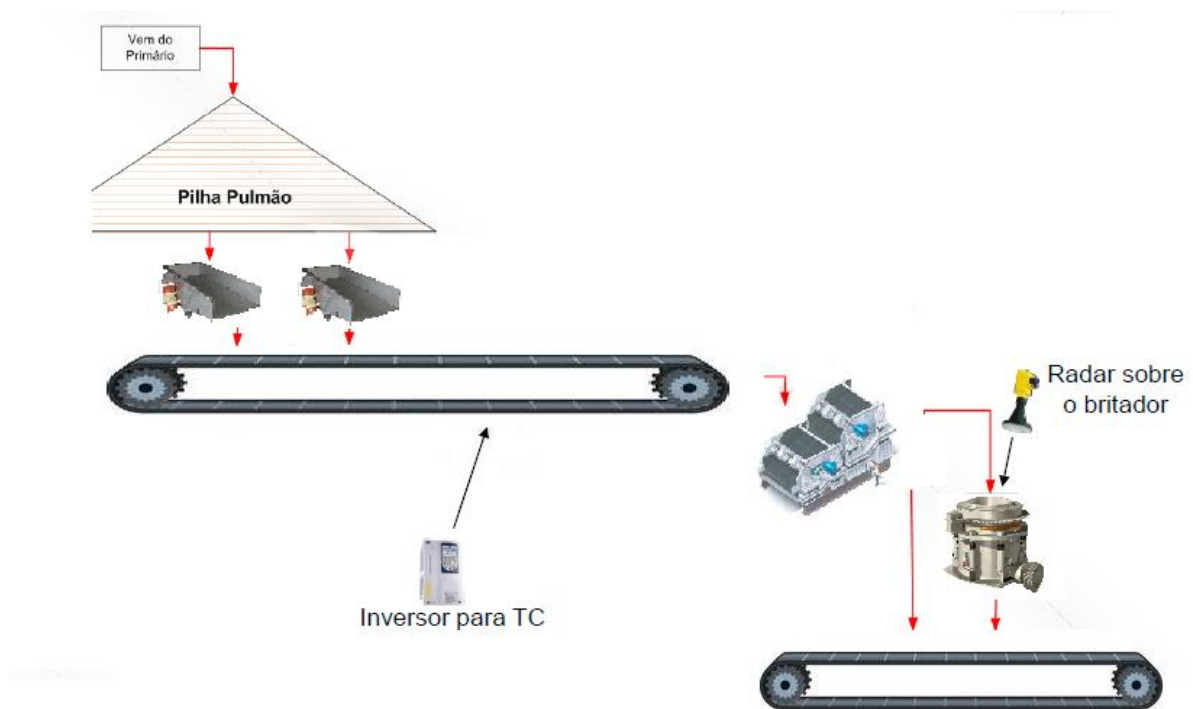
A automação industrial, sem dúvida alguma, encontra-se em um estágio avançado e que promove grandes melhorias nos processos, sejam elas de caráter econômico, eficiência, produtividade ou conforto. Atividades de mineração também sofreram grande evolução no caráter tecnológico nos últimos anos, tornando as plantas de britagem mais eficientes, reduzindo o custo de mão-de-obra e de manutenção, e aumentando a segurança. Nos últimos 30 anos, o cenário das plantas de britagem mudou de partida por inúmeras botoeiras para partida sequencial ao toque de um botão. Britadores que antes eram alimentados e regulados manualmente passaram a ter alimentação e regulação automática visando a máxima eficiência (BICALHO, 2019).

Em se tratando de automatização de processos que fazem parte da britagem, existem muitos pontos críticos que devem ser levados em consideração. Porém, nenhum equipamento no processo é mais crítico do que o britador seja por questão de função desempenhada ou custo de manutenção. Sendo assim, todo projeto de automação deve ser feito levando em consideração o bom funcionamento do britador ou britadores da planta seguidos de correias transportadoras e peneiras vibratórias.

### **2.2.1 Automações em equipamentos críticos de britagem**

A produtividade dos britadores cônicos depende essencialmente de três variáveis: nível do material dentro do britador, nível da pilha pulmão e corrente do motor do britador. Para atuar nessas variáveis, é necessário o controle de velocidade da correia transportadora de alimentação do britador, ou seja, a vazão de entrada do material. Manter o britador sempre cheio, monitorando a potência do motor para evitar sobrecarga e o nível da pilha pulmão para evitar falta de material é indicativo de que a maior produtividade está sendo extraída, além de uma maior homogeneização do material produzido (BICALHO, 2019). Na Figura 17 está ilustrado um exemplo de controle de velocidade da correia transportadora de alimentação do britador feito por um inversor de frequência conectado ao motor da correia, para realimentação do sistema é utilizado um radar sobre o britador com informações sobre o nível do material.

Figura 17 – Automação em plantas de britagem. Exemplo de controle de nível utilizando um radar e um inversor de frequência.



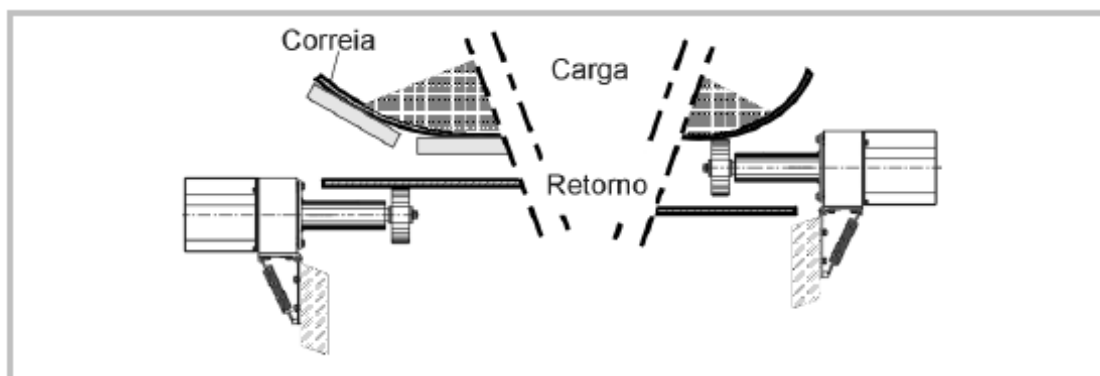
Fonte: Automação (BICALHO, 2019).

Além da otimização do processo de britagem, o projeto de automação deve levar em consideração possíveis falhas que ocasionarão parada prolongada da produção e alto custo de manutenção. A corrente do motor deve ser sempre um ponto de atenção, pois fornece informações valiosas a respeito do processo de fragmentação da rocha, corrente acima da

nominal significa excesso de material na câmara de britagem, possível “afogamento” do britador e queima das correias que o tracionam. Sendo assim, o controlador deve ajustar a alimentação do britador, em caso de emergência desligá-lo, evitando essa possível falha.

As correias transportadoras são componentes da planta que também devem ser monitoradas, visto que, seu travamento (sobrecarga, deslizamento, ruptura, etc.) provocará acúmulo de material no circuito, provocando quebra de outros componentes e paradas prolongadas para manutenção corretiva. Uma forma de monitorar as correias é a utilização de uma chave detectora de desvio de velocidade. A Figura 18 mostra um exemplo de instalação da chave detectora de desvio de velocidade em correias transportadoras.

Figura 18 – Chave detectora de desvio de velocidade, utilizada para medir variações de velocidade e condição das correias transportadoras.



Fonte: Elmec. (2020).

Peneiras vibratórias, assim como correias transportadoras e britadores, são críticas para o processo e do ponto de vista de automação da planta de britagem é indispensável a detecção de problemas relacionados a elas. Para o monitoramento, são necessários sensores de corrente para os motores, de forma que, qualquer parada (problema mecânico ou elétrico) do equipamento seja detectada e uma ação tomada.

### 2.2.2 Automação no setor quaternário de britagem

O setor quaternário da indústria de cal trata-se de uma planta de reprocessamento da brita 1 gerada no setor principal (terciário), dessa forma, pode-se considerar uma parte mais simples e com menos equipamentos para o processamento. O setor conta com cinco correias transportadoras, um britador cônico e uma peneira vibratória. A brita 1 gerada no setor

terciário é direcionada a uma pilha pulmão, embaixo dessa pilha pulmão existe um túnel que direciona a brita à correia transportadora de alimentação do britador. A brita 1 é processada e classificada obtendo-se a brita 0 e pó de brita como produtos finais.

Figura 19 – Setor quaternário da indústria de cal, utilizado no processamento de brita 1 para obtenção de brita 0 e pó de brita.



Fonte: Própria (2019).

A capacidade de produção do setor gira em torno de 70 toneladas por hora, sendo 50 toneladas por hora de brita 0 e 20 toneladas por hora de pó de brita em média. O funcionamento do setor depende da demanda e volume de brita 1. Em caso de falta de brita 1 o setor é desativado temporariamente.

A primeira variável a ser monitorada é o nível de brita 1 na pilha pulmão, o sistema de controle deve ser capaz de identificar se a quantidade de brita 1 é adequada para o funcionamento do setor. Para tal, é utilizado um sensor de nível do tipo radar instalado na correia transportadora da brita 1. O mesmo sistema é utilizado para monitorar o nível da pilha dos produtos (brita 0 e pó de brita), visto que, a pilha de material, quando muito alta, pode danificar a correia transportadora e sua estrutura. A Figura 20 mostra o funcionamento do sensor de nível para pilhas de brita.

Figura 20 – Sensor de nível (Radar) responsável pelo monitoramento do nível de pilhas de brita.

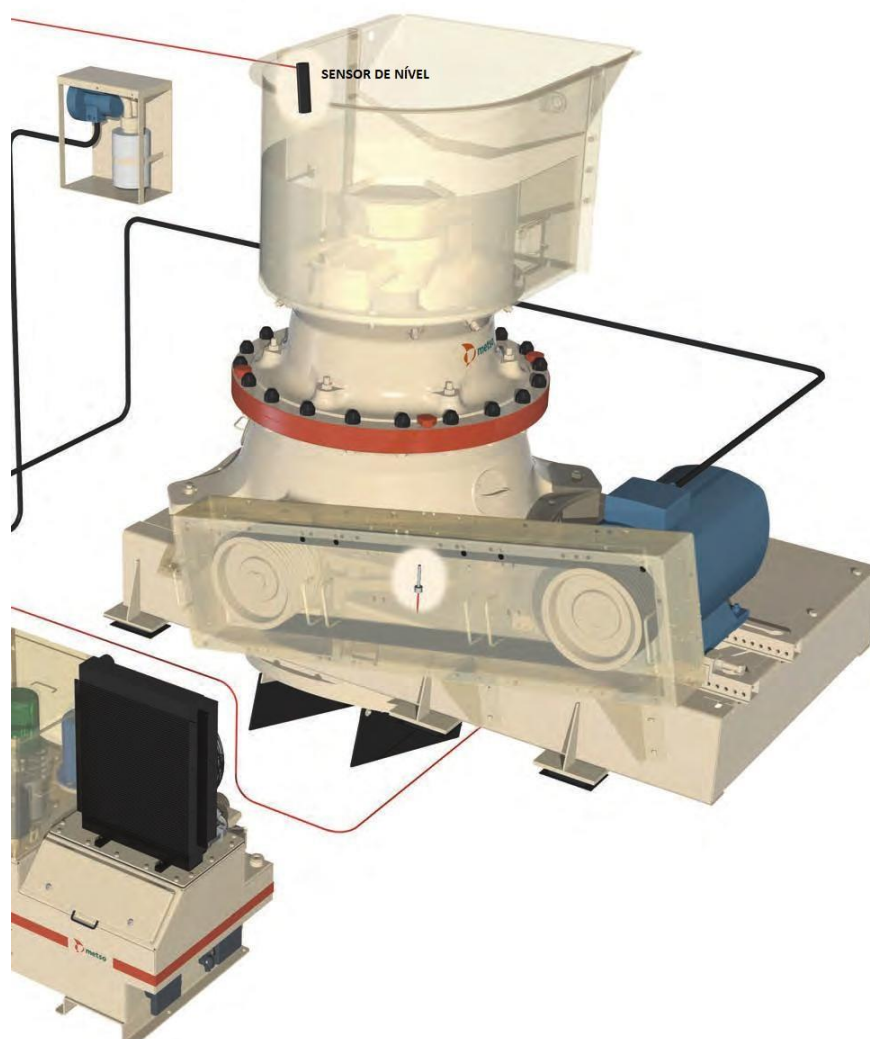


Fonte: Nogueira (2019).

A próxima etapa é o direcionamento da brita 1 até o britador cônico do setor quaternário. A correia transportadora responsável por esse direcionamento tem sua velocidade controlada por meio de um inversor de frequência ligado ao motor do conjunto de acionamento. A variável controlada nessa etapa é o nível de material dentro do britador e a corrente do motor do britador. O *setpoint* é definido empiricamente, levando em consideração amostras ideais de corrente do motor do britador, nível do material dentro do britador e produtividade da planta.

Para realizar o controle de nível no britador também é utilizado um sensor de nível do tipo radar. A Figura 21 ilustra um exemplo de posicionamento do sensor em um britador.

Figura 21 – Sensor de nível posicionado acima do britador cônico. Responsável por detectar se a alimentação do britador está otimizada.



Fonte: Metso (2018).

Em todas as cinco correias do setor quaternário são instaladas chaves detectoras de velocidade (Figura 17) para monitoramento das correias. Caso seja detectado travamento em algum ponto, toda planta deve ser desligada e a equipe de manutenção deve ser acionada para corrigir o problema.

Para a peneira vibratória, o monitoramento é feito por meio de um sensor de corrente elétrica não invasivo (Transformador de corrente). O objetivo é detectar qualquer problema como, por exemplo, a sobrecorrente, que possa afetar o funcionamento do motor e, conseqüentemente, da peneira vibratória. O mesmo modelo de sensor de corrente elétrica será utilizado no motor do britador, porém, deve ser mais robusto, visto que, o motor do britador é um motor com maior capacidade. A Figura 22 ilustra um sensor de corrente elétrica não invasivo.

Figura 22 – Sensor de corrente elétrica não invasivo (Transformador de corrente). Sensor Utilizado para monitorar a corrente elétrica dos motores mais críticos da planta de britagem.



Fonte: Submarino (2019).

Toda instrumentação, sensores e atuadores são interligados por um controlador lógico programável (CLP), que por sua vez realiza o controle automático da planta com base nos parâmetros e lógica programada. Além disso, o controlador é responsável pela interface homem-máquina, ou seja, um sistema supervisor é implementado por meio dele. A escolha do controlador para o sistema deve levar em consideração, além dos equipamentos a serem controlados, as condições de trabalho e o ambiente insalubre em que será instalado.

### 2.3 Considerações finais do capítulo

A fragmentação do minério, apesar de ser um processo simples em teoria, demanda uma grande quantidade de equipamentos e processos. E assim como em todas as indústrias, busca-se soluções para a otimização dos recursos sejam eles humanos ou não.

A automação industrial, assim como qualquer outra melhoria de processos, possui vários desafios, especialmente quando aplicada em ambientes insalubres onde o desgaste e as quebras de equipamentos são constantes como no caso da britagem. Ao mesmo tempo em que

desafiador, a implementação da automação nos processos de britagem trarão a curto e longo prazo grandes benefícios.

Em curto prazo pode-se destacar a melhoria de produtividade, visto que, o britador e demais equipamentos sempre trabalharam nas condições ideais de alimentação, redução de manutenção corretiva e melhoria dos indicadores de produção. E como consequência, têm-se os benefícios econômicos como diminuição de lucro cessante e maior disponibilidade dos produtos para a venda. Em longo prazo destaca-se a redução da depreciação dos ativos, também pelo fato de que eles trabalharão sobre as condições ideais reduzindo o envelhecimento ou degeneração dos equipamentos.

Em suma, etapas produtivas, manutenção e automação devem ser conciliadas e sintonizadas para que o objetivo final, que é atender aos clientes da empresa com um produto de qualidade e com o menor custo, seja possibilitado. A seguir serão apresentadas duas soluções, que utilizarão como base a instrumentação apresentada, além da integração ao processo produtivo. Sendo que, a primeira solução contará com um sistema supervisor e controle em todos os pontos críticos da planta, já a segunda solução será um sistema automático de proteção para o britador cônico do setor quaternário de britagem.



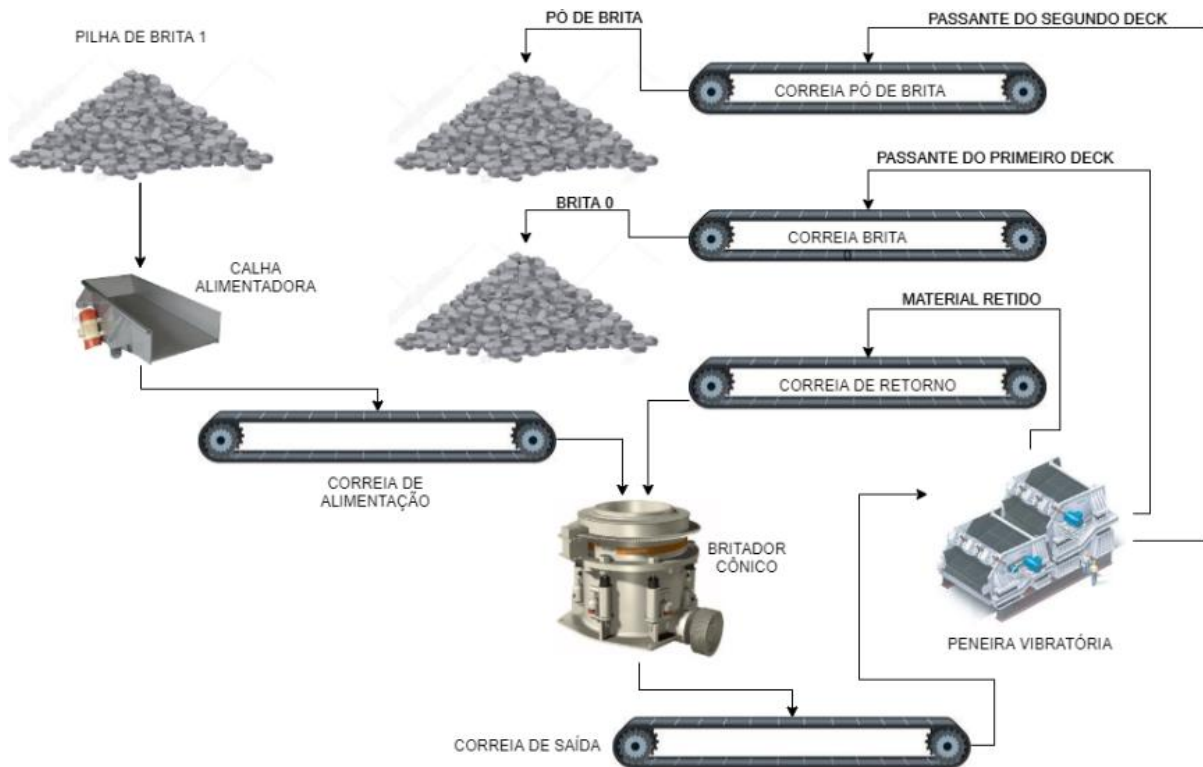
### **3. SOLUÇÃO 1: PROJETO , BENEFÍCIOS E COTAÇÃO**

A primeira solução contempla toda instrumentação previamente apresentada no Capítulo 2 e conta com um sistema supervisor. O sistema deve ser capaz de iniciar a planta com base no nível da pilha de brita 1, ou seja, caso a disponibilidade de brita 1 seja grande, o sistema reduz esse estoque gerando brita 0 e pó de brita. Além disso, o sistema também deve ser capaz de controlar a planta, otimizando o processo produtivo por meio da melhor alimentação dos ativos e evitando possíveis falhas. Neste capítulo será apresentado o projeto proposto por esta solução, os benefícios esperados e os custos esperados de instrumentação.

#### **3.1 O Projeto**

Para que o projeto de automação seja definido é necessário que o processo em si seja modelado, para tal, os principais pontos do processo e equipamentos críticos foram levantados. Na Figura 23 tem-se uma ilustração do processamento realizado no setor quaternário para a obtenção dos produtos finais.

Figura 23 – Esquema da britagem quaternária, com os principais componentes presentes no setor. As setas indicam a direção da brita.



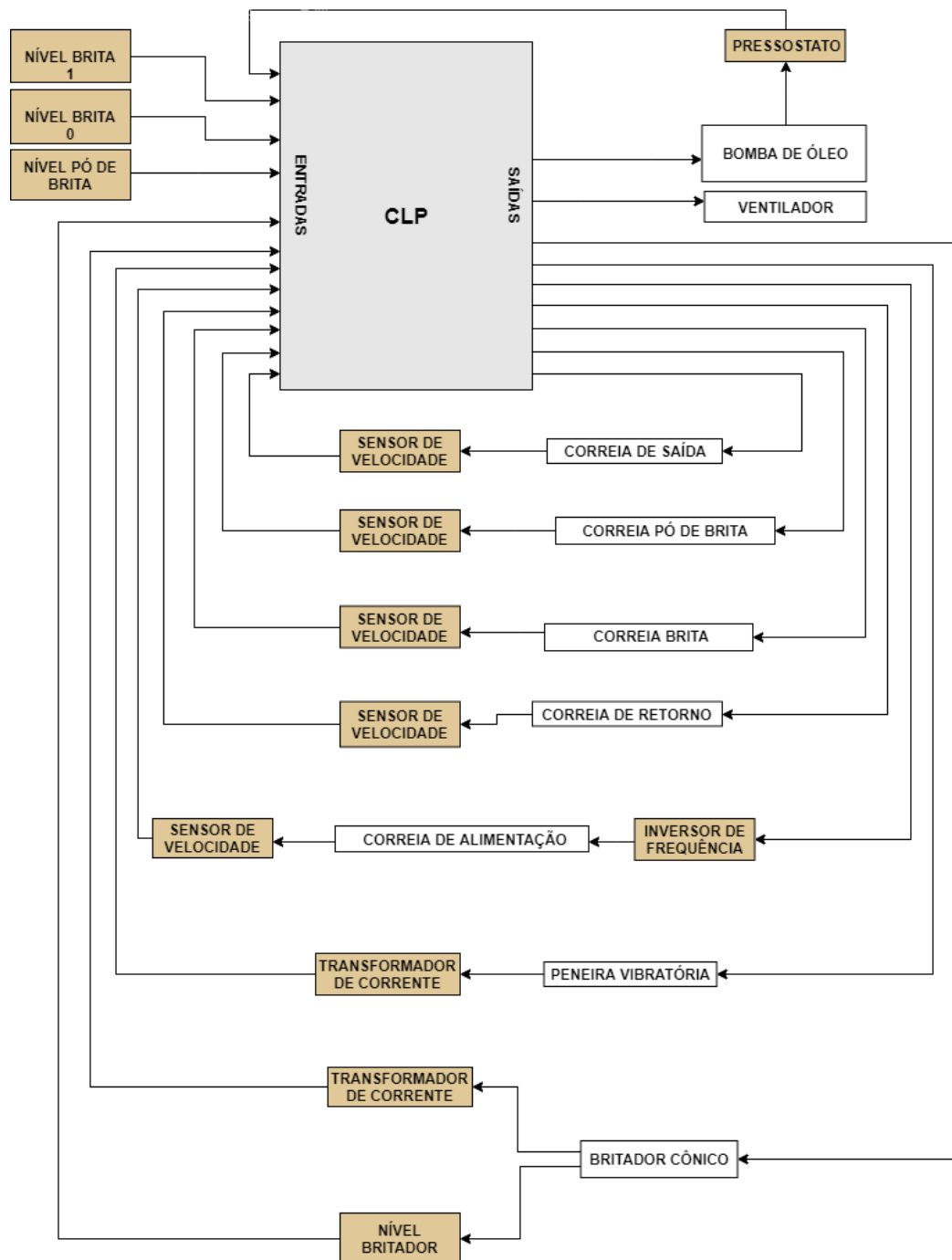
Fonte: Própria (2020).

O processo de britagem é iniciado com a ativação da Correia de alimentação, a brita 1 é escoada via gravidade para o circuito. Entretanto, para ligar a planta deve-se seguir um procedimento iniciando pela bomba de óleo e ventilador do britador, seguido pela correia de saída, britador cônico, correia do pó e da brita 0, correia do retorno, peneira vibratória e, por último, para que o circuito seja alimentado, a correia de alimentação.

O britador inicialmente encontra-se vazio e não realiza a quebra do material, somente quando o circuito está cheio e a quantidade de brita dentro da câmara de britagem é ideal que inicia-se o processo de quebra e redução granulométrica.

A primeira solução deve levar em consideração todos os pontos importantes citados para que a automação do setor seja possibilitada. Sendo assim, para atender os requisitos operacionais, o seguinte diagrama de blocos do projeto de automação foi definido, como ilustra a Figura 24.

Figura 24 – Diagrama de blocos em alto nível do projeto de automação para a primeira solução.



Fonte: Própria (2020).

O sistema de controle projetado, leva em consideração os níveis de brita 1 (matéria prima), brita 0 e pó de brita para iniciar a planta. Conforme for detectado pelos sensores de nível que a disponibilidade dos materiais é favorável, ou seja, estoque grande de brita 1 e baixo de brita 0 e pó de brita, o controlador deve tomar a ação de ligar a planta e equilibrar os estoques.

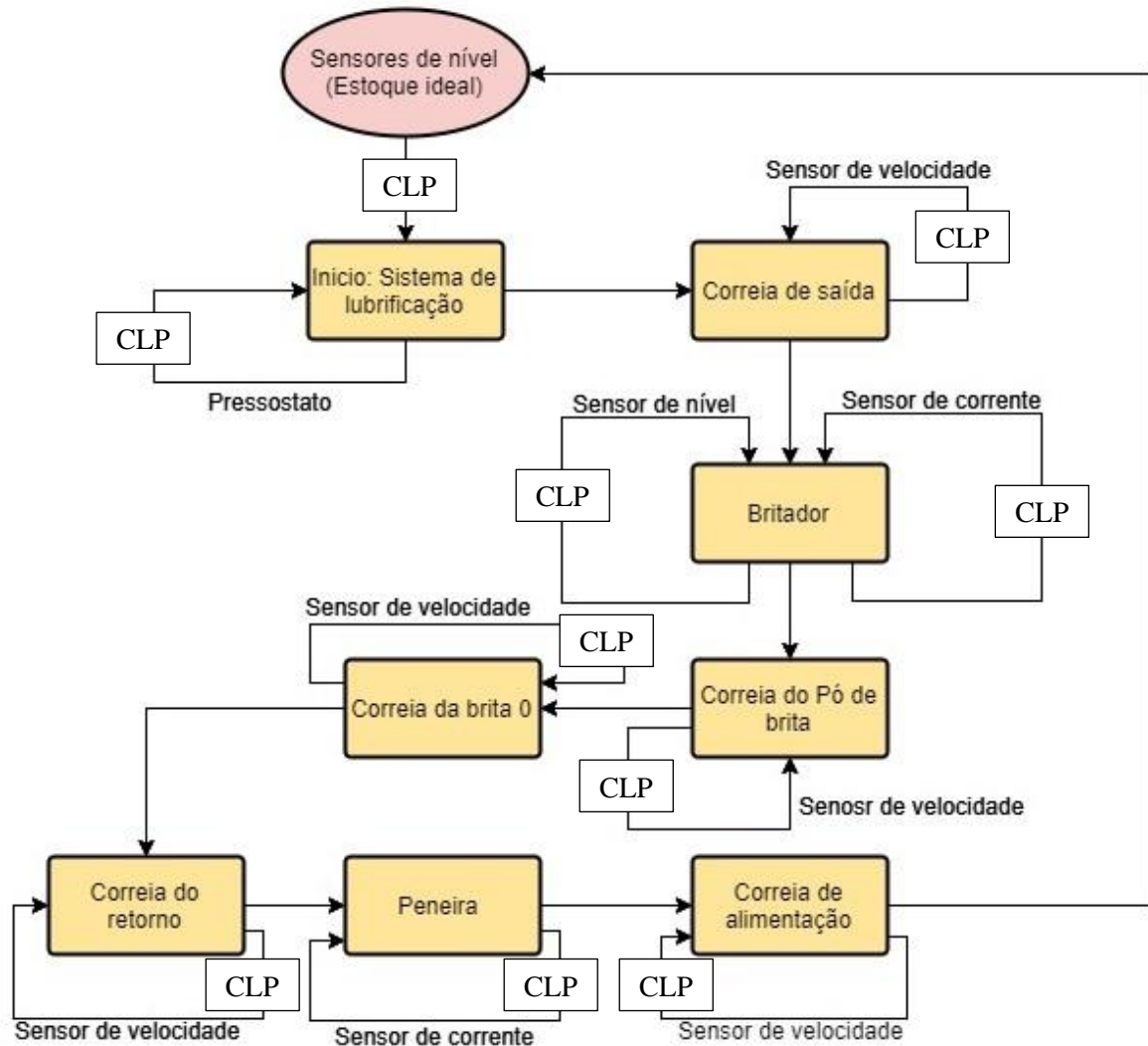
Outro ponto importante que deve ser levado em consideração pelo projeto é o sistema de lubrificação do britador cônico. O sistema é composto por uma caixa de óleo de aproximadamente 400 litros, um sistema de bombeamento (bomba e motor) e um de arrefecimento do óleo (trocador de calor e ventilador). O sistema também conta com uma proteção por meio de um pressostato que, caso detecte baixa pressão do óleo, envia um sinal de emergência que desativa a planta visando à proteção do britador cônico.

As correias transportadoras, como mencionado no Capítulo 2, são responsáveis pelo transporte do material na planta de britagem. Para que o processo funcione é necessário garantir que o material está sendo de fato transportado. Os responsáveis por esse monitoramento são os sensores de velocidade que, a qualquer sinal de falha das correias (variações bruscas de velocidade), envia um sinal para o controlador para que o processo seja interrompido e a manutenção realizada. Com relação à correia transportadora de alimentação (Figura 22), além do monitoramento, o controle de velocidade é feito utilizando-se um inversor de frequência. A função do inversor de frequência é variar a velocidade do motor da correia de alimentação para que a vazão de entrada do material no britador seja controlada, evitando-se subalimentação ou sobrealimentação (afogamento).

Com relação ao britador cônico o projeto da primeira solução permite o monitoramento de duas variáveis importantes no processo, sendo elas o nível do material na câmara de britagem e a corrente do motor do britador. O monitoramento da corrente e do nível são de extrema importância e evitam sobrecarga e danos no equipamento. Além disso, essas duas variáveis são utilizadas na realimentação do sistema de controle de alimentação do britador, feito por meio do inversor de frequência ligado ao CLP e motor da correia transportadora de alimentação.

O controle proposto para a solução é o PID (Proporcional, integral e derivativo), devido às características de alimentação do britador e demais variáveis do sistema. A Figura 25 a seguir ilustra o fluxograma da malha de controle.

Figura 25 – Fluxograma da primeira solução.



Fonte: Própria (2020).

A escolha do CLP para controlar o sistema foi motivada pela robustez desses equipamentos e pelo fato do processo a ser controlado estar em um ambiente muito hostil (poeira, vibração, humidade, etc.), sendo mais confiável do que outros controladores como, por exemplo, os microcontroladores. Além do fato de os CLP's facilitarem a comunicação em redes industriais por meio dos protocolos de comunicação.

Conforme mencionado anteriormente, o projeto da solução 1 conta com um sistema supervisório que pode ser interligado à rede da empresa, ou seja, será possível monitorar o funcionamento do processo de qualquer computador autorizado conectado na rede corporativa, facilitando a tomada de decisão inclusive do setor comercial da empresa em termos de disponibilidade de material.

### **3.2 Benefícios monetizáveis**

A primeira solução, por se tratar de um sistema de controle que atua na otimização do processo e no monitoramento dos pontos críticos por meio de sensores e um supervisor, tem como principais vantagens a redução do fator humano e manter os ativos em condições ideais de trabalho, evitando as quebras e os prejuízos citados na Seção 1.2. Como consequência dessas vantagens, tem-se o aumento da produtividade e redução de custos de manutenção e de pessoal.

Levando em consideração o período do mês de setembro de 2019, o custo total de manutenção do setor quaternário ultrapassou R\$ 4.000,00. Portanto, com a redução das intervenções da equipe de manutenção, seja por condições ideais de trabalho dos ativos ou paradas emergenciais evitando maiores danos, trarão grandes benefícios aos resultados da empresa.

Tendo em vista que o preço médio da brita 0, que é o produto com maior saída na empresa, gira em torno de 49 reais por tonelada, é imprescindível que o tempo disponível para produção seja otimizado, sem quebras ou paradas. Uma hora de produção parada implica em lucro cessante estimado (apenas da brita 0 produzida no setor quaternário), sem levar em conta custos de produção como energia elétrica, de R\$ 2.450,00. Sendo assim, melhorias na planta que mitiguem os custos citados anteriormente são imprescindíveis para o crescimento da empresa. Uma análise de custos será melhor apresentada no Capítulo 5.

### **3.3 Cotação**

Considerando a solução apresentada na Seção 3.1, para a sua concepção serão necessários alguns instrumentos adicionais além da mão de obra de instalação. Nesta seção será listada a cotação destes itens.

#### **3.3.1 Sensor de nível**

Segundo Nogueira (2019), o princípio de medição do sensor de nível do tipo radar é baseado no tempo de deslocamento de um sinal de microondas. Um sinal curto é emitido pelo radar e refletido pela superfície do produto, a distância é calculada proporcionalmente ao tempo em que o sinal leva para retornar. Se a altura do sensor é conhecida, o nível atual pode

ser obtido pela subtração da distância calculada. A Tabela 1 mostra a cotação com os fornecedores que comercializam o produto.

Tabela 1 – Cotação do sensor de nível.

<b>Equipamento</b>	<b>Qtd.</b>	<b>VEGA</b>	<b>BINDICATOR</b>	<b>ENDRESS + HAUSER</b>
<b>Sensor de nível</b>	<b>4</b>	<b>R\$ 9.521,23 Un.</b>	<b>R\$ 17.148,79 Un.</b>	<b>R\$ 21.884,49 Un.</b>
<b>Total</b>		<b>R\$ 38.084,92</b>	<b>R\$ 68.595,16</b>	<b>R\$ 87.537,96</b>

Fonte: Própria (2019)

### 3.3.2 Chave detectora de velocidade

A chave detectora de velocidade tem como objetivo detectar desvios de velocidade em correias transportadoras. A subvelocidade em correias transportadoras pode ser ocasionada por sobrecarga, deslizamento, ruptura da correia, etc. A Tabela 2 mostra a cotação com os fornecedores que comercializam o produto.

Tabela 2 – Cotação da chave detectora de velocidade.

<b>Equipamento</b>	<b>Qtd.</b>	<b>BRX</b>	<b>ELMEC</b>
<b>Chave detectora de velocidade</b>	<b>5</b>	<b>R\$ 3.593,70 Un.</b>	<b>R\$ 1.950,00 Un.</b>
<b>Total</b>		<b>R\$ 17.968,50</b>	<b>R\$ 9.750,00</b>

Fonte: Própria (2019)

### 3.3.3 Inversor de frequência

Os inversores de frequência são dispositivos eletrônicos utilizados no controle de velocidade de motores elétricos. Seu funcionamento consiste na variação da frequência da rede que alimenta o motor. Para tal, o dispositivo converte corrente alternada fixa em corrente alternada variável, tornando possível o controle da potência consumida pela carga (MUNDO DA ELÉTRICA, 2019).

Para dimensionamento do inversor, deve-se levar em consideração o motor a ser controlado, além disso, o inversor deve ser compatível ao CLP, para que o controle de velocidade da correia seja efetivo e com informações dos sensores de corrente e velocidade. O conjunto de acionamento da correia de alimentação do britador possui um motor da marca

WEG de 15 cavalos e corrente nominal de 21,9 Amperes. A Tabela 3 mostra a cotação com os fornecedores que comercializam o produto.

Tabela 3 – Cotação do inversor de frequência.

<b>Equipamento</b>	<b>Qtd.</b>	<b>VIEWTECH</b>	<b>AMERICANAS</b>	<b>SHOPTIME</b>
<b>Inversor de frequência</b>	<b>1</b>	<b>R\$ 4.166,00</b>	<b>R\$ 3.780,50</b>	<b>R\$ 3.780,50</b>

Fonte: Própria (2019)

### 3.3.4 Transformador de corrente

Os transformadores de corrente são dispositivos utilizados para medição de corrente elétrica, seja por motivo de monitoramento ou proteção. Basicamente, esses dispositivos reduzem a corrente elétrica em um determinado cabeamento utilizando uma relação de enrolamentos (primário e secundário) conhecida para que essa corrente possa ser mensurada (MUNDO DA ELÉTRICA, 2019).

O transformador de corrente é utilizado em dois pontos na planta de britagem, no motor que aciona o britador quaternário e no motor que aciona a peneira vibratória. O motor utilizado na peneira vibratória é da marca WEG e de 30 cavalos com corrente nominal de 42 Amperes. Já o motor do britador, também da marca WEG de 250 cavalos e corrente nominal de 330 Amperes. A Tabela 4 mostra a cotação do transformador de corrente.

Tabela 4 – Cotação do transformador de corrente.

<b>Equipamento</b>	<b>Qtd.</b>	<b>ALMAX ENERGIA</b>	<b>AMERICANAS</b>	<b>SUBMARINO</b>
<b>Transformador de corrente (250CV)</b>	<b>1</b>	<b>R\$ 667,19</b>	<b>R\$ 707,22</b>	<b>R\$ 702,22</b>
<b>Transformador de corrente (30CV)</b>	<b>1</b>	<b>R\$ 185,61</b>	<b>R\$ 79,20</b>	<b>R\$ 65,19</b>

Fonte: Própria (2019)

### 3.3.5 Controlador lógico programável

Os controladores lógicos programáveis são computadores que são utilizados no controle de atuadores industriais (dispositivos de saída). Para isso, é implementado no



controlador um programa (software) baseado no sistema de controle que se deseja desenvolver. São utilizados também os sensores (dispositivos de entrada) que fornecem as informações necessárias para o sistema (MUNDO DA ELÉTRICA, 2019). A Tabela 5 mostra a cotação do transformador com os fornecedores que comercializam o produto.

Tabela 5 – Cotação do controlador lógico programável Siemens da família S7-1200 e Dakol V350-J-T38.

<b>Equipamento</b>	<b>Qtd.</b>	<b>SMARTEC</b>	<b>DAKOL</b>	<b>SUPERCONTROL</b>
<b>Controlador lógico programável</b>	<b>1</b>	<b>R\$ 7.248,47</b>	<b>R\$ 7.000,74</b>	<b>R\$ 9.842,47</b>

Fonte: Própria (2019)

### **3.3.6 Mão de obra de instalação**

Para que todo projeto seja instalado, os testes preliminares e validação sejam realizados foi definido um prazo de sete dias úteis. A adequação elétrica de cabeamento, energização e instalação dos equipamentos será feita pelo eletricista da empresa, assim como a equipe de TI, composta por dois colaboradores. O preço médio da hora dos colaboradores envolvidos na instalação é de R\$ 19,44, serão utilizadas aproximadamente 53,6 horas de mão de obra com um custo final de R\$ 3.125,92.

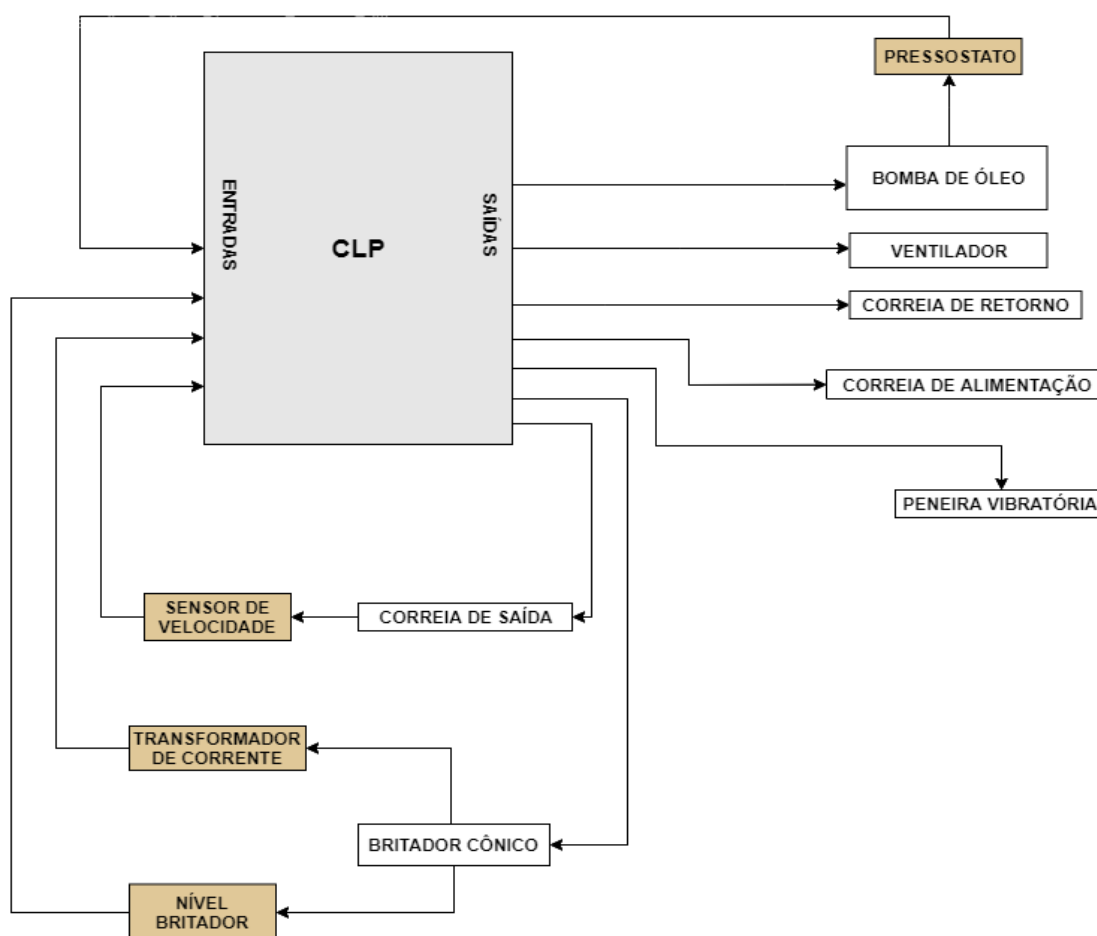
## **4. SOLUÇÃO 2: PROJETO, BENEFÍCIOS E INSTRUMENTAÇÃO**

A segunda solução consiste no desenvolvimento de um sistema de segurança automático para o setor mais crítico da planta de britagem quaternária. O sistema deve ser capaz de monitorar o nível de material no britador quaternário, a correia transportadora de saída do britador quaternário e a corrente elétrica do motor que traciona o britador. Sendo capaz de atuar gerando alertas e, se necessário, desligando a planta caso algum problema de alimentação ou correia transportadora seja detectado. Não é utilizado sistema supervisório para essa solução.

### **4.1 O Projeto**

Assim como a primeira solução, a nova alternativa deve levar em consideração o processo descrito na Figura 22, com a diferença do número de ativos em seu escopo. A Figura 25 ilustra, em diagrama de blocos, a disposição dos equipamentos cotados para a segunda solução.

Figura 26 – Diagrama de blocos em alto nível do projeto de automação para a segunda solução.



Fonte: Própria (2020).

A segunda solução, diferente da primeira, tem implementado o controle em malha fechada apenas para alguns ativos, sendo eles o britador cônico, correia transportadora de saída e bomba de óleo, reduzindo-se o número de sensores e, conseqüentemente, o custo da solução (Figura 27).

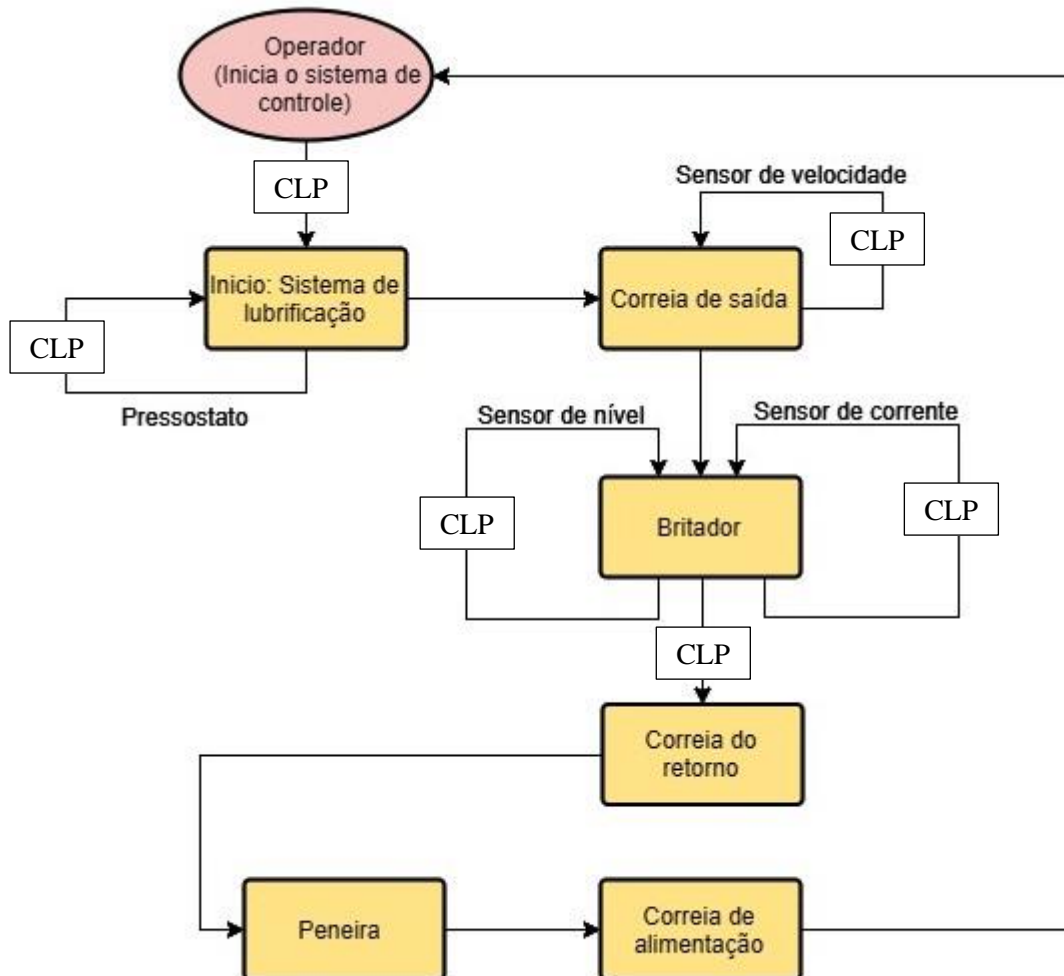
A correia de saída do britador deve ser monitorada durante todo tempo de produção, visto que seu travamento provocaria o acúmulo de material dentro do britador e danos em seus componentes. Sendo assim, qualquer problema detectado pelo sensor de velocidade acoplado à correia deve ser tratado pelo controlador como um sinal de emergência, a planta deve ser desligada e a manutenção acionada.

Com relação ao britador, as variáveis monitoradas são as mesmas da primeira solução. O nível de material na câmara de britagem e a corrente do motor do britador fornecem informações valiosas a respeito do processo. Dessa forma, o sistema automático de segurança deve realizar a tomada de decisão baseado nessas duas variáveis.

Caso algum sinal de emergência seja gerado por algum sensor, seja o de nível ou de corrente, essa informação deve ser filtrada pelo controlador. A primeira ação a ser executada é o desligamento da correia de alimentação da planta. Se, mesmo cortando a alimentação, os níveis de corrente e nível estiverem elevados, também serão desativados a peneira vibratória, correia de retorno e por fim o britador cônico. Um alerta também deve ser gerado para que a equipe de manutenção possa realizar os procedimentos necessários para que a planta esteja disponível para operar novamente.

O controle proposto para a solução é o *ON/OFF* (LIGA/DESLIGA), levando em conta que a segunda solução é um sistema de segurança automático. A Figura 27 a seguir ilustra o fluxograma da malha de controle.

Figura 27 – Fluxograma da primeira solução.



Fonte: Própria (2020).

## 4.2 Benefícios monetizáveis

A segunda solução, em vista da primeira, é mais simples pelo fato de ser apenas um sistema de proteção automático para o equipamento mais crítico da planta, o britador cônico. Apesar disso, os benefícios econômicos promovidos pelo sistema são consideráveis.

Como já foi citado na Seção 1.2, problemas na correia transportadora de saída do britador podem ocasionar altos custos. O sistema de proteção implementado na solução 2, é responsável por detectar essas possíveis falhas e tomar a decisão de desarmar, ou não, o britador cônico do setor quaternário e sua correia transportadora de alimentação.

Sendo assim, a exemplo da primeira solução, a segunda solução também tem grande impacto positivo no custo de manutenção. Porém, essa solução possui um escopo menor de ativos a serem beneficiados. Uma análise comparativa entre as duas soluções será apresentada no Capítulo 5.

## 4.3 Cotação

### 4.3.1 Sensor de nível

O sensor de nível, assim como na primeira solução e na Seção 2.2.2, tem a função de monitorar o nível de material no interior do britador. O objetivo desse monitoramento é evitar que acumule material na câmara de britagem, podendo ocasionar o travamento, queima das correias de tração e “afogamento” do britador. Dessa forma, na segunda solução é necessário apenas um sensor. A Tabela 6 mostra a cotação do transformador com os fornecedores que comercializam o produto.

Tabela 6 – Cotação do sensor de nível.

Equipamento	Qtd.	VEGA	BINDICATOR	ENDRESS + HAUSER
Sensor de nível	1	R\$ 9.521,23	R\$ 17.148,79	R\$ 21.884,49

Fonte: Própria (2019)

### 4.3.2 Chave detectora de velocidade

A chave detectora de velocidade, assim como na primeira solução, também possui o objetivo de detectar qualquer problema na correia transportadora, seja por ruptura, deslizamento ou sobrecarga. O monitoramento é feito apenas na correia de saída do britador quaternário, visto que, seu travamento causará maior impacto na operação. A Tabela 7 mostra a cotação do transformador com os fornecedores que comercializam o produto.

Tabela 7 – Cotação da chave detectora de velocidade.

<b>Equipamento</b>	<b>Qtd.</b>	<b>BRX</b>	<b>ELMEC</b>
<b>Chave detectora de velocidade</b>	<b>1</b>	<b>R\$ 3.593,70</b>	<b>R\$ 1.950,00</b>

Fonte: Própria (2019)

#### 4.3.3 Transformador de corrente

O transformador de corrente, para a segunda solução, mantém exatamente a mesma configuração da solução 1 (Seção 3.3.4), porém será aplicado apenas no motor do britador cônico. Sua cotação é observada na Tabela 8.

Tabela 8 – Cotação do transformador de corrente.

<b>Equipamento</b>	<b>Qtd.</b>	<b>ALMAX ENERGIA</b>	<b>AMERICANAS</b>	<b>SUBMARINO</b>
<b>Transformador de corrente (250CV)</b>	<b>1</b>	<b>R\$ 667,19</b>	<b>R\$ 707,22</b>	<b>R\$ 702,22</b>

Fonte: Própria (2019)

#### 4.3.4 Controlador lógico programável

O controlador lógico programável, para a segunda solução, mantém exatamente a mesma configuração da solução 1 (Seção 3.3.5). Sua cotação é observada na Tabela 9.

Tabela 9 – Cotação do controlador lógico programável.

<b>Equipamento</b>	<b>Qtd.</b>	<b>SMARTEC</b>	<b>DAKOL</b>	<b>SUPERCONTROL</b>
<b>Controlador lógico programável</b>	<b>1</b>	<b>R\$ 7.248,47</b>	<b>R\$ 7.000,74</b>	<b>R\$ 9.842,47</b>

Fonte: Própria (2019)

#### **4.3.5 Mão de obra de instalação**

Para que todo projeto seja instalado, os testes preliminares e validação sejam realizados foi definido um prazo de cinco dias úteis. A adequação elétrica de cabeamento, energização e instalação dos equipamentos será feita pelo eletricitista da empresa, assim como a equipe de TI, composta por dois colaboradores. O preço médio da hora dos colaboradores envolvidos na instalação é de R\$ 19,44, serão utilizadas aproximadamente 38,3 horas de mão de obra com um custo final de R\$ 2.232,80.

## 5. ANÁLISE ECONÔMICA

A primeira solução, devido ao fato de possuir mais equipamentos e processos no seu escopo, tem o custo de instrumentação mais elevado. De acordo com a cotação realizada no capítulo anterior, o investimento a ser feito será de R\$ 59.348,54, levando em conta os menores valores encontrados.

Para a segunda solução, o custo dos equipamentos necessários para a implementação foi reduzido cerca de 67% em relação à primeira solução, o valor do investimento levantado foi de R\$ 19.139,36.

Para que tais investimentos sejam justificáveis (ou não), utilizou-se a ferramenta VPL (Valor Presente Líquido) e como auxílio calculou-se a TIR (Taxa Interna de Retorno).

### 5.1 Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR)

Para a indústria de cal em estudo, um investimento se torna atrativo quando seu retorno é igual ou superior a 10% ao ano, sendo assim a TMA (Taxa Mínima de Atratividade) é de 10%. Para que a ferramenta seja o mais próximo da realidade, é necessário estabelecer um valor plausível de retorno do investimento e adicioná-lo ao fluxo de caixa. A seguir, estão listados os principais benefícios monetizáveis da primeira solução:

- Economia com mão de obra da operação: R\$ 1.300,00 / mês.
- Economia no custo de manutenção corretiva (média): R\$ 1800,00 / mês.
- Economia com mão de obra da manutenção (6h): R\$ 1060,00 / mês.
- Total: R\$ 4.160,00 / mês.

Os valores levantados anteriormente não estão levando em consideração falhas gravíssimas que, mesmo improváveis, podem vir a acontecer e nem lucro cessante. Sendo assim, o sistema de controle tem a capacidade de evitar prejuízos maiores, na casa dos R\$ 52.000,00.

O mesmo estudo foi realizado para a segunda solução. A seguir, estão listados os principais benefícios monetizáveis da segunda solução:

- Economia no custo de manutenção corretiva (média): R\$ 684,00 / mês.
- Economia com mão de obra da manutenção (6h): R\$ 402,80 / mês.
- Total: R\$ 1.086,80 / mês.

O custo de manutenção corretiva foi calculado por meio da média do custo de manutenção de equipamentos industriais do setor quaternário do período de setembro de 2019



a janeiro de 2020, levando em consideração o indicador de 30% de manutenção corretiva. O custo de mão de obra da manutenção foi calculado levando em conta o mesmo período e indicador. Para a segunda solução, os custos foram levantados da mesma forma, levando em consideração o mesmo período e indicador de 30% de manutenção corretiva. Porém, como apenas 38% dos ativos estão no escopo da segunda solução em termos de controle em malha fechada, esse valor foi descontado.

Tendo levantado os benefícios monetizáveis e a taxa de atratividade da empresa obteve-se o VPL e como auxílio calculou-se a TIR. Foi considerada uma taxa de 20% de depreciação anual e um custo fixo mensal de manutenção de R\$ 200,00. Além disso, também foi considerado um custo de mão de obra de instalação mencionado nas Seções 3.3 e 4.3. A Tabela 10 e 11 mostram em detalhe o fluxo de caixa e os valores do VPL e TIR do investimento no intervalo de um a dois anos.

Tabela 10 – Fluxo de caixa da solução 1.

<b>SOLUÇÃO 1</b>	<b>Investimento</b>	<b>Retorno</b>	<b>Custo</b>	<b>Residual</b>	<b>Total</b>
<b>Investimento</b>	<b>-R\$ 59.348,54</b>	<b>-</b>	<b>-R\$ 3.125,92</b>	<b>-</b>	<b>- R\$ 62.474,46</b>
<b>Ano 1</b>	<b>-</b>	<b>R\$ 49.920,00</b>	<b>-R\$ 14.269,80</b>	<b>R\$ 47.478,84</b>	<b>R\$ 83.129,04</b>
<b>VPL</b>	<b>R\$ 13.097,39</b>				
<b>TIR</b>	<b>33,06%</b>				

Fonte: Própria (2020)

Tabela 11 – Fluxo de caixa da solução 2.

<b>SOLUÇÃO 2</b>	<b>Investimento</b>	<b>Retorno</b>	<b>Custo</b>	<b>Residual</b>	<b>Total</b>
<b>Investimento</b>	<b>-R\$ 19.139,36</b>	<b>-</b>	<b>-R\$ 2.232,80</b>	<b>-</b>	<b>- R\$ 21.372,16</b>
<b>Ano 1</b>	<b>-</b>	<b>R\$ 13.041,60</b>	<b>-R\$ 6.227,76</b>	<b>-</b>	<b>R\$ 6.813,84</b>
<b>Ano 2</b>	<b>-</b>	<b>R\$ 13.041,60</b>	<b>-R\$ 6.227,76</b>	<b>R\$ 11.483,62</b>	<b>R\$ 18.297,46</b>
<b>VPL</b>	<b>- R\$ 55,07</b>				
<b>TIR</b>	<b>9,84%</b>				

Fonte: Própria (2020)

Considerando o fluxo de caixa evidenciado nas tabelas e levando em consideração a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 10% a.a. a solução 1 possui um *Payback* simples de aproximadamente 9 meses. Com relação à solução 2, o *Payback* simples foi de aproximadamente 18 meses. Sendo assim, a primeira solução desenvolvida se paga com praticamente a metade do tempo da segunda.

Outro ponto importante descrito nas tabelas são os valores do VPL e TIR. Ao se comparar as duas soluções em um intervalo de tempo de um ano percebe-se que o retorno financeiro líquido para a primeira solução é maior que o da segunda solução, mesmo a segunda solução demandando um investimento inicial inferior. O VPL da segunda solução é zero, ou seja, está em equilíbrio com a TMA após aproximadamente dois anos. Em contrapartida, a primeira solução supera a TMA já no primeiro ano. Sendo assim, considerando as ferramentas utilizadas no estudo, a primeira solução se mostra mais viável financeiramente.

## 6. CONCLUSÃO

O desenvolvimento de novas alternativas para evitar os principais gargalos do ponto de vista de manutenção/produção é de extrema importância para as indústrias atuais. Na indústria de cal do presente estudo levantaram-se os principais pontos de atenção em termos de britagem e propôs-se duas soluções para os eventuais problemas do setor. Além disso, também levantou-se o custo dos equipamentos necessários para a implementação das soluções e ferramentas financeiras foram aplicadas para auxiliar na escolha da melhor entre as duas soluções.

O monitoramento em tempo real das correias transportadoras é realizado por um detector de subvelocidades, evitando-se travamentos e rupturas dos tapetes da correia transportadoras e também eventuais problemas no conjunto de tração. Sensores de nível em conjunto com o inversor de frequência controlam a alimentação do britador, dessa forma evita-se a sobrealimentação e o “afogamento” do britador. O monitoramento da altura das pilhas de materiais também é feito pelos sensores de nível, sendo possível determinar a quantidade em estoque de cada produto.

Com o estudo das soluções, possibilitou-se não somente o desenvolvimento de alternativas para os objetivos individuais definidos para o trabalho, mas também alternativas para problemas pontuais que são recorrentes em plantas de britagem. Um exemplo de problema pontual que se pode evitar é o travamento de roletes das correias transportadoras, visto que foi desenvolvido um subsistema, proveniente das soluções, capaz de monitorar as correias transportadoras e desvios de velocidade. O mesmo pode ser aplicado ao nível das pilhas dos materiais e da câmara de britagem dos britadores. Em suma, é possível desenvolver diversas soluções a partir das duas soluções estudadas.

Ao analisar do ponto de vista da automação, a primeira solução se mostra mais robusta e completa. Trata-se de um sistema que monitora todos os equipamentos críticos do setor quaternário de britagem, além de controlar todo o sistema e otimizá-lo. A segunda solução, apesar de mais simples que a primeira e contar com menos equipamentos no seu escopo, consegue ser eficaz na proteção do principal ativo (o britador) do setor quaternário de britagem e sua periferia.

Em termos de investimento, a primeira solução exige um valor inicial maior em relação à segunda solução. Porém, se analisar os benefícios monetizáveis e o retorno financeiro, fica claro que o potencial da primeira solução é maior. Conforme evidenciado no Capítulo 5, a principal diferença entre as duas soluções é a quantidade de equipamentos que

fazem parte do seu escopo. A primeira solução, por contemplar todos os equipamentos críticos do setor quaternário, reduz significativamente o custo de pessoal, o que promove um grande impacto em termos financeiros. Nesse sentido, levando em conta os benefícios e as ferramentas financeiras aplicadas, pode-se recomendar como investimento para a indústria de cal a primeira solução.

Futuramente, o mesmo trabalho poderá ser desenvolvido para o setor secundário de britagem, que é o setor principal da empresa. Nesse setor, o estudo deverá ser mais elaborado, visto que possui um número maior de ativos e variáveis a serem controlados. Os próximos passos do trabalho, em caso de aprovação da diretoria, é a compra dos equipamentos cotados e a preparação para a execução do projeto de automação.

## REFERÊNCIAS

- FONSECA, E. Seminário discute pesquisa, política e economia mineral. In: SEMINÁRIO NOVOS DESAFIOS DA PESQUISA, POLÍTICA E ECONOMIA MINERAL: TENDÊNCIAS GLOBAIS E NO BRASIL, 2018, Campinas. **Anais...** Campinas: UNICAMP, 2018.
- SANTANA, D. Introdução à cominuição. In: \_\_\_\_\_, **Tratamento de minérios II Parte I – Britagem**. Goiânia: Ed. IFG, 2009. cap. 1.
- DUTRA, J. T. **Planejamento e controle de manutenção**. Brasília: Ed. ENGETELES, 2019.
- FERREIRA, L. A. **Escavação e exploração de minas a céu aberto**. Juiz de fora: UFJF, 2013.
- GERALDI, J. L. P. **O ABC das Escavações de Rocha**. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.
- CORSINI, R. **Matacões**. São Paulo: Ed. PINI Ltda., 2011.
- VOTORANTIM. **Tipos de brita: conheça as diferenças**. Disponível em: <<https://www.mapadaobra.com.br/capacidade/conheca-os-tipos-de-brita/>>. Acesso em: 24/04/2019.
- TRANSFORMAÇÃO DIGITAL. **O crescimento da automação industrial no Brasil**. Disponível em: < <https://transformacaodigital.com/o-crescimento-da-automacao-industrial-no-brasil/>> Acesso em: 02/05/2019.
- AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL. **A pirâmide da automação industrial**. Disponível em: <<https://www.automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacao-industrial/>>. Acesso em: 06/05/2019.
- TÉCNICO EM MINERAÇÃO. **Etapas de cominuição de minérios: Britagem e moagem**. Disponível em: <<https://tecnicoemineracao.com.br/etapas-da-cominuicao-de-minerios-britagem-e-moagem/>>. Acesso em: 08/05/2019.
- BRASIL. Ministério do trabalho e emprego. **NR 22: Segurança e saúde ocupacional na mineração**. Brasília, DF, 2019.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Beneficiamento de minérios**. Disponível em < <http://www.mme.gov.br/documents/10584/177708/Beneficiamento+de+Min%C3%A9rios/0b762ba9-35a6-4e73-9e7b-6d1e957e5d8f?version=1.0> >. Acesso em: 20/06/2019.
- LIMA, D. Guia de operação HP. In: TREINAMENTO EM TECNOLOGIAS METSO, 2019, Sorocaba. **Anais...** Sorocaba: METSO, 2019.
- LIMA, D. Britadores de Mandíbula. In: TREINAMENTO EM TECNOLOGIAS METSO, 2019, Sorocaba. **Anais...** Sorocaba: METSO, 2019.
- PEREIRA, F. **POP.BRI.03 – Produção britagens primária e secundária (Rev. 03)**. Lavras, 2019.

PORTILHO, S. Equipamentos vibratórios. In: TREINAMENTO EM TECNOLOGIAS METSO, 2019, Sorocaba. **Anais...** Sorocaba: METSO, 2019.

ROSA, A. Telas. In: TREINAMENTO EM TECNOLOGIAS METSO, 2019, Sorocaba. **Anais...** Sorocaba: METSO, 2019.

PINTO, L. Transportadores. In: TREINAMENTO EM TECNOLOGIAS METSO, 2019, Sorocaba. **Anais...** Sorocaba: METSO, 2019.

REGGIO, A. Checkup instalação de britagem. In: TREINAMENTO EM TECNOLOGIAS METSO, 2019, Sorocaba. **Anais...** Sorocaba: METSO, 2019.

BICALHO, F. Automação. In: TREINAMENTO EM TECNOLOGIAS METSO, 2019, Sorocaba. **Anais...** Sorocaba: METSO, 2019.

MUNDO DA ELÉTRICA. **Como funciona o inversor de frequência.** Disponível em: <<https://www.mundodaeletrica.com.br/como-funciona-o-inversor-de-frequencia/>>. Acesso em: 16/10/2019.

MUNDO DA ELÉTRICA. **Transformador de Corrente (TC).** Disponível em: <<https://www.mundodaeletrica.com.br/transformador-de-corrente-tc/>>. Acesso em: 16/10/2019.

NOGUEIRA, F. **Apresentação Radar para Sólidos** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <igor.santos@gruposn.com.br > em 31 jul. 2019.

MUNDO DA ELÉTRICA. **Controlador lógico programável CLP.** Disponível em: <<https://www.mundodaeletrica.com.br/controlador-logico-programavel-clp/>>. Acesso em: 21/10/2019.

BINDICATOR. **Sensor de Nível por Radar de Onda Livre.** Disponível em: <<https://www.bindicator.com.br/serie-f78mp-radar-onda-livre.html> >. Acesso em: 26/11/2019.

ENDRESS+HAUSER. **Medição de nível com radar de onda guiada.** Disponível em: <<https://www.br.endress.com/pt/produtos/n%C3%ADvel/n%C3%ADvel-radar-onda-guiada> >. Acesso em: 26/11/2019.

CIRUS. **Sensor de velocidade para correias transportadoras.** Disponível em: <[https://gelukkigstewijk.nl/6372\\_sensor-velocidade-para-correias-transportadoras.html](https://gelukkigstewijk.nl/6372_sensor-velocidade-para-correias-transportadoras.html) >. Acesso em: 26/11/2019.

BRX. **Sensor de Velocidade - SVC / SVTB.** Disponível em: <<http://www.brxsistemas.com.br/produtos.php?id=30> >. Acesso em: 26/11/2019.

VIEWTECH. **Inversor de frequência CFW700.** Disponível em <<https://www.viewtech.ind.br/Inversor-de-Frequencia-Weg-CFW700-Tri-15cv-24A-380V-ou-440V> >. Acesso em: 21/01/2020.

AMERICANAS. **Inversor de frequência CFW 500.** Disponível em: <<https://www.americanas.com.br/produto/32180527/inversor-de-frequencia-cfw500-15cv->

380v-440v-24a-tri-weg?pfm\_carac=INVERSOR%20DE%20FREQU%C3%8ANCIA%20WEG%20CFW700%20TRI%2015CV%2024A%20380V%20OU%20440V&pfm\_page=search&pfm\_pos=grid&pfm\_type=search\_page >. Acesso em: 21/01/2020.

SHOPTIME. **Inversor de frequência CFW 500.** Disponível em: <  
[https://www.shoptime.com.br/produto/32180527/inversor-de-frequencia-cfw500-15cv-380v-440v-24a-tri-weg?pfm\\_carac=INVERSOR%20DE%20FREQU%C3%8ANCIA%20WEG%20CFW700%20TRI%2015CV%2024A%20380V%20OU%20440V&pfm\\_index=0&pfm\\_page=search&pfm\\_pos=grid&pfm\\_type=search\\_page](https://www.shoptime.com.br/produto/32180527/inversor-de-frequencia-cfw500-15cv-380v-440v-24a-tri-weg?pfm_carac=INVERSOR%20DE%20FREQU%C3%8ANCIA%20WEG%20CFW700%20TRI%2015CV%2024A%20380V%20OU%20440V&pfm_index=0&pfm_page=search&pfm_pos=grid&pfm_type=search_page) >. Acesso em: 21/01/2020.

AMERICANAS. **Transformador de corrente 400A.** Disponível em: <  
[https://www.amERICANAS.com.br/produto/31144065/transformador-de-corrente-400a?pfm\\_carac=transformador%20de%20corrente&pfm\\_index=4&pfm\\_page=search&pfm\\_pos=grid&pfm\\_type=search\\_page](https://www.amERICANAS.com.br/produto/31144065/transformador-de-corrente-400a?pfm_carac=transformador%20de%20corrente&pfm_index=4&pfm_page=search&pfm_pos=grid&pfm_type=search_page) >. Acesso em: 21/01/2020.

AMERICANAS. **Transformador de corrente 100A.** Disponível em: <  
[https://www.amERICANAS.com.br/produto/1197881058/transformador-de-corrente-retratil-sct-013-000-yhdc-100a-sct013000?pfm\\_carac=transformador%20de%20corrente%2050a&pfm\\_index=9&pfm\\_page=search&pfm\\_pos=grid&pfm\\_type=search\\_page](https://www.amERICANAS.com.br/produto/1197881058/transformador-de-corrente-retratil-sct-013-000-yhdc-100a-sct013000?pfm_carac=transformador%20de%20corrente%2050a&pfm_index=9&pfm_page=search&pfm_pos=grid&pfm_type=search_page) >. Acesso em: 21/01/2020.

ALMAX ENERGIA. **Transformador de corrente 400A.** Disponível em: <  
<https://loja.almaxenergia.com.br/transformadores-de-corrente/transformador-de-corrente-400a> >. Acesso em: 21/01/2020.

ALMAX ENERGIA. **Transformador de corrente 50A.** Disponível em: <  
<https://loja.almaxenergia.com.br/transformadores-de-corrente/transformador-de-corrente-50a> >. Acesso em: 21/01/2020.

SUBMARINO. **Transformador de corrente 400A.** Disponível em: <  
[https://www.submarino.com.br/produto/31144065/transformador-de-corrente-400a?pfm\\_carac=transformador%20de%20corrente%20400%20a&pfm\\_page=search&pfm\\_pos=grid&pfm\\_type=search\\_page](https://www.submarino.com.br/produto/31144065/transformador-de-corrente-400a?pfm_carac=transformador%20de%20corrente%20400%20a&pfm_page=search&pfm_pos=grid&pfm_type=search_page) >. Acesso em: 21/01/2020.

SUBMARINO. **Transformador de corrente 100A.** Disponível em: <  
[https://www.submarino.com.br/produto/98852084/transformador-de-corrente-100-5-va5-msq-30?pfm\\_carac=transformador%20de%20corrente%2050a&pfm\\_index=4&pfm\\_page=search&pfm\\_pos=grid&pfm\\_type=search\\_page](https://www.submarino.com.br/produto/98852084/transformador-de-corrente-100-5-va5-msq-30?pfm_carac=transformador%20de%20corrente%2050a&pfm_index=4&pfm_page=search&pfm_pos=grid&pfm_type=search_page) >. Acesso em: 21/01/2020.

METAMEC. **Reforma de equipamentos.** Disponível em: <  
<http://metamec.com.br/site/produtos/equipamentos-para-mineracao/reforma-de-equipamentos/> >. Acesso em: 01/04/2020.

METSO. **Manual de instruções britador HP.** Sorocaba, SP, [2014?].

HAYER & BOECKER. **Peneiras de alta capacidade.** Monte Mor, SP, [2013?].

TEGAPE. **Tela para peneira e classificação – Aço carbono.** Disponível em: <  
<https://www.tegape.com.br/produto/tela-para-peneiracao-e-classificacao-aco-carbono/>  
> . Acesso em: 01/04/2020.

OTIMIZA. **Migração de Telas de Aço para Telas de Borracha, Telas de Poliuretano ou Telas Mistas no Sistema Modular para Peneira Vibratória.** Disponível em: <  
<https://otimizapeças.com.br/servicos/migracao-telas-de-aco-para-telas-modulares-da-peneira-vibratoria/>>. Acesso em: 01/04/2020.

SIMPLEX. **Correias Transportadoras.** Disponível em: <  
<http://www.simplex.ind.br/correias-transportadoras/>>. Acesso em: 01/04/2020.

OHASHI, T. **Automação em instalações de britagem para produção de agregados.** São Paulo: Revista Areia e Brita, 2017.

ELMEC. **FL – 870 Chave detectora de subvelocidade.** Disponível em: <  
<http://elmec.com.br/site/index.php?path=produtos/&pag=unidadeseletronicas/subvelocidade/fl870/fl870.php>>. Acesso em 16/07/2020.