



REVISTA CIENTÍFICA DA UMC

**TRANSFORMAÇÃO DIGITAL NA INDÚSTRIA DE MINERAÇÃO: CONTRIBUIÇÃO COM ACOMPANHAMENTO EM TEMPO REAL PARA BRITADORES DE MINERAÇÃO****DIGITAL TRANSFORMATION IN THE MINING IDUSTRY: CONTRIBUTION WITH REAL TIME MONITORING FOR MINING CRUSHERS**

Marcelo Teixeira de Azevedo, Thiago Ferrete, Sidney Longo, Adriano Santos, Carlos Lima

Resumo:

Esta pesquisa apresenta a resolução do problema relacionado a aquisição de dados de britadores. Ao analisar as dificuldades enfrentadas pelos fabricantes, verificou-se a necessidade da construção de um protótipo para oferecer uma solução para a falta de dados sobre as condições de trabalho de tais máquinas, que causam dificuldades para a programação de manutenções preventivas e para identificar garantias ou mau uso do cliente. Buscando criar uma tecnologia relacionada a Internet das coisas e consequentemente uma contribuição para a transformação digital, foi proposto o desenvolvimento de um aplicativo para dispositivos Android e uma placa de processamento para receber e enviar os dados dos britadores.

Palavras-chave: Aquisição de dados; Bluetooth; Internet das Coisas; Britadores.

Abstract:

This article presents a concept for mobile data acquisition of crushers machines. Analyzed the difficulties faced by the manufacturers, it was verified the necessity of the construction of a prototype to propose a solution for the lack of data on the working conditions of the machines that cause difficulty in the programming of preventive maintenance and to identify guarantees or bad use of the client. Seeking to create a technology related to the concept of Internet of things and consequently a contribution to the digital transformation, it was proposed developing an application for Android devices and a processing board to receive and send data of the crusher's machines.

Keywords: Data acquisition; Bluetooth; Internet of Things; Crushes.

Introdução

O Brasil é um país com muita disponibilidade de recursos minerais, sua grande extensão, localização geográfica e formação geológica contribuem para que o país apresente grande oferta de diversos tipos de minérios e minerais (RIBEIRO, 2003). A indústria da mineração no Brasil é foco de grandes investidores e nossa indústria é

responsável por extração de aproximadamente 70 minerais, sendo 21 tipos de metais, 4 tipos de combustíveis e 45 tipos de minerais industriais. A mineração foi responsável por aproximadamente 8% do **Produto Interno Bruto** (PIB, o conjunto da produção de bens e serviços no estado) no ano de 2016 (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2017).

O mercado de Brita no Brasil possui aproximadamente 600 empresas, no qual, geram cerca de 20 mil empregos diretos e mais de 100 mil indiretos (QUARESMA, 2009). A produção das britas tem início com a detonação da rocha bruta, processo no qual é realizado através de explosivos, depois de detonada a rocha fragmentada é transportada para a central de britagem que é composta por uma calha vibradora e um britador (BRITASUL, 2011). O britador é um equipamento utilizado para a redução grosseira de sólidos como materiais rochosos, carvão e vidro. Os tipos de britadores são os do tipo rolo, do tipo mandíbulas, do tipo giratório, do tipo impacto, do tipo cônico e do tipo martelo (METALICA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2010).

Através de pesquisa de campo verificou-se a necessidade em coletar os dados dos britadores em seu local de trabalho, acarretando dificuldades em realizar manutenções preventivas e ocasionando altos índices de perda de garantia. Um dos maiores problemas é ser imprescindível o britador trabalhar com carga, ausência de minério no equipamento causa danos no mesmo e na maioria das vezes são irreversíveis, não é possível ter um diagnóstico eficaz para acusar a errada aplicação do equipamento e na maioria das vezes é dada a garantia ao mesmo.

Analisando as informações colhidas e partindo do princípio que Azevedo (2017) informa que a transformação digital é parte de uma grade processo estando ligado à aplicação da tecnologia digital em todos os aspectos sociais, foi proposto o conceito de um Relatório de Máquina *Mobile* para contribuir com esta transformação digital, consistindo de um *hardware* instalado no Britador e um aplicativo para dispositivos *Android*. Esse conceito possibilita a requisição dos dados do equipamento por meio de um chip M2M (*Machine to Machine*) e comunicação *Bluetooth*, esses dados são tratados e mostrados no aplicativo, que poderão ser usados em *business intelligence* para criação de gráficos de funcionamento do Britador, quantificação de horas trabalhadas entre outras funcionalidades. Não foi definido se o conceito será utilizado por fabricantes ou proprietários, apenas estamos analisando uma proposta de solução para um determinado problema.

A problemática deste estudo está na dificuldade que os fabricantes de britadeiras encontram para solucionar a falta de dados sobre os equipamentos britadores em suas condições normais de trabalho, pois geralmente os clientes utilizam a máquina de maneira errada, gerando desgaste dos componentes prematuramente, acarretando assim, a perda de eficiência da máquina ou mesmo a quebra do equipamento.

A ausência desses dados faz com que o planejamento da manutenção preventiva seja prejudicado e, principalmente, a validação da garantia, pois ao não saber identificar a causa do problema, e se foi gerado por mau uso do cliente ou não, o fabricante se vê na condição de assumir os custos com a troca dos componentes danificados.

Tendo em vista que o Brasil é um país com muita disponibilidade de recursos minerais e que a mineração é um dos fortes pilares da nossa economia, como fonte geradora de emprego e renda, é imprescindível desenvolver tecnologias para otimizar o processo de utilização e manutenção das máquinas britadeiras, como a criação do supervisor *Mobile*, proposto neste estudo. A justificativa para o desenvolvimento desse supervisor está no fato de que o maquinário do setor de britas não dispõem de informações suficientes acerca do estado real de funcionamento do equipamento. Por isso, a importância em se desenvolver a tecnologia, está na facilidade em permitir que fabricante e cliente tenham, em tempo real, o relatório das condições de operação do equipamento, algo que ainda não está disponível para esse tipo de máquina e que representaria grandes avanços para o segmento.

Métodos

O conceito de funcionamento do Relatório de Máquina *Mobile* para Britadores consiste em uma placa de processamento de dados que é instalada no Britador. Na placa é conectado os sensores responsáveis por medir os parâmetros desejados e enviando os dados coletados para um dispositivo *Android* através de um chip SIM (*Subscriber Identify Module*) de telefonia M2M (*Machine to Machine*) ou por comunicação *Bluetooth*, que utiliza a interface de um aplicativo para exibir os dados coletados na tela do aparelho. Os dados serão armazenados na memória do dispositivo e é possível gerar um relatório na extensão CSV (*Comma-separated*

values), sendo assim, poderá ser aberto em programas de análise de dados, e opcionalmente gerar gráficos de funcionamento da máquina através de funções pré-definidas. Na Figura 1 é possível visualizar a tela do aplicativo informando os parâmetros monitorados. Primeiramente para utilizar o aplicativo é necessário definir qual o tipo de comunicação a ser utilizado, o aplicativo inicialmente está definido para utilizar a comunicação via *chip*, mas se desejado utilizar a comunicação *Bluetooth*, basta clicar no botão "*Bluetooth On*". Após definir a forma de comunicação clicar no botão "ATUALIZAR", se o equipamento estiver conectado via *Bluetooth* o aplicativo receberá todos os parâmetros medidos instantaneamente, mas se não, uma mensagem será enviada para máquina, que retornará outra mensagem com todos os parâmetros medidos.

Se desejado gerar um relatório na extensão CSV, basta clicar no botão "GERAR RELATÓRIO", também é possível apagar todo conteúdo de dados armazenado clicando no botão "LIMPAR MEMÓRIA".

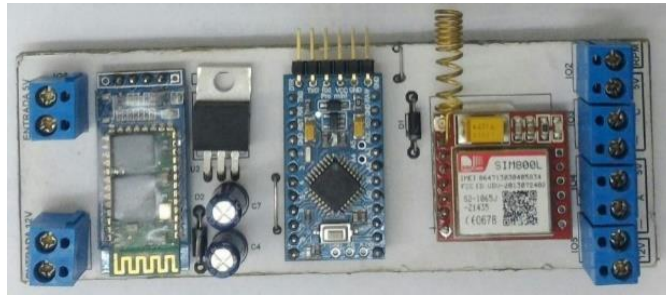
Figura 1: Tela do Aplicativo



Fonte: Próprio Autor, 2020.

A Placa de Circuito Impresso (PCI) de processamento de dados mostrado na Figura 2 é o inteligência de todo conceito, tal placa, faz a contagem de tempo de trabalho da máquina, convertem os valores de tensão digital recebidos pelo sensor de temperatura em valores reais de temperatura em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$), os valores de tensão analógica recebidos pelo sensor de corrente em valores reais de corrente em Ampères (A) e os pulsos recebidos do tacômetro em valores reais de Rotações por Minuto (RPM).

Figura 2: Protótipo de Processamento de Dados



Fonte: Próprio Autor, 2020.

O *Hardware* do protótipo foi desenvolvido no *Software Eagle*, a escolha do mesmo foi definida devido à quantidade de bibliotecas que tem na internet e por ter versão gratuita para download, duas etapas de desenvolvimento são necessárias para a criação do protótipo, o Esquemático (SCH) e a Placa de Circuito Impresso (PCI), descritos abaixo.

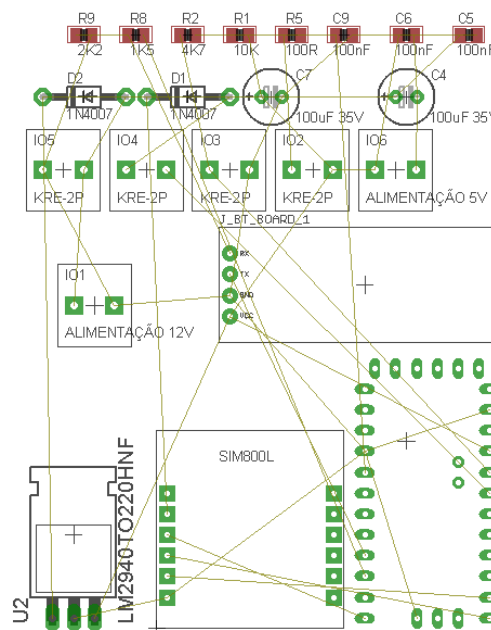
O esquema elétrico é a primeira etapa da construção do protótipo, nele é feito todas as conexões elétricas dos componentes, então é gerado um arquivo para construção física da PCI. No processo de desenvolvimento foram necessárias realizar três versões de circuito. Na primeira versão foi utilizado apenas o tipo de comunicação por *chip*, um processador ATMEGA328P, um cristal e dois capacitores para criar um oscilador externo para o microcontrolador, um regulador de tensão e capacitores para criar uma fonte estável de 5V e conectores duas vias.

Na segunda versão foi adicionado um módulo de comunicação *bluetooth* HC-06, de modo a poupar o cartão SIM quando estiver próximo da máquina.

A terceira versão trouxe maior mudança, o processador, os componentes que formam seu oscilador foram substituídos por um Arduino mini, a escolha foi feita por dois motivos: custo e facilidade de alteração do firmware. O custo apenas do microcontrolador ATMEGA328P é estimado em aproximadamente R\$10,00 e é possível comprar um Arduino mini pelo mesmo valor sendo que o mesmo possui todo circuito necessário para o seu funcionamento, com o Arduino mini soldado na placa protótipo é possível realizar a gravação do mesmo via USB através de um adaptador, já o processador depende de um gravador ou a plataforma do Arduino UNO e é necessário dessoldar o componente da placa protótipo gerando assim um grande transtorno para alterações no firmware.

Após definir todas as interligações dos componentes eletrônicos, inicia-se a construção do projeto físico da placa de circuito impresso. Inicialmente os componentes estão dispostos aleatoriamente como mostra à Figura 3, então, é necessário realizar a disposição dos componentes manualmente e a interligação (construção das trilhas) dos mesmos de forma manual ou automática.

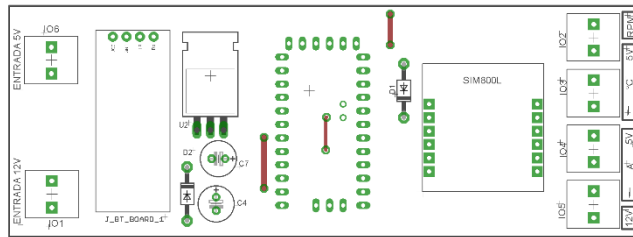
Figura 3: PCI Estágio Inicial



Fonte: Próprio Autor, 2020.

A placa de circuito impresso do protótipo foi desenvolvida em duas camadas, na primeira que é chamada de TOP LAYER estão dispostos o Arduino Mini, os conectores, o Módulo de Comunicação *Bluetooth* HC-06, o Módulo GPRS SIM800L, dois Diodos 1N4007, o regulador de tensão LM2940 5.0V e os capacitores eletrolíticos e três *jumperS* feitos com fio rígido, como mostra a Figura 4.

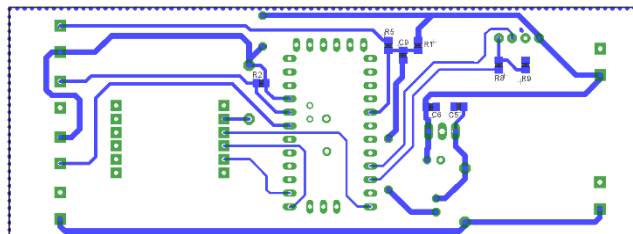
Figura 4: PCI TOP LAYER



Fonte: Próprio Autor, 2020.

Nessa camada não há trilhas de conexão de componentes e nem ilhas para soldagem dos mesmos, o que caracteriza uma placa de circuito impresso de construção camada simples. A segunda camada é chamada de *BOTTOM LAYER*, nela estão todas as interligações dos componentes e estas foram realizadas de forma manual. É composta por cinco resistores e três capacitores, todos são componentes do tipo dispositivos de montagem superficial ou do inglês SMDs (*surface-mount device*) no tamanho padrão 0805, conforme demonstra a Figura 5.

Figura 5: PCI *BOTTOM LAYER*



Fonte: Próprio Autor, 2020.

Resultados

Para auxiliar no desenvolvimento da placa protótipo, foram criados simuladores para gerar os dados de tacômetro do motor, corrente do motor e temperatura do ambiente, os mesmos também são utilizados para realizar a demonstração de funcionamento do protótipo. O simulador de tacômetro é formado por um Motor de corrente contínua de 12V, um circuito integrado com sensor *hall* ATS177, dois ímãs, suporte do motor, suporte dos ímãs e uma placa controladora de velocidade. Os suportes foram desenvolvidos e impressos em 3D. O motor, o sensor *hall* e os dois ímãs formam um conjunto que é responsável por gerar os pulsos de rotação do motor,

no qual, são enviados via cabo para a placa de processamento de dados, dessa forma, é possível calcular a RPM do motor. A Figura 6 mostra o conjunto de controle do motor.

Figura 6: Gerador de Pulsos de tacômetro

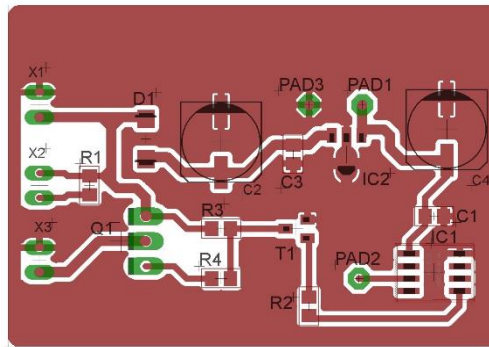


Fonte: Próprio Autor, 2020.

A fonte dos pulsos do tacômetro é o circuito integrado ATS177, que é um sensor feito *hall* para a comutação eletrônica. Na extremidade do suporte dos ímãs foi colado um ímã com o polo norte virado para o AST177 e outro ímã colado com o polo sul virado para o mesmo, dessa forma, quando o fluxo magnético do primeiro ímã passa na frente do sensor hall a saída do mesmo terá nível lógico 0 e apenas quando o segundo ímã passar na frente do sensor, o mesmo terá nível lógico 1, sendo assim, um trem de pulsos é gerado quando o motor estiver em funcionamento, dessa forma, é possível mensurar o valor de RPM do motor.

O controle de velocidade do motor é realizado através de uma placa controladora mostrada na Figura 7, que utiliza um microcontrolador PIC12F683 para processar os dados de controle de velocidade do motor, tal controle é realizado através de um potenciômetro que define o valor da Modulação por Largura de Pulso (PWM), técnica utilizada para obter resultados analógicos através de sinais digitais.

Figura 7: Placa Controladora

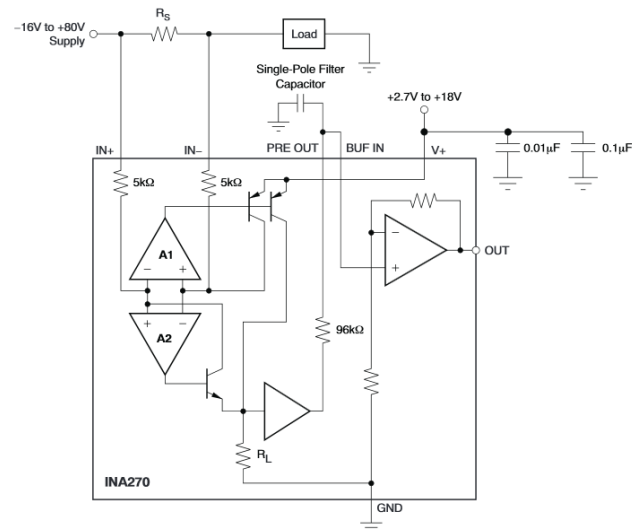


Fonte: Próprio Autor, 2020.

Para criar o PWM é utilizada uma saída digital do microcontrolador, que alternado o estado da mesma entre ligado (5V) e desligado (0V) de forma constante, um sinal de onda quadrada é gerado, para obter valores de tensão média analógica variada é necessário alterar a largura dos pulsos da onda, dessa forma, é possível controlar a tensão média do motor e conseqüentemente alterando sua velocidade. Ao girar o potenciômetro de controle de velocidade, o microcontrolador faz a leitura do valor analógico de tensão e então faz a configuração proporcional da largura dos pulsos do PWM. A corrente do motor é medida através do circuito integrado INA271, esse componente é fabricado especificamente para medição de corrente.

De acordo com o TEXAS INSTRUMENT (2017), para medir a corrente do motor é necessário utilizar um resistor de baixo valor ôhmico (Resistor Shunt) na Figura 8 é representado pela referência R_s , quando o motor é acionado e a corrente elétrica passa pelo resistor R_s , dessa forma, obtém-se uma diferença de potencial (d.d.p) na escala de mili Volts (mV) no mesmo, então o INA271 amplifica o valor de tensão por um ganho de 20 em sua saída, ou seja, se a d.d.p no resistor shunt for de 1mV o valor de tensão da saída do INA271 será de 2V. O valor da tensão de saída é limitado pela tensão de alimentação do circuito integrado que pode ser de +2.7V à +18V.

Figura 8: Diagrama do INA271



Fonte: Texas Instrument, 2017.

De acordo com o diagrama elétrico da Figura 8, foi montada uma placa de circuito impresso como mostra a Figura 9, os capacitores utilizados na entrada de alimentação +V seguem os mesmos valores do diagrama, no pino PRE OUT foi utilizado um capacitor cerâmico de 0,1µF e foi utilizado um valor de resistência de 0,1 Ω para o resistor R_s . A saída do INA271 é conectada na Placa Protótipo de Processamento de Dados e a mesma converterá o valor de tensão analógico em valor de corrente elétrica utilizando métodos matemáticos.

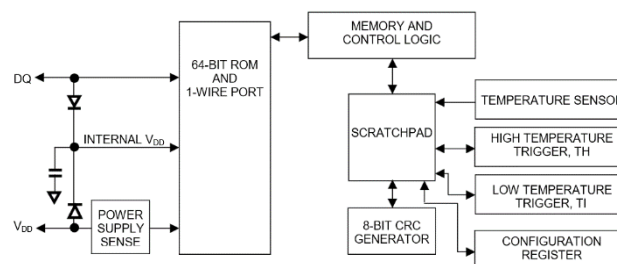
Figura 9: Circuito Sensor de Corrente



Fonte: Próprio Autor, 2020.

O termômetro digital DS18B20 é utilizado para medir a temperatura, este componente permite desenvolver aplicações com Arduino de maneira simplificada, isso porque um de seus fabricantes (DALLAS SEMICONDUCTOR) disponibiliza uma biblioteca para sua utilização. De acordo com DALLAS SEMICONDUCTOR “Data Sheet” (2015), o termômetro DS18D20 fornece sinais digital de leituras de temperatura de -55°C à $+125^{\circ}\text{C}$ com resolução de 9 a 12 bits e interface de comunicação “one wire”, ou seja, utiliza apenas um pino para alimentação e de transmissão de dados e um pino terra, como mostra a Figura 10.

Figura 10: Diagrama DS18B20



Fonte: Dallas Semiconductor, 2015.

Cada DS18D20 contém um número de série que é utilizado como um endereço de comunicação, dessa forma, diversos sensores podem ser interligados no mesmo pino de dados. O sensor de temperatura é conectado na placa protótipo de processamento de dados e a mesma converterá os dados digitais em valor de temperatura utilizando a biblioteca fornecida pelo fabricante. Na Figura 11 é possível visualizar o sensor de temperatura DS18D20.

Figura 11: Sensor de Temperatura DS18D20

Fonte: Próprio Autor, 2020.

Todos dados foram salvos na memória do aplicativo e dessa forma, foi possível gerar uma tabela que possibilita analisar o desempenho do equipamento medido, alguns desses dados colhidos estão na Tabela 1.

Tabela 1: Valores obtidos durante os testes

Data / Hora	Temperatura (C)	Rotação do Motor	Corrente do Motor
2/10/2017 19:55	23	6590	1,46
2/10/2017 19:56	23	7139	1,53
2/10/2017 19:56	23	7142	1,49
2/10/2017 19:56	23	6353	1,51
2/10/2017 19:56	23	530	1,46
2/10/2017 19:56	23	2624	1,54
2/10/2017 19:56	23	6726	1,40

2/10/2017 19:57	23	6382	1,41
2/10/2017 19:57	23	6880	1,39
2/10/2017 19:57	23	6805	1,43
2/10/2017 19:57	23	6072	1,40
2/10/2017 19:57	23	6045	1,58
2/10/2017 20:01	34	6547	1,09
2/10/2017 20:01	35	6602	1,08
2/10/2017 20:01	35	2993	1,18
2/10/2017 20:01	35	1892	1,07
2/10/2017 20:01	35	1761	1,18
2/10/2017 20:01	35	6934	1,30
2/10/2017 20:01	35	6944	1,30
2/10/2017 20:05	26	6524	1,09
2/10/2017 20:45	24	6833	1,07
2/10/2017 20:46	92	6912	0,90
2/10/2017 20:46	71	6912	0,99
2/10/2017 20:46	61	7009	0,92
2/10/2017 20:46	59	7045	0,91
2/10/2017 20:46	57	7038	0,90
2/10/2017 20:46	54	7062	0,90
2/10/2017 20:46	53	6989	0,91
2/10/2017 20:46	52	6938	0,95
2/10/2017 20:46	50	6778	1,04

2/10/2017 20:46	49	6711	1,08
2/10/2017 20:46	48	6307	0,94

Fonte: Próprio Autor, 2020.

O estudo do conceito RELATÓRIO MOBILE PARA BRITADOES DE MINERAÇÃO para o atual cenário brasileiro mostrou-se importante, o país necessita de mais ideias e criações para que possa se tornar cada vez mais capacitado, autossuficiente e competitivo no cenário econômico mundial. Esta pesquisa teve como objetivo criar um protótipo capaz de realizar a medição de grandezas do meio físico referentes à temperatura, rotação do motor e temperatura e transmiti-las para um dispositivo Android visando verificar a viabilidade de um sistema de relatório de operação de equipamentos de britagem, buscando solucionar o problema da falta de dados do funcionamento das máquinas de britagem em suas condições de trabalho. Há diversos sistemas supervisorio no mercado atualmente, mas a proposta foi realizar a criação de um sistema de baixo custo, com fácil utilização e que possa ser transportado no bolso.

Considerações Finais

O conceito proposto nesse estudo oferece uma ampla possibilidade de aplicações e pode ser utilizado em todos os tipos de equipamentos colaborando com a coleta de dados de modo a criar indicadores de funcionamento, que podem auxiliar na melhoria dos processos de manutenção e melhoria de produtos. Atualmente o tema Internet das Coisas tem se intensificado no Brasil, o ministério da ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações em parceria com o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, estão criando um plano de ação para incentivar o desenvolvimento dessa tecnologia no país (CAMINHOS PARA O FUTURO, 2017). Além disso, a situação da economia demanda por soluções emergentes e imediatas para se resolver problemas usando a automação alavancando a produção de vários produtos (GUEDES et al., 2019).

Dessa forma, o protótipo tem a capacidade de atender a essa expectativa, atuando não apenas na área de mineração, mas principalmente no setor de agronegócios. É possível integrar diversos sensores ao conceito de modo a coletar dados como: umidade do solo e do ar, possibilitando automatizar o processo de irrigação do mesmo, atuando apenas nas áreas que há necessidade, com isso é possível reduzir o consumo de água. O protótipo está em constante melhoria e tem potencial para colaborar diretamente de modo a solucionar problemas em diversos setores da indústria, podendo influenciar na economia e ajudando a tornar o mercado mais competitivo.

Referências Bibliográficas

AZEVEDO, M. Transformação digital na indústria: indústria 4.0 e a rede de água inteligente no Brasil. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

Britasul. Nossos Processos, 2011. Disponível em: <http://www.britasul.com.br/nossos_processos/>. Acessado em: 01 jun. 2017.

Bailey, B.P. Designing Multimedia Applications with Interactive Storyboards. In: Proceedings of ACM Multimedia 2003. Ottawa, Canada.

CAMINHOS PARA O FUTURO, Plano Nacional de IoT é apresentado no Futurecom, 2017. Disponível em: <<http://epocanegocios.globo.com/Caminhos-para-o-futuro/Desenvolvimento/noticia/2017/10/plano-nacional-de-iot-e-apresentado-no-futurecom-2017.html>>. Acessado em: 20 ago. 2017.

Capuano, F.G; Mariano, M. A. M.. Laboratório de Eletricidade e Eletrônica. 3 ed. São Paulo: Érica, 1998. 26p.

DALLAS SEMICONDUCTOR. Data Sheet DS18B20, 2015. Disponível em: <<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/58557/DALLAS/DS18B20.html>>. Acessado em: 25 ago. 2017.

DORNAN, Andy. Wireless communication: O guia essencial de comunicação sem fio. Tradução Fábio Freitas. Rio de Janeiro: Campus, 2001.

FIGUEIRA, H. V. Tratamento de minérios. 4ª Ed. Rio de Janeiro: CETEM-CNPq-MCT, 2004.

GUEDES, Erik T., AZEVEDO, Manoel S. S., LEITE, Jandecy C., COSTA, Arlindo M. M., OLIMPIO, Geanne T. F., ALMEIDA, Will R. M. Desenvolvimento de um Sistema Automatizado para alimentação de linhas de produção de rádios automotivos intrínseco à Indústria 4.0. Revista SODEBRAS, v. 14. N. 157, 2019.

LAUDON, Kenneth C.; LAUDON, Jane Price. Sistemas de informação. Tradução Dalton Conde de Alencar. Rio de Janeiro: LTC, 1999.

Metalica Construção Civil. Britadores e Moinhos, 2010. Disponível em: <<http://www.metalica.com.br/artigos-tecnicos/britadores-e-moinhos>>. Acessado em: 01 jun. 2017.

Ministério de Minas e Energia, 2017. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/entidades-vinculadas-e-afins/cprm>>. Acessado em: 01 jun. 2017.

Quaresma, Luiz Felipe. DESENVOLVIMENTO DE ESTUDOS PARA ELABORAÇÃO DO PLANO

RIBEIRO, Amarolina. Recursos Minerais do Brasil, 2003. Disponível em: < <http://www.infoescola.com/geografia/recursos-minerais-do-brasil/> >. Acessado em 01 jun 2017.

TEXAS INSTRUMENT. Data Sheet INA271, 2017. Disponível em: < <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina271.pdf> >. Acessado em: 01 out. 2017.

VARELA, J. Critérios de seleção de britadores aplicados ao processamento mineral. In: XXIV ENTMME, Salvador, 2011. p.384-391 Disponível em: < <http://docplayer.com.br/17650252-Criterios-de-selecao-de-britadores-aplicados-ao-processamento-mineral.html> > Acessado em: 02 out. 2017.