



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CAMPUS DE CRATEÚS**  
**CURSO DE ENGENHARIA DE MINAS**

**DARLAN MOTA DE SOUZA**

**USO DE ARDUINO E MÓDULO GPS PARA MONITORAMENTO POR  
TELEMETRIA DE ROTAS DE TRANSPORTE POR CAMINHÕES EM MINAS A  
CÉU ABERTO**

**CRATEÚS**  
**2021**

DARLAN MOTA DE SOUZA

USO DE ARDUINO E MÓDULO GPS PARA MONITORAMENTO POR TELEMETRIA  
DE ROTAS DE TRANSPORTE POR CAMINHÕES EM MINAS A CÉU ABERTO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal do Ceará, Campus Crateús, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Minas.

Orientador: Prof. Me. Rafael Chagas Silva

Coorientador: Prof. Me. Marciel Barros Pereira

CRATEÚS

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

S237. Souza, Darlan Mota de.  
. Uso de arduino e módulo gps para monitoramento por telemetria de rotas de transporte por caminhões em minas a céu aberto / Darlan Mota de Souza. – 2021.  
67 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Crateús, Curso de Engenharia de Minas, Crateús, 2021.  
Orientação: Prof. Me. Rafael Chagas Silva.  
Coorientação: Prof. Me. Marciel Barros Pereira.

1. Minas a céu aberto . 2. Carregamento e Transporte. 3. Telemetria. 4. Arduino. I. Título.

CDD 622

---

DARLAN MOTA DE SOUZA

USO DE ARDUINO E MÓDULO GPS PARA MONITORAMENTO POR TELEMETRIA  
DE ROTAS DE TRANSPORTE POR CAMINHÕES EM MINAS A CÉU ABERTO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal do Ceará, Campus Crateús, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Minas.

Aprovada em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Me. Rafael Chagas Silva (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Me. Marciel Barros Pereira (Coorientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Me. Carlos Eduardo da Silva Araujo  
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

---

Prof. Me. Emanuel Itaquê de Negreiros Moreira  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Aos meus pais, Admir e Deocleciana.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, dono de toda ciência, sabedoria e poder.

Aos meus pais, Admir e Deocleciana, pelo apoio durante toda minha trajetória.

Aos meus “Cãopanheiros”, Zeus e Thor, pela companhia durante as madrugadas de estudos.

Ao professor Carlos Eduardo por me incentivar a realizar esta pesquisa, pelo apoio e participação na banca.

Aos professores Rafael Chagas e Marciel Barros pelo apoio na realização desta pesquisa e orientação.

Ao professor Emanuel Itaquê por ter aceito o convite para participar da banca.

Aos meus amigos Fábio José e Fabrícia Rodrigues pela ajuda com os testes práticos.

Ao meu irmão, Deleon Mota, pela ajuda com os testes práticos.

Aos meus colegas de graduação pela convivência durante os últimos anos.

À universidade, todo seu corpo docente e todos os colaboradores.

“Não sabendo que era impossível, foi lá e fez!”  
(Jean Cocteau).

## RESUMO

As operações de carregamento e transporte representam a maior parcela dos custos de produção em minas a céu aberto. Os principais contratempos que corroboram para estes custos estão relacionados à formação de filas de caminhões, à alocação de rotas desacertadas para o transporte, ao dimensionamento inadequado da frota e à ociosidade dos equipamentos de carregamento. Em vista disso, têm-se buscado soluções tecnológicas por meio de softwares que possam auxiliar nas tomadas de decisões e, assim, aumentar a eficiência do processo para reduzir os custos operacionais. Os softwares responsáveis pelo roteamento de veículos em minas a céu aberto são conhecidos como sistemas de despacho e apresentam um elevado custo de aquisição, o que inviabiliza seu uso em empreendimentos mineiros de pequeno e médio porte. Diante disso, este trabalho teve por objetivo desenvolver uma solução de baixo custo e de fácil implantação para realizar o monitoramento de rotas de transporte por caminhões em minas a céu aberto. Para tanto, foram construídos protótipos de transmissão e recepção de dados por meio do Arduino MEGA, sensores de GPS e transmissores/receptores de rádio frequência, trabalhando em conjunto com softwares desenvolvidos para armazenar e gerenciar os dados recebidos por telemetria. Em virtude do período de pandemia do Coronavírus, os protótipos idealizados não foram utilizados em um ambiente de mina real. Todavia, os resultados se basearam em uma transmissão por telemetria das atividades simuladas de carregamento e transporte no espaço do estacionamento da UFC - Campus de Crateús. Os resultados da simulação atestaram a simplicidade da aquisição e eficiência do processamento dos dados e permitiram realizar o monitoramento georreferenciado dos caminhões. A simulação permitiu comprovar a efetividade do sistema, restando assim, a realização de testes práticos nas mineradoras de pequeno e médio porte.

**Palavras-chave:** minas a céu aberto; carregamento e transporte; Arduino MEGA; telemetria.

## ABSTRACT

Loading and transport operations account for the largest share of production costs in open pit mines. The main setbacks that corroborate these costs are related to the formation of lines of trucks, the allocation of incorrect routes for transportation, the inadequate sizing of the fleet and the idleness of loading equipment. In view of this, technological solutions have been sought through software that can assist in decision making and, thus, increase the efficiency of the process to reduce operating costs. The software responsible for vehicle routing in open pit mines is known as dispatch systems and has a high acquisition cost, which makes its use in small and medium-sized mining enterprises unfeasible. In view of this, this work aimed to develop a low-cost and easy-to-implement solution for monitoring the transport routes by trucks in open pit mines. To this end, prototypes of data transmission and reception were built using Arduino MEGA, GPS sensors and radio frequency transmitters / receivers, working together with software developed to store and manage the data received by telemetry. Due to the Coronavirus pandemic period, the idealized prototypes were not used in a real mine environment. However, the results were based on a telemetry transmission of simulated loading and transport activities in the UFC - Crateús Campus parking space. The simulation results attested to the simplicity of the acquisition and efficiency of the data processing and allowed to carry out the georeferenced monitoring of the trucks. The simulation allowed to prove the effectiveness of the system, leaving, therefore, the realization of practical tests in the small and medium-sized mining companies.

**Keywords:** open pit mines; loading and transport; Arduino MEGA; telemetry.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Operações mineiras de perfuração, detonação, carregamento e transporte de rochas. .....	18
Figura 2 - Perfuratriz rotopercussiva utilizada na perfuração de rocha.....	20
Figura 3 - Perfuratriz rotativa. ....	21
Figura 4 - Broca tricônica utilizada em perfuratrizes rotativas. ....	21
Figura 5 - Elementos de um plano de fogo.....	23
Figura 6 - Distribuição dos custos da lavra por caminhões. ....	24
Figura 7 - Carregadeira Komatsu WA200.....	27
Figura 8 - Carregadeira John Deere 844K-III. ....	28
Figura 9 - Escavadeira a cabo Caterpillar.....	29
Figura 10 - Escavadeira com caçamba frontal Caterpillar 6060 AC/6060 AC FS.....	30
Figura 11 - Escavadeira com caçamba invertida Caterpillar 390F L. ....	31
Figura 12 - Drag-line Caterpillar 8750. ....	32
Figura 13 - Escavadeira com caçamba de mandíbula.....	33
Figura 14 - Caminhão basculante com capacidade de caçamba de 16 m <sup>3</sup> .....	35
Figura 15 - Caminhão fora de estrada CATERPILLAR 797F. ....	36
Figura 16 - Caminhões Caterpillar-797F.....	37
Figura 17 - Resistência de Rampa. ....	37
Figura 18 - Diferentes modelos de microcontroladores. ....	43
Figura 19 - Componentes internos de um microcontrolador. ....	43
Figura 20 - Diversos modelos de placas Arduino. ....	44
Figura 21 - Sistema de GPS composto por 24 satélites na órbita da Terra. ....	45
Figura 22 - Diferentes modelos de receptores de GPS.....	46
Figura 23 - Processo de triangulação de satélites. ....	46

Figura 24 - Espectro eletromagnético e a forma como é utilizado na comunicação. ....	47
Figura 25 – Vista frontal do protótipo de transmissão. ....	49
Figura 26 – Vista posterior do protótipo de transmissão.....	49
Figura 27 – Protótipo receptor de dados.....	50
Figura 28 - Metodologia aplicada para aquisição e processamento dos dados. ....	50
Figura 29 - Tela inicial do sistema de armazenamento. ....	51
Figura 30 - Sistema de armazenamento recebendo dados.....	52
Figura 31 - Tela utilizada para o cadastro de veículos. ....	53
Figura 32 - Tela de Gerenciamento de veículos.....	53
Figura 33 - Tela utilizada para o cadastro de motoristas.....	54
Figura 34 - Tela de Gerenciamento de motoristas.....	54
Figura 35 - Tela utilizada para adicionar informações de abastecimento. ....	55
Figura 36 - Tela utilizada para dar início a uma operação. ....	55
Figura 37 - Tela utilizada para importar os dados do cartão SD para a base de dados. ....	56
Figura 38 - Coordenadas fixas pré-cadastradas no software. ....	57
Figura 39 - Histórico de abastecimentos. ....	58
Figura 40 - Gráfico de barras gerado pelo software. ....	59
Figura 41 - Gráfico de linhas gerado pelo software. ....	59
Figura 42 - Monitoramento em tempo real das operações. ....	60
Figura 43 - Painel de notificações durante as operações monitoradas. ....	61
Figura 44 - Histórico de movimentações e paradas da operação. ....	62
Figura 45 - Registro do deslocamento de saída do caminhão Caterpillar 797F-12 do Britador com destino ao carregamento na frente de lavra. ....	63

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Pesos específicos, fator de conversão (F) e empolamento de materiais (E%). .....	26
Tabela 2 - Fator de eficiência da caçamba (K).....	34

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>17</b>
<b>3.1</b>	<b>Objetivo geral.....</b>	<b>17</b>
<b>3.2</b>	<b>Objetivos específicos: .....</b>	<b>17</b>
<b>4</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>18</b>
<b>4.1</b>	<b>Operações Mineiras.....</b>	<b>18</b>
<b>4.1.1</b>	<b><i>Desmonte de rochas.....</i></b>	<b>19</b>
<b>4.1.1.1</b>	<b><i>Perfuração de Rochas .....</i></b>	<b>19</b>
<b>4.1.1.2</b>	<b><i>Elementos de perfuração do plano de fogo.....</i></b>	<b>22</b>
<b>4.1.2</b>	<b><i>Carregamento e transporte.....</i></b>	<b>23</b>
<b>4.1.2.1</b>	<b><i>Equipamentos de Carregamento .....</i></b>	<b>25</b>
<b>4.1.2.1.1</b>	<b><i>Carregadeiras .....</i></b>	<b>25</b>
<b>4.1.2.1.2</b>	<b><i>Escavadeiras .....</i></b>	<b>28</b>
<b>4.1.2.3</b>	<b><i>Equipamentos de Transporte.....</i></b>	<b>34</b>
<b>4.1.2.3.1</b>	<b><i>Caminhão Basculante Rodoviário .....</i></b>	<b>35</b>
<b>4.1.2.3.2</b>	<b><i>Caminhão Basculante Fora de Estrada .....</i></b>	<b>36</b>
<b>4.1.2.4</b>	<b><i>Fatores que afetam o rendimento dos caminhões .....</i></b>	<b>37</b>
<b>4.1.2.4.1</b>	<b><i>Resistência de Rampa.....</i></b>	<b>37</b>
<b>4.1.2.4.2</b>	<b><i>Influência da Altitude .....</i></b>	<b>38</b>
<b>4.1.2.4.3</b>	<b><i>Falhas recorrentes em caminhões na mineração.....</i></b>	<b>38</b>
<b>4.1.3</b>	<b><i>Manutenção .....</i></b>	<b>39</b>
<b>4.1.3.1</b>	<b><i>Manutenção corretiva não planejada.....</i></b>	<b>39</b>
<b>4.1.3.1</b>	<b><i>Manutenção corretiva planejada.....</i></b>	<b>39</b>
<b>4.1.3.2</b>	<b><i>Manutenção preventiva .....</i></b>	<b>39</b>
<b>4.1.3.3</b>	<b><i>Manutenção preditiva.....</i></b>	<b>40</b>
<b>4.1.3.4</b>	<b><i>Manutenção Detectiva.....</i></b>	<b>40</b>
<b>4.1.4</b>	<b><i>Sistemas de Gerenciamento de Rotas de Carregamento e Transporte .....</i></b>	<b>40</b>
<b>4.2</b>	<b>Equipamentos eletrônicos aplicados ao monitoramento de tráfego de caminhões em minas a céu aberto .....</b>	<b>42</b>
<b>4.2.1</b>	<b><i>Microcontrolador.....</i></b>	<b>42</b>
<b>4.2.2</b>	<b><i>Arduino .....</i></b>	<b>44</b>

4.2.3	<i>Sistema GPS</i> .....	45
4.2.4	<i>Transmissão de dados via rádio</i> .....	46
4.2.5	<i>Telemetria</i> .....	48
5	<b>MATERIAIS</b> .....	48
5.1	<b>Protótipo de transmissão de dados</b> .....	48
5.2	<b>Protótipo de recepção de dados por telemetria</b> .....	49
6	<b>MÉTODOS</b> .....	50
6.1	<b>Sistema de armazenamento de dados</b> .....	51
6.2	<b>Sistema de controle e monitoramento de variáveis operacionais</b> .....	52
6.2.1	<i>Gerenciamento da frota de veículos</i> .....	52
6.2.2	<i>Gerenciamento de motoristas</i> .....	53
6.2.3	<i>Informações de abastecimentos, consumo e custos com combustíveis</i> .....	54
6.2.4	<i>Gerenciamento das operações</i> .....	55
6.2.5	<i>Importação de dados do percurso</i> .....	55
6.3	<b>Sistema de notificações</b> .....	56
7	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	58
7.1	<b>Dados de abastecimento, consumo e custos com combustíveis dos equipamentos de transporte</b> .....	58
7.2	<b>Sistemas de monitoramento e notificações</b> .....	60
7.3	<b>Histórico das operações</b> .....	61
8	<b>CONCLUSÕES</b> .....	64
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	65

## 1 INTRODUÇÃO

A sociedade moderna depende, direta ou indiretamente, de recursos minerais utilizados em todos os setores da indústria, desde a geração de energia até a construção civil. O aproveitamento industrial desses recursos ocorre por meio de um conjunto de operações coordenadas que buscam uma extração eficiente, segura e sustentável da jazida. À vista disso, a lavra de jazidas pode ocorrer acima dos terrenos ou abaixo deles, sendo classificadas como atividades a céu aberto ou subterrânea, respectivamente (HARTMAN e MUTMANSKY, 2002).

Em minerações a céu aberto, o aproveitamento das substâncias minerais de interesse econômico ocorre, geralmente, por meio de operações cíclicas que se iniciam com o desmatamento da cobertura vegetal e posterior decapeamento do solo; que se dá com uso de carregadeiras e escavadeiras, em condições normais; e da rocha estéril; desmontada normalmente com o uso de explosivos. Esta limpeza das camadas superiores tem como objetivo principal deixar a superfície do minério descoberta para que se inicie o processo de lavra propriamente dito (HARTMAN e MUTMANSKY, 2002). Uma vez que o minério aflora, se iniciam as operações de perfuração e carregamento dos furos com explosivos e acessórios de detonação para promover o desmonte de rochas para formar pilhas do material com distribuição homogênea e granulometria adequada para as etapas de carregamento, transporte e posterior britagem (HARTMAN e MUTMANSKY, 2002).

As operações de carregamento e transporte, quando realizadas por carregadeiras/escavadeiras e caminhões, representam mais de 60% dos custos de lavra de uma mina a céu aberto. Por este motivo, empresas de mineração passaram a buscar soluções tecnológicas que tornassem o processo mais eficiente e conseqüentemente mais acessível. Atualmente, a solução mais utilizada é a implantação de sistemas de gerenciamento de rotas de transporte, sistema de despacho, para aumentar a produtividade destas operações tornando o processo de alocação de veículos dinâmica (TRUEMAN, 2001 apud LOPES, 2010).

O sistema de despacho é o responsável por fazer o roteamento dos veículos com base em critérios preestabelecidos e o custo com a implantação deste tipo de sistema está diretamente relacionado com o tamanho da mina e o tipo de operação realizada. O elevado custo de implantação do sistema inviabilizou por muitos anos seu uso em empresas de pequeno e médio porte, e somente a partir da década de 90, a evolução da informática tornou o software de despacho mais acessível, o que levou ao aumento da disponibilidade no número de empresas que passaram a utilizar estas soluções (RODRIGUES, 2006).

## **2 JUSTIFICATIVA**

Até o presente momento, não há registros na literatura científica da utilização de módulo GPS conectado ao Arduino para monitoramento de caminhões nas operações de transporte em minas a céu aberto. Para tanto, o projeto busca construir protótipos de baixo custo, com uso do Arduino, para transmissão e recepção de dados das operações de transporte em empreendimentos mineiros de pequeno/médio porte.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo geral**

Este trabalho teve como objetivo utilizar sensor de GPS equipado a uma placa de Arduino para realizar o monitoramento por telemetria de rotas de transporte por caminhões em minas a céu aberto.

#### **3.2 Objetivos específicos:**

O presente trabalho teve os seguintes objetivos específicos:

- Construir os protótipos de transmissão e recepção de dados;
- Idealizar o sistema de gestão dos dados da telemetria;
- Utilizar os protótipos de transmissão e recepção de dados em um ambiente simulado;
- Avaliar o processamento de dados no sistema de gestão;
- Compor relatórios qualitativos e quantitativos dos dados processados pelo sistema de gestão.

## 4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão apresentados fundamentos sobre as operações mineiras de desmonte, carregamento e transporte de rochas em minas a céu aberto em associação com o uso de componentes eletrônicos para o monitoramento de caminhões por telemetria.

### 4.1 Operações Mineiras

As operações mineiras compreendem um conjunto de etapas coordenadas que buscam o aproveitamento eficiente, seguro e sustentável dos recursos minerais. Estas operações podem ser de caráter contínuo ou cíclico. Os trabalhos contínuos são desenvolvidos por equipamentos que podem desenvolver um conjunto de ações simultâneas, como a fragmentação ou corte do material *in natura*, o carregamento e o transporte. Os mineradores contínuos equipados com correia transportadora e o *motoscraper* são exemplos de equipamentos de mineração contínua. As operações cíclicas, conforme ilustra a Figura 1, totalizam o maior aporte das operações mineiras em minas a céu aberto. São desenvolvidas por etapas interdependentes que se iniciam com a preparação de uma bancada para o desmonte com uso de explosivos; objetivando a formação de uma pilha com granulometria, distribuição e geometria adequada para o carregamento e transporte do material, estéril ou minério, ao destino adequado (JIMENO *et al.*, 1987).

Figura 1 - Operações mineiras de perfuração, detonação, carregamento e transporte de rochas.



Fonte: Elaborada pelo autor.

#### **4.1.1 Desmonte de rochas**

O desmonte de rochas compreende o principal ciclo de produção de uma mina (CASTRO e PARRAS, 2007). A detonação busca um material com características de granulometria e volume que melhor se adequem às operações subsequentes de carregamento, de transporte e de britagem. Além disso, o desmonte de rochas deve produzir o mínimo de riscos e incômodos possíveis. Nas detonações próximas a áreas urbanas, deve-se tomar precauções quanto a ruídos, níveis de vibração do solo e ultralancamento de fragmentos de rocha. Qualquer atividade de desmonte de rocha exige, obrigatoriamente, um plano de fogo, que deve ser elaborado por profissional técnico habilitado (JIMENO *et al.*, 1987; MENDES, 2015).

##### **4.1.1.1 Perfuração de Rochas**

A perfuração de rochas, dentro do campo dos desmontes, constitui a primeira etapa do ciclo de operações e tem como finalidade abrir e adequar os furos com distribuição e geometria adequada dentro dos maciços rochosos para alojar as cargas de explosivos e acessórios iniciadores (SILVA, 2009; JIMENO *et al.*, 1987).

Segundo Castro e Parras (2007) a perfuração compreende a etapa mais importante no desmonte de rochas, tendo em vista que, a eficiência do explosivo alojado no maciço rochoso depende, principalmente, da distribuição espacial e geométrica dos furos.

Em minas a céu aberto, a perfuração de detonação é executada por perfuratrizes que podem ser de dois tipos: rotopercussiva e rotativa.

- A variedade rotopercussiva, Figura 2, abrange equipamentos de acionamento pneumático ou hidráulico, cujo os mecanismos de perfuração são impacto, rotação e empuxo, auxiliados por um sistema de limpeza de detritos por meio de um fluido, que pode ser ar ou espuma ou ainda água. O principal mecanismo de perfuração é o impacto; gerado por golpes sucessivos do pistão, também denominado de martelo. A energia do impacto percorre a coluna de perfuração até atingir a interface com a rocha pelo contato da broca. A rotação tem como finalidade garantir que os impactos do pistão sejam transmitidos a rocha em diferentes posições. O mecanismo de empuxo garante o contato da broca com a rocha para favorecer a efetividade dos impactos do martelo. As perfuratrizes rotopercussivas podem apresentar o motor de impacto na superfície do furo (*top hammer*) ou no interior do furo (*DTH - Down The Hole*). Os impactos gerados pelo acionamento com martelo de superfície sofrem perdas de energia ao longo da coluna de

perfuração, tornando-o ineficiente para profundidades superiores a 20 metros. Por outro lado, o sistema DTH, mostra-se mais eficiente em furos mais profundos, considerando a eficiência energética do martelo alocado próximo à broca, o que garante uniformidade na velocidade de perfuração ao longo do avanço do furo. Os diâmetros praticados nestes sistemas de perfuração variam de 1<sup>1/2</sup>” a 2<sup>1/2</sup>” para marteletes manuais; 2<sup>1/2</sup>” a 5” com perfuratrizes *top hammer*; e 5<sup>1/2</sup>” a 9” na variedade DTH (SILVA, 2009; JIMENO *et al.*, 1987).

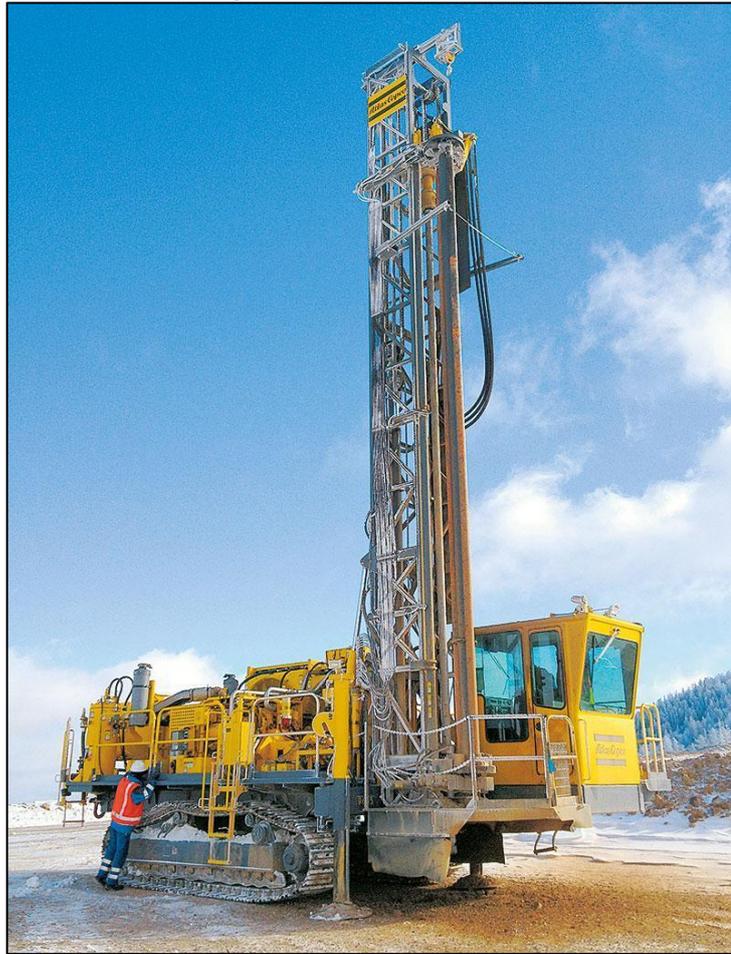
- O sistema de perfuração rotativo, Figura 3, faz uso de brocas tricônicas, Figura 4, onde os mecanismos de acionamento são o empuxo e o complexo conjunto de rotação da broca, concomitantes ao sistema de limpeza dos detritos por meio de ar ou água. A força de empuxo é exercida por meio da coluna de perfuração, equipada por tubos pesados e uma broca. O empuxo impulsiona a broca tricônica contra a rocha e o mecanismo de rotação da coluna e dos cones dotados de coroas promovem a furação pela ação de trituração e lasqueamento da rocha. Estas perfuratrizes apresentam elevada capacidade de perfuração, são equipadas em torres treliçadas que executam a adição de tubos a coluna de forma automatizada. Os furos podem apresentar profundidades superiores a 30 metros com diâmetros que variam de 5” a 15” (SILVA, 2009; JIMENO *et al.*, 1987).

Figura 2 - Perfuratriz rotopercussiva utilizada na perfuração de rocha.



Fonte: Próprio autor.

Figura 3 - Perfuratriz rotativa.



Fonte: Rolls-Royce Power Systems AG, 2016

Figura 4 - Broca tricônica utilizada em perfuratrizes rotativas.



Fonte: Lilly M, 2007.

#### 4.1.1.2 Elementos de perfuração do plano de fogo

O conjunto dos elementos necessários à execução da bancada é chamado de plano de fogo. A Figura 5 mostra os principais elementos de um plano de fogo praticados no desmonte de rochas a céu aberto.

O diâmetro do furo, **D**, medido em polegadas, depende principalmente do tipo de equipamento disponível para a realização da perfuração e dos objetivos do desmonte. Desta forma, o diâmetro é diretamente proporcional à produção requerida na mina, que deve ser compatível com os equipamentos de carregamento e transporte disponíveis (SILVA, 2009; JIMENO *et al.*, 1987).

O afastamento, **A**, é a distância entre o furo e a face livre da bancada ou a menor distância de uma linha de furos a outra, medido em metros. A eficiência da fragmentação da rocha no desmonte está diretamente associada à distância do afastamento praticado (SILVA, 2009; JIMENO *et al.*, 1987).

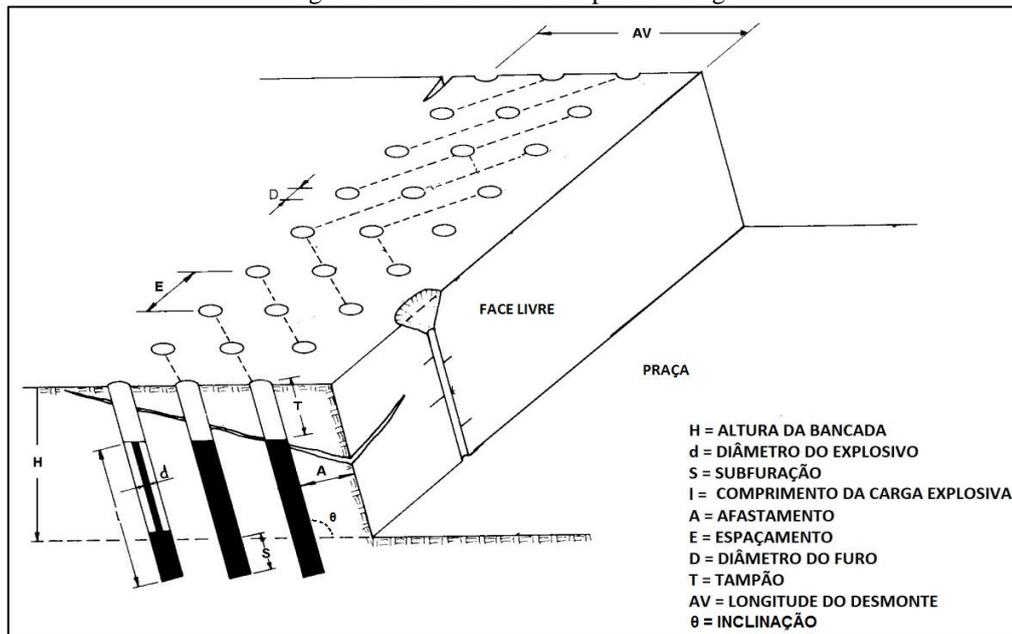
O espaçamento, **E**, é a distância em metros entre dois furos de uma mesma linha. A relação prática para seu dimensionamento está ligada diretamente ao afastamento, **A** (SILVA, 2009; JIMENO *et al.*, 1987).

A altura da bancada, **H**, relaciona-se aos equipamentos disponíveis, às informações geológicas do maciço rochoso e ao acesso às frentes de lavra. Geralmente evita-se a construção de bancadas com alturas maiores que dez metros (SILVA, 2009; JIMENO *et al.*, 1987).

A profundidade total do furo é dada pela altura da bancada, **H**, mais um incremento de furação, conhecido como subfuração, **S**, que tem a função de evitar o aparecimento de repé ou bloco de rocha formado pela detonação insuficiente do pé da bancada, representada por uma superfície irregular que dificulta a realização de trabalhos subsequentes na praça do desmonte (SILVA, 2009; JIMENO *et al.*, 1987).

O ângulo de inclinação dos furos,  **$\theta$** , é determinado com base nas características geológicas do maciço e tem como principais vantagens: redução da subfuração no pé da bancada, diminuição da razão de carregamento de explosivos nos furos, redução dos efeitos de quebra para trás, *back break*, tornando a face livre mais segura e estável e melhora a fragmentação da rocha (SILVA, 2009; JIMENO *et al.*, 1987).

Figura 5 - Elementos de um plano de fogo.

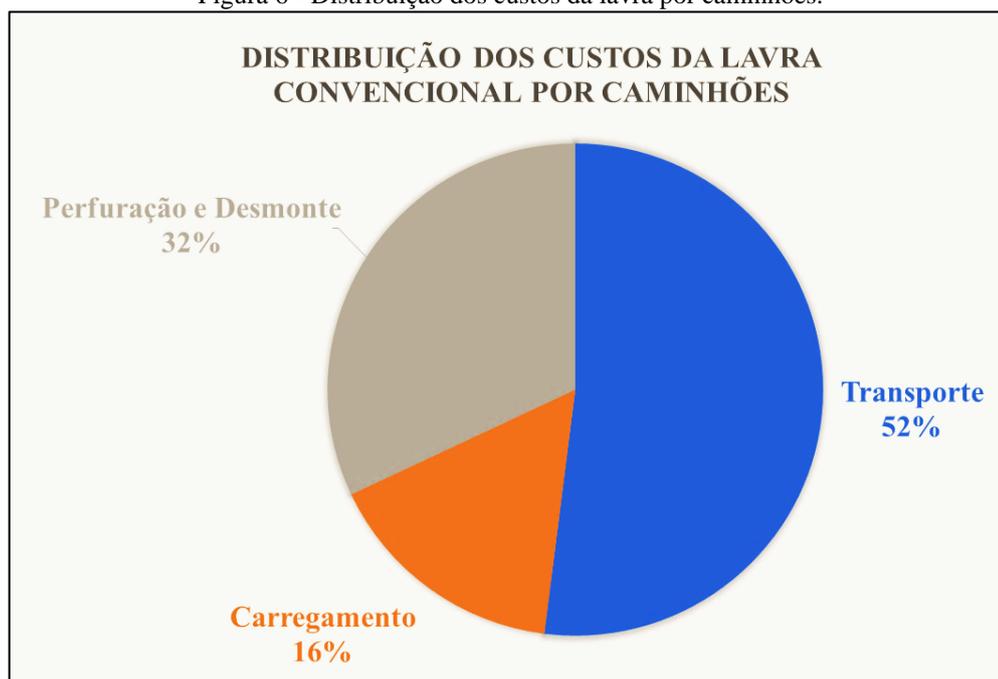


Fonte: Adaptado de SILVA (2009).

#### 4.1.2 Carregamento e transporte

Segundo Lopes (2010), as operações de carregamento e transporte são complexas e onerosas, compreendendo os maiores gastos operacionais de uma mina a céu aberto. Trueman (2001) apud Lopes (2010) mostrou que o custo médio relacionado com as operações de lavra, em uma mina com o processo de carregamento por meio de caminhões, pode ser distribuído em 32% com gastos com perfuração e desmonte de rochas, 16% com o carregamento e 52% com o transporte do material desmontado, Figura 6.

Figura 6 - Distribuição dos custos da lavra por caminhões.



Fonte: Adaptado de TRUEMAN (2001) apud LOPES (2010).

Além disso, as operações de carregamento e transporte são executadas por ciclos, definido como o conjunto de operações desenvolvidas por determinado equipamento em um intervalo de tempo, retornando posteriormente à posição inicial para reiniciar o processo. O tempo necessário para que ocorra duas passagens simultâneas do equipamento por qualquer ponto do ciclo é denominado tempo de ciclo. Na perspectiva de produção, o entendimento do ciclo dos equipamentos é fundamental para o dimensionamento de frotas (SILVA, 2011).

O tempo de ciclo de um equipamento pode ser fixo e variável. O tempo fixo compreende os intervalos gastos pelo equipamento para realizar tarefas que, em condições normais de execução, o tempo de realização não se altera consideravelmente de uma operação para outra; como por exemplo: o período necessário para uma escavadeira realizar uma única operação de escavação, giro, basculamento do material e retorno à posição inicial. Os tempos fixos são fornecidos pelos fabricantes dos equipamentos, normalmente em forma de tabelas, que descrevem o tempo médio para a realização de uma série de tarefas em condições normais de operação. Já o tempo variável descreve o período necessário para a realização de tarefas que são facilmente afetadas por fatores externos, como a intercorrência do tempo de percurso de um caminhão transportando material em uma mesma rota. Os tempos variáveis são obtidos por meio de observações da operação e variam consideravelmente de uma operação para outra. Assim, o tempo de ciclo total de um equipamento é obtido pela soma dos tempos fixos com os tempos variáveis (JAWORSKI, 1997).

Relaciona-se ao tempo de ciclo o fator de eficiência dos equipamentos. Este parâmetro descreve a razão entre o tempo efetivamente trabalhado em relação à duração do turno de serviço, ou seja, desconta-se os intervalos perdidos por razões, tais como: I) Espera de unidades auxiliares e formação de filas; II) Pequenos reparos mecânicos e a manutenção preventiva; III) Breves pausas causadas pela fadiga do operador; IV) Recebimento ou transmissão de instruções (JAWORSKI, 1997).

#### *4.1.2.1 Equipamentos de Carregamento*

Geralmente, os equipamentos que realizam as operações de carregamento em minas a céu aberto são as carregadeiras e escavadeiras, descritas nos subitens seguintes.

##### *4.1.2.1.1 Carregadeiras*

É um tipo de equipamento muito utilizado em diversos setores da indústria; como a construção civil, a mineração, a agricultura, entre outros. Apresenta grande versatilidade, gerando excelentes resultados nas diversas áreas de aplicação (SILVA, 2017). As carregadeiras são compostas por tratores de rodas ou esteiras equipadas com uma caçamba frontal que é acionada por um sistema de braços hidráulicos articulados. A caçamba das carregadeiras permite a elevação e posterior basculamento do material. O processo de carregamento se dá com o deslocamento do trator pressionando a caçamba contra a pilha de material (JAWORSKI, 1997).

Segundo Jaworski (1997) e Silva (2017) os principais serviços realizados pela carregadeira são:

- Escavação – limitada a materiais que se encontrem no mesmo nível da carregadeira;
- Carga – corresponde ao preenchimento da caçamba;
- Transporte – a distâncias bem limitadas com máximo entre 30 e 50 metros;
- Descarga – pela ação da gravidade, em unidades de transporte ou sobre o terreno.

Vantagens da carregadeira sobre rodas (JAWORSKI, 1997):

- Grande facilidade de deslocamento entre frentes de serviço;
- O tempo de ciclo mais curto;
- Exige pouca regularização da pista de serviço;
- Opera em superfícies rochosas lisas e arenosas, com pouco desgaste dos pneus;

Desvantagens da pá carregadeira sobre rodas (JAWORSKI, 1997):

- Requerem terrenos firmes e planos para operação;
- A pista de operação deve estar seca ou com baixa umidade;
- Os pneus exigem mais atenção e manutenção que as esteiras.

Vantagens da carregadeira sobre esteiras (JAWORSKI, 1997):

- Capacidade de operar em terrenos pouco consistentes;
- Apresenta uma maior aderência em relação aos pneus, em terrenos lisos (argilosos);
- Maior poder de escavação.

Desvantagens da pá carregadeira sobre esteiras (JAWORSKI, 1997):

- Manobras mais lentas;
- Apresenta elevado desgaste da parte rodante, quando opera em terrenos arenosos;
- Baixa velocidade de deslocamento.

### Produção horária de pás carregadeiras

Segundo Jaworski (1997) a produção horária das pás carregadeiras pode ser calculada por meio da equação (1).

$$Ph = \frac{60 * C * E * F}{T} \quad (1)$$

Sendo:

- Ph = Produção horária em m<sup>3</sup>;
- C = Capacidade da caçamba coroada em m<sup>3</sup>;
- E = Eficiência de trabalho. Deve-se adotar 0,7 para pás carregadeiras sobre rodas e 0,8 para pás carregadeiras sobre esteiras.
- F = Fator de correção advindo do empolamento do material (Tabela 1);
- T = Tempo de ciclo em minutos.

Tabela 1 - Pesos específicos, fator de conversão (F) e empolamento de materiais (E%).

Material	Solto kgf/m <sup>3</sup>	Corte kgf/m <sup>3</sup>	F	E%
Argila Natural	1.661,0	2.017,0	0,82	21
Argila Seca	1.483,0	1.839,0	0,80	25
Argila Molhada	1.661,0	2.076,0	0,80	25
Terra Úmida	1.602,0	2.017,0	0,79	26

Terra Seca	1.513,0	1.899,0	0,79	26
Arenito	1.513,0	2.522,0	0,59	69
Areia Seca Solta	1.424,0	1.602,0	0,88	13
Areia Molhada	1.839,0	2.077,0	0,88	13
Pedra Britada	1.602,0	2.670,0	0,60	66
Terra Úmida 50% Rocha 50%	1.721,0	2.284,0	0,75	33
Pedras Soltas de até 20cm $\ominus$	1.340,0	2.670,0	0,50	100

Fonte: JAWORSKI (1997).

### Classificação das Caçambas

Capacidade rasa é o volume interno da caçamba. Pode-se imaginar a caçamba carregada e posteriormente nivelada passando-se uma régua, apoiada entre as bordas da caçamba, para se retirar o excesso de material. Na Figura 7, a capacidade rasa seria o volume de material que a carregadeira conseguiria carregar utilizando apenas a área delimitada em vermelho da caçamba (SILVA, 2017; JAWORSKI, 1997).

Figura 7 - Carregadeira Komatsu WA200.



Fonte: Adaptado de KOMATSU.

Capacidade Coroada, Figura 8, é a capacidade rasa mais o volume de material adicionado para coroar a carga inicial com um ângulo de repouso de 2:1 em relação a horizontal (SILVA, 2017 ; JAWORSKI, 1997)

Figura 8 - Carregadeira John Deere 844K-III.



Fonte: JOHN DEERE.

#### 4.1.2.1.2 Escavadeiras

As escavadeiras apresentam a peculiaridade de executar os ciclos de trabalho, processo de escavação e carregamento, com a máquina estacionada, isto é, sem que ocorra o deslocamento da mesma na fase de carregamento de sua concha e posterior descarga. Possuem a capacidade de escavar terrenos brandos ou rochas desmontadas por explosivos e, normalmente, efetuam a descarga do material diretamente nas unidades de transporte (JAWORSKI, 1997). Em minas a céu aberto, as escavadeiras são os principais equipamentos responsáveis pelo carregamento de minério e/ou estéril.

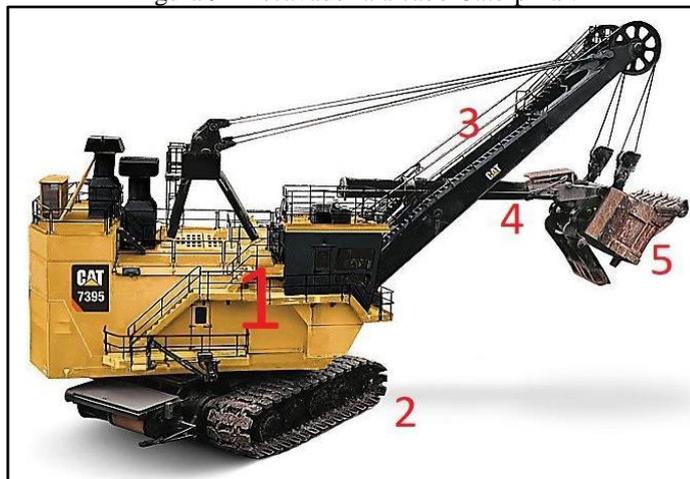
As principais partes de uma escavadeira (Figura 9) são:

- 1 Cabine de Comando;
- 2 Base;
- 3 Lança;
- 4 Braço
- 5 Concha ou Caçamba.

A cabine de comando (1) compreende os elementos de acionamento da escavadeira, como também, o motor da mesma, que pode ser de combustão interna ou elétrico. As escavadeiras apresentam diferentes tipos de bases (2); que podem ser de esteiras, pneus, chassi ferroviário, sobre chassi de caminhão, sobre patins ou barcaças; cada uma com suas especificidades e adequadas para terrenos distintos. A lança (3) é uma estrutura metálica apoiada sobre a plataforma que sustenta o braço (4), armação metálica que completa o conjunto da escavadeira de caçamba frontal (*shovel*). A concha ou caçamba (5) é o recipiente que escava

o material e o transporta durante a manobra, realizando o carregamento das unidades de transporte (JAWORSKI, 1997).

Figura 9 - Escavadeira a cabo Caterpillar.



Fonte: Adaptado de CATERPILLAR.

### **Escavadeira de caçamba frontal (*shovel*)**

A *shovel* (Figura 10) possui lança, braço articulado e uma caçamba com assoalho móvel. A escavação do material é realizada de baixo para cima e para frente, o giro da lança permite o deslocamento da caçamba no plano horizontal até a posição de descarga, que por sua vez é realizada com a abertura do assoalho da caçamba. É preferível que o material escavado por este equipamento disponha-se distribuído em pilhas ou em encostas de bancadas altas, acima da base de sustentação da escavadeira. Já a descarga do material, nas unidades de transporte, pode ser realizada em planos diferentes daquele em que a *shovel* está operando (JAWORSKI, 1997).

Segundo Jaworski (1997) os principais empregos da *shovel* são:

- Escavação de taludes;
- Deslocamento, carregamento e descarga de matacões de rocha;
- Escavação em áreas restritas;
- Carregamento de unidades de transporte;
- Carregamento de silo de alimentação de correias transportadoras;
- Formação de pilhas de materiais em depósitos a céu aberto.

Figura 10 - Escavadeira com caçamba frontal Caterpillar 6060 AC/6060 AC FS.



Fonte: CATERPILLAR.

### **Escavadeira de caçamba invertida (retroescavadeira)**

Popularmente conhecida como retroescavadeira, Figura 11, é equipada com uma lança segmentada articulada e uma caçamba com posição invertida em relação a da *shovel*. Conforme observado na Figura 11, estes equipamentos apresentam maior eficiência na escavação de materiais quando a base de sustentação da escavadeira encontra-se posicionada acima da pilha. A descarga do material escavado pela caçamba é realizada pelo basculamento da mesma (JAWORSKI, 1997).

Figura 11 - Escavadeira com caçamba invertida Caterpillar 390F L.



Fonte CATERPILLAR.

### **Escavadeira com caçamba de arrasto (*drag-line*)**

As *drag-lines*, Figura 12, são equipadas com uma lança longa, que pode chegar a 130 metros de comprimento, acoplada a polias e cabos que movimentam a caçamba levando-a até o material a ser escavado, posteriormente a caçamba é arrastada sobre o material até que a mesma esteja totalmente carregada. Após o preenchimento, a caçamba é posicionada ao ponto de descarga, onde o cabo de controle é acionado para o basculamento do material. A *drag-line* realiza a escavação em níveis inferiores à sua base, e podem escavar o material a longas distâncias e depositá-lo em pilhas de altura elevada (JAWORSKI, 1997).

Principais usos da escavadeira da *drag-line*:

- Decapeamento de jazidas e pedreiras;
- Abertura de valas e canais;
- Desobstrução de rios;
- Extração de areia em leito de rio; e
- Carregamento de minério e ou estéril em minas a céu aberto.

Figura 12 - Drag-line Caterpillar 8750.



Fonte: CATERPILLAR

### **Escavadeira com caçamba de mandíbula (“*clam-shell*”)**

É semelhante a uma retroescavadeira, mas difere quanto ao modo de operação e modelo da caçamba. Escava pelo impacto da caçamba sobre o material, resultante da queda livre da mesma, que é segurado pelo fechamento das mandíbulas. O material preso na caçamba é erguido e deslocado pela lança até o ponto de descarga, que se dá pela abertura das mandíbulas, controladas por cabos de aço, Figura 13, (JAWORSKI, 1997).

Segundo Jaworski (1997) os principais empregos desse tipo de escavadeira são:

- Escavação em níveis inferiores ao nível de apoio de sua base;
- Escavação de fossos profundos e verticais;
- Carregamento de materiais em unidades de transporte;
- Formação de pilhas de estéril em minas a céu aberto.

Figura 13 - Escavadeira com caçamba de mandíbula.



Fonte: Directindustry.

### Produção Horária das Escavadeiras

Segundo Jaworski (1997) a produção horária das escavadeiras, dos tipos *shovel* e retroescavadeira, pode ser calculada pela equação (2):

$$Ph = \frac{3600 * Q * f * E * K}{T} \quad (2)$$

Sendo:

- Ph = Produção horária, em metros cúbicos;
- Q = Capacidade rasa da caçamba, em metros cúbicos;
- f = Fator de empolamento;
- E = Eficiência de trabalho (adotar 0,5, para as escavadeiras);
- K = Fator de eficiência da caçamba (Tabela 2);
- T = Tempo de ciclo, em segundos.

Tabela 2 - Fator de eficiência da caçamba (K).

<b>Corte em terreno fácil</b>	<b>Corte em terreno médio</b>	<b>Corte em terreno meio duro</b>	<b>Corte em terreno duro</b>
K = 0,95 Shovel	K = 0,85 Shovel	K = 0,70 Shovel	K = 0,50 Shovel
K = 0,95 Drag-Line	K = 0,80 Drag-Line	K = 0,65 Drag-Line	K = 0,40 Drag-Line
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Material macio, solto, permitindo cargas coroadas.</li> <li>● Areia Seca.</li> <li>● Cascalho Miúdo.</li> <li>● Argila Arenosa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Material mais duro e que não exige emprego de explosivos.</li> <li>● Provoca vazios na caçamba.</li> <li>● Argila úmida.</li> <li>● Cascalho Graúdo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Calcários e arenitos bem fracionados por explosivos.</li> <li>● Cascalho com aglomerado.</li> <li>● Cascalho com matacões.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Rocha extraída por explosivos e outros materiais que deixam grandes vazios.</li> <li>● Rochas Duras.</li> <li>● Calcários.</li> <li>● Arenitos.</li> </ul>

Fonte: JAWORSKI (1997).

#### 4.1.2.3 Equipamentos de Transporte

Estes equipamentos são utilizados para transportar o material escavado, como por exemplo, o traslado do minério da frente de lavra até o britador. Esse movimento pode ocorrer no sentido horizontal, inclinado ou vertical. Na lavra a céu aberto, com o uso de caminhões, estão presentes os movimentos no sentido horizontal, nas estradas, e inclinado, nas rampas de acesso. O movimento vertical ocorre com o uso de guindastes, elevadores e outros equipamentos com o mesmo princípio de funcionamento (JAWORSKI, 1997).

O método de transporte de minério/estéril por caminhões é o mais utilizado em minas a céu aberto em todo o mundo. Com o advento de novas tecnologias, o processo de lavra modernizou-se, o que contribuiu para o aumento da eficiência de produção, concomitante com a evolução dos equipamentos de carregamento e transporte para atender as necessidades da indústria mineira. Na mineração a céu aberto, com transporte por caminhões, são utilizados o caminhão rodoviário e o fora de estrada. (LOPES, 2010; JAWORSKI, 1997).

#### 4.1.2.3.1 Caminhão Basculante Rodoviário

Os caminhões rodoviários, Figura 14, são aqueles autorizados, por lei, a trafegar nas rodovias, estradas e vias urbanas. No entanto, apresentam limitações quanto às dimensões (comprimento, largura, altura) e principalmente em relação ao peso da carga transmitida ao solo. As limitações impostas visam manter uma disciplina no trânsito, a segurança viária e evitar danos precoces nos pavimentos causados pelo tráfego de veículos com o peso acima do máximo suportado pela via (JAWORSKI, 1997).

Em minerações de pequeno porte, estes caminhões são utilizados diretamente na produção da mina, sendo facultado ao transporte de estéril e/ou minério. Além disso, estes equipamentos também podem ser utilizados para transportar o minério beneficiado aos centros consumidores.

Figura 14 - Caminhão basculante com capacidade de caçamba de 16 m<sup>3</sup>.



Fonte: Próprio autor.

#### 4.1.2.3.2 Caminhão Basculante Fora de Estrada

Os caminhões fora de estrada (Figuras 15 e 16) recebem essa denominação pelo fato de não necessitarem de estradas para o seu deslocamento, dispõem de rodas de grande diâmetro, com largura considerável e pneus de baixa pressão, oferecendo maior área de distribuição das cargas sobre o solo. As dimensões e peso desse tipo de caminhão são superiores às permitidas, por lei, portanto, não podem trafegar em rodovias. Alguns podem transportar até 400 toneladas e sua velocidade máxima pode chegar até 60km/h, carregado (JAWORSKI, 1997).

Caminhões fora de estrada são os principais equipamentos de transporte de minério/estéril em minas de médio e/ou grande porte. São equipamentos robustos que garantem elevada produtividade e versatilidade nas etapas de produção em minas a céu aberto. No entanto, estes equipamentos apresentam elevado custo de aquisição, de operacionalização e de manutenção (NEVES *et al.*, 2018).

Figura 15 - Caminhão fora de estrada CATERPILLAR 797F.



Fonte: Caterpillar.

Figura 16 - Caminhões Caterpillar-797F.



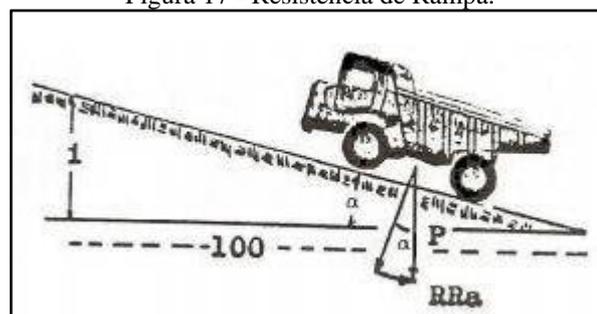
Fonte: Transporta Brasil.

#### 4.1.2.4 Fatores que afetam o rendimento dos caminhões

##### 4.1.2.4.1 Resistência de Rampa

A resistência de rampa pode ser definida como a força que atua paralelamente ao terreno, em sentido oposto ao do movimento dos veículos nos aclives, dificultando a subida. Já nos declives, essa força atua no mesmo sentido do movimento, somando-se a força de tração do veículo e auxiliando a descida. Nos declives, esta força é chamada de assistência de rampa (JAWORSKI, 1997).

Figura 17 - Resistência de Rampa.



Fonte: JAWORSKI, 1997.

Segundo Jaworski, (1997), pode-se calcular a Resistência de rampa, designada por  $RRa$ , em Kgf utilizando a equação (3):

$$RRa = P * \text{Sen } \alpha \quad (3)$$

Sendo:

➤  $P$  = a massa do veículo em Kg;

Ou, também, por meio equação (4):

$$RRa = 10 * P * i \quad (4)$$

Sendo:

- P = a massa do veículo em toneladas;
- i = a cive da rampa, em porcentagem;

#### 4.1.2.4.2 Influência da Altitude

Os veículos que operam nas mineradoras utilizam, em sua grande maioria, motores de combustão interna, este tipo de motor funciona por meio da queima do combustível, que necessita de oxigênio para realizar o processo de combustão, gerando a força motora. O oxigênio utilizado no processo de combustão é retirado da atmosfera. Assim sendo, com o aumento da altitude, o ar atmosférico vai se tornando cada vez mais rarefeito, reduzindo a quantidade de oxigênio do ambiente e, conseqüentemente, afetando a reação de combustão. A redução da quantidade de oxigênio no interior do motor gera uma queima incompleta do combustível, promovendo, assim, uma diminuição da potência do equipamento (JAWORSKI, 1997).

O ganho de altitude, tomando como marco zero o nível do mar, afeta todos os motores que funcionam por meio da aspiração natural do ar, por outro lado, os motores que utilizam métodos de aspiração forçada, veículos turbo, são pouco afetados pelo ganho de altitude, tendo seus efeitos desprezíveis (JAWORSKI, 1997).

De acordo com Jaworski (1997) pode-se determinar a perda de potência pela influência da altitude,  $I_a$ , calculada em porcentagem, em função do ganho de altitude, utilizando as seguintes equações:

Seja A a altitude em metros, para um motor 4 tempos utiliza-se a equação (5):

$$I_a = \frac{A-300}{100} \quad (5)$$

Para um motor 2 tempos, a equação (6):

$$I_a = \frac{A-300}{300} \quad (6)$$

Em ambos os casos, motores de 2 e 4 tempos, a perda só deve ser considerada a partir dos primeiros 300 metros.

#### 4.1.2.4.3 Falhas recorrentes em caminhões na mineração

Neves *et al.* (2018) realizaram um levantamento sobre as falhas mais recorrentes em caminhões nas mineradoras; tomando como base informações fornecidas por uma empresa representante de equipamentos para a mineração: Sotreq, localizada na cidade de Contagem-MG; e destacaram como principais falhas as seguintes:

- Falha no sistema de direção, causada principalmente pelo alinhamento e balanceamento inadequados;
- Rompimentos de parafusos e trincas nos eixos, causados pela sobrecarga de material aplicada aos caminhões.
- Ruptura nos pneus, causada pelo monitoramento inadequado da pressão de ar dos pneus.

Portanto, torna-se essencial para as empresas a realização de um plano de manutenção para a frota de equipamentos, a fim de se evitar problemas futuros como também impedir que problemas já existentes se agravem, pondo em risco a produção da empresa e a vida dos operadores.

#### **4.1.3 Manutenção**

Manutenção pode ser definida como um conjunto de ações com o objetivo de manter em operação ou restaurar o funcionamento de uma peça, equipamento, máquina ou sistema. Na mineração, a manutenção realizada nos caminhões visa deixá-los em boas condições de operação, aumentando, assim, sua vida útil (NEVES *et al.*, 2018).

##### *4.1.3.1 Manutenção corretiva não planejada*

É realizada em um componente ou equipamento que apresente uma falha que impossibilite sua operação ou que reduza significativamente a eficiência de trabalho (NEVES *et al.*, 2018).

##### *4.1.3.1 Manutenção corretiva planejada*

É realizada em um componente ou equipamento que apresente uma falha que não impossibilite seu funcionamento ou que não reduza, significativamente, a eficiência de operação, mas, por decisão gerencial, a manutenção é realizada (NEVES *et al.*, 2018).

##### *4.1.3.2 Manutenção preventiva*

É realizada em um componente ou equipamento que está em pleno funcionamento; com o objetivo de evitar possíveis falhas, as quais tornariam o equipamento inoperável ou reduziriam significativamente sua produção. As manutenções preventivas são realizadas a partir de um plano pré-estabelecido; definido por uma equipe multidisciplinar, levando em consideração diversos fatores como a produção, disponibilidade de profissionais para realizar a manutenção,

disponibilidade de equipamentos para dar continuidade à produção, entre outros (NEVES *et al.*, 2018).

#### *4.1.3.3 Manutenção preditiva*

É realizada com base em modificações nos parâmetros de desempenho dos equipamentos e indica as condições reais de funcionamento, baseando-se em informações sobre o desgaste ou o processo de degradação dos componentes. Este tipo de manutenção prediz o tempo estimado de vida útil dos componentes e as condições mínimas para que este seja aproveitado com o máximo de produção possível. Os principais objetivos desse processo de manutenção são: eliminar desmontagens desnecessárias, reduzir o aumento de danos, aumentar o grau de confiança nos equipamentos e reduzir os trabalhos com manutenções corretivas não planejadas (NEVES *et al.*, 2018; HERNANDES, 2018).

#### *4.1.3.4 Manutenção Detectiva*

É realizada com o intuito de detectar falhas ocultas ou imperceptíveis ao operador. Consiste em métodos que visam garantir a segurança e a produtividade dos equipamentos para maximizar sua vida útil (NEVES *et al.*, 2018; HERNANDES, 2018).

### ***4.1.4 Sistemas de Gerenciamento de Rotas de Carregamento e Transporte***

De acordo com Alarie e Gamache (2002), as soluções dos problemas relacionados com o despacho de veículos objetivam aumentar a produção e reduzir os custos operacionais do processo. Para Lizotte, Bonates e Leclerc (1987), a operação de carregamento e transporte utilizando caminhão/escavadeira é o método mais utilizado nas operações de lavra em minas a céu aberto no mundo.

Uma operação de carregamento e transporte perfeita busca o sincronismo ótimo entre os ciclos, de modo a evitar a formação de filas ou equipamentos ociosos. Na prática, uma operação perfeita é uma utopia, visto que diversos fatores como o subdimensionamento de equipamentos, o rendimento das operações, acidentes de percurso, quebra de equipamentos e fatores climáticos afetam diretamente a eficiência de produção de uma mina a céu aberto (SUBTIL *et al.*, 2011).

As minas utilizam dois métodos para a distribuição dos veículos e equipamentos, divididas em: alocação fixa e alocação dinâmica.

- Na alocação fixa, cada veículo tem sua rota de trabalho pré-estabelecida, ou seja, os caminhões são fixados em um percurso, indo de um local de carregamento a um de descarga, sem alterar a rota de trabalho durante um período de tempo pré-estabelecido (RODRIGUES, 2006; SUBTIL *et al.*, 2011).
- Na alocação dinâmica, as rotas são reajustadas de acordo com a situação atual do processo de lavra e as posições dos veículos participantes da operação em andamento. A cada processo de carregamento ou descarga, o veículo recebe informações sobre para onde deve seguir, seguindo critérios pré-estabelecidos (RODRIGUES, 2006; SUBTIL *et al.*, 2011).

Atualmente, o método de alocação mais utilizado em minas de pequeno e médio porte é o de alocação fixa, visto que se trata de um sistema simplificado e que não requer nenhum componente de hardware ou de software para o seu funcionamento. O método fixo, apesar de mais barato, gera uma série de problemas, uma vez que acabam promovendo a formação de filas de caminhões e ociosidade dos equipamentos de carregamento, o que acarreta na redução da eficiência das operações de carregamento e transporte de minério/estéril nas minas (RODRIGUES, 2006; KOLONJA *et al.*, 1993).

A implantação de um método de alocação dinâmica demanda o uso de um sistema de despacho, responsável por fazer o roteamento dos veículos com base em critérios preestabelecidos. Entre os critérios utilizados para direcionar o funcionamento do sistema de despacho, destaca-se a previsão da melhor rota de transporte para os caminhões, de tal forma a posicioná-los nos locais de carregamento e basculamento, evitando a formação de filas (RODRIGUES, 2006; KOLONJA *et al.*, 1993; SUBTIL *et al.*, 2011).

De acordo com Alarie e Gamache (2002), a literatura descreve três estratégias distintas que podem ser aplicadas ao despacho de caminhões em minas a céu aberto, sendo elas:

- 1 caminhão para N escavadeiras (*1-truck-for-n-shovels*): neste modelo, o motorista do caminhão que realizou o basculamento, solicita ao sistema uma rota de transporte em direção a uma escavadeira. O algoritmo do sistema avalia a rota de menor custo e de maior benefício. Todavia, esta configuração não considera os ciclos de transportes futuros.
- N caminhões para 1 escavadeira (*n-trucks-for-1-shovel*): O sistema se baseia na posição espacial dos N caminhões que solicitarão a rota a ser seguida, tomando como referência uma escavadeira por vez. Cada escavadeira recebe uma meta de produção a ser alcançada, e o sistema utiliza este parâmetro de decisão para enviar o caminhão à escavadeira com a menor taxa de produção em relação à meta pré-estabelecida.

- N caminhões para M escavadeiras (N-trucks-for-M-shovels): É o modelo com maior complexidade e que possibilita uma visão global da operação e, conseqüentemente, acarreta os melhores resultados. O sistema leva em consideração a posição dos N caminhões que solicitarão a rota ao sistema e a posição das M carregadeiras disponíveis para determinar o percurso solicitado pelo motorista.

Os custos para a implantação de um sistema de despacho dependem de fatores como o tamanho da mina e o tipo de operação que utilizam. O elevado custo de implantação do sistema, inviabilizou por muitos anos seu uso em empresas de pequeno e médio porte, mas a partir da década de 90, a evolução da informática tornou o software de despacho mais acessível no mercado, o que levou ao aumento da disponibilidade no número de empresas que passaram a utilizar estas soluções (RODRIGUES, 2006).

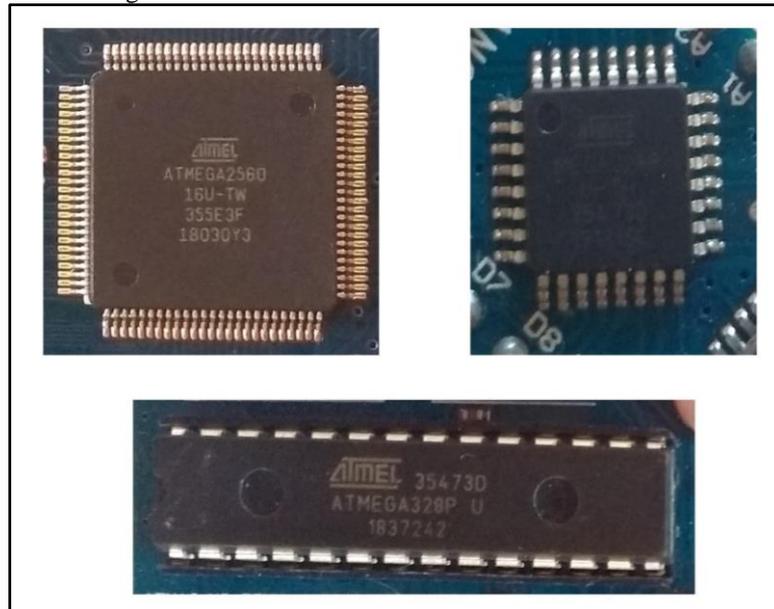
## **4.2 Equipamentos eletrônicos aplicados ao monitoramento de tráfego de caminhões em minas a céu aberto**

Os equipamentos eletrônicos estão inseridos em todas as etapas das operações em minas a céu aberto. Estes componentes são responsáveis pelo processamento de informações que auxiliam na tomada de decisões nos processos em que se inserem.

### **4.2.1 Microcontrolador**

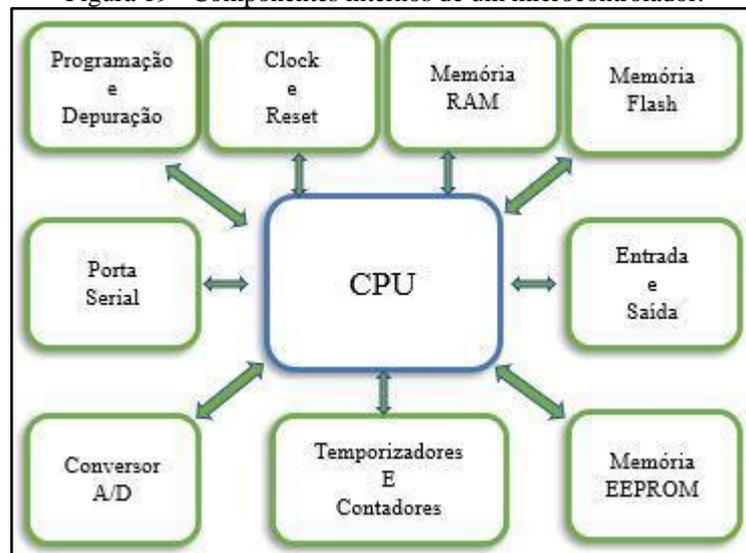
Um microcontrolador, Figura 18, pode ser definido como um circuito integrado que dispõe em seu interior de todos os componentes necessários para o seu funcionamento, em outras palavras, é um computador construído em um único chip. Entre os componentes presentes mostrados na Figura 19, destaca-se o processador (Unidade Lógica e Aritmética – ULA), a memória, os periféricos de entrada e de saída, os temporizadores, dispositivos de comunicação serial, entre outros componentes (PENIDO e TRINDADE, 2013; KERSCHBAUMER, 2018; ASSIS, 2004).

Figura 18 - Diferentes modelos de microcontroladores.



Fonte: Próprio autor.

Figura 19 - Componentes internos de um microcontrolador.



Fonte: Adaptado de KERSCHBAUMER (2018).

Os microcontroladores são amplamente utilizados e estão presentes em praticamente todos os equipamentos eletrônicos que nos cercam, como por exemplo, celulares, telefones, rádios, televisores, relógios, alarmes residenciais, calculadoras, sensores inteligentes, automóveis, aviões, entre diversos outros. Estes dispositivos atuam na automatização de circuitos eletrônicos integrados em veículos automotores para realizar funções específicas, como por exemplo: acionamento de sensores, travas, sistema de arrefecimento, nível de iluminação e etc. Na mineração, o uso de microcontroladores permitiu a implementação de

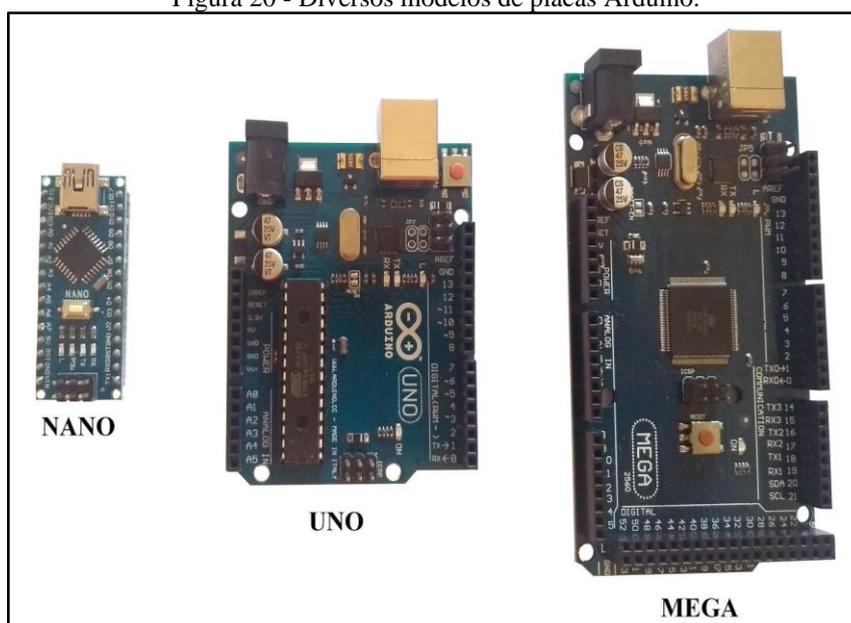
dispositivos de automação para operacionalização de equipamentos e monitoramento de tráfego de veículos em minas, garantindo mais segurança e eficiência nas operações.

Atualmente, existem diversas fabricantes de microcontroladores, como por exemplo, AMCC, Atmel, NEC, Fujitsu, Intel, Silicon Laboratories, entre diversas outras, cada uma com diversas famílias de microcontroladores com funções e aplicações distintas (KERSCHBAUMER, 2018).

#### 4.2.2 Arduino

O Arduino, criado em 2005 na Itália por um grupo de pesquisadores: Massimo Banzi, David Cuartielles, Tom Igoe, Gianluca Martino e David Mellis, é uma placa de prototipagem desenvolvida com o objetivo de ser uma tecnologia acessível, de baixo custo, flexível e de fácil utilização, tanto por profissionais quanto por principiantes/estudantes. O Arduino possui diversos modelos de placas, Figura 20; cada um com suas peculiaridades e tamanhos distintos. A placa é composta por um microcontrolador Atmel e diversos circuitos de entrada e saída, sendo programada por um computador por meio de uma IDE (*Integrated Development Environment* ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado) própria, utilizando uma linguagem de programação baseada em C/C++. Depois de programado, o Arduino funciona de forma independente para realizar diversas funções através de sensores que captam informações do mundo real e atuadores que realizam as ações predefinidas na programação, necessitando para isto, de uma fonte de energia (THOMSEN, 2014).

Figura 20 - Diversos modelos de placas Arduino.

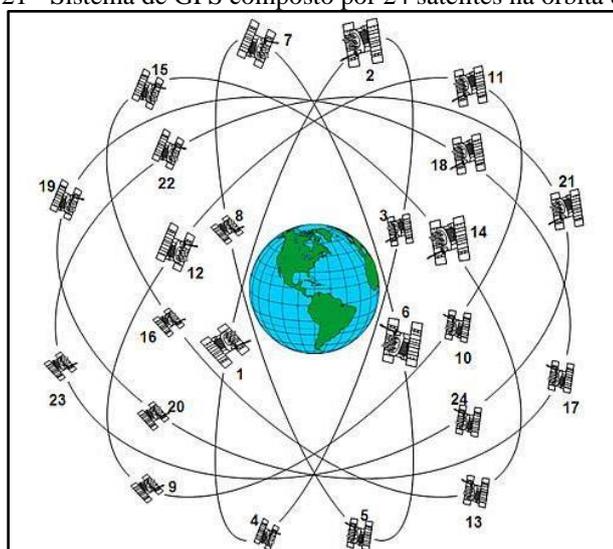


Fonte: Próprio autor.

### 4.2.3 Sistema GPS

O GPS – *Global Positioning System* ou Sistema de Posicionamento Global – é um sistema de navegação norte americano formado por 24 satélites, Figura 21, inaugurado em 1973 para uso militar e posteriormente, em 1983, liberado para uso civil em todo o mundo. O sistema utiliza satélites que fornecem aos aparelhos receptores no solo – celulares, GPS automotivo, relógios inteligentes, entre outros dispositivos – informações a respeito de sua posição geográfica, velocidade relativa, altitude, entre outras informações (GOGONI, 2019; MACHADO, 2012).

Figura 21 - Sistema de GPS composto por 24 satélites na órbita da Terra.



Fonte: GLOBO (Acervo Decea).

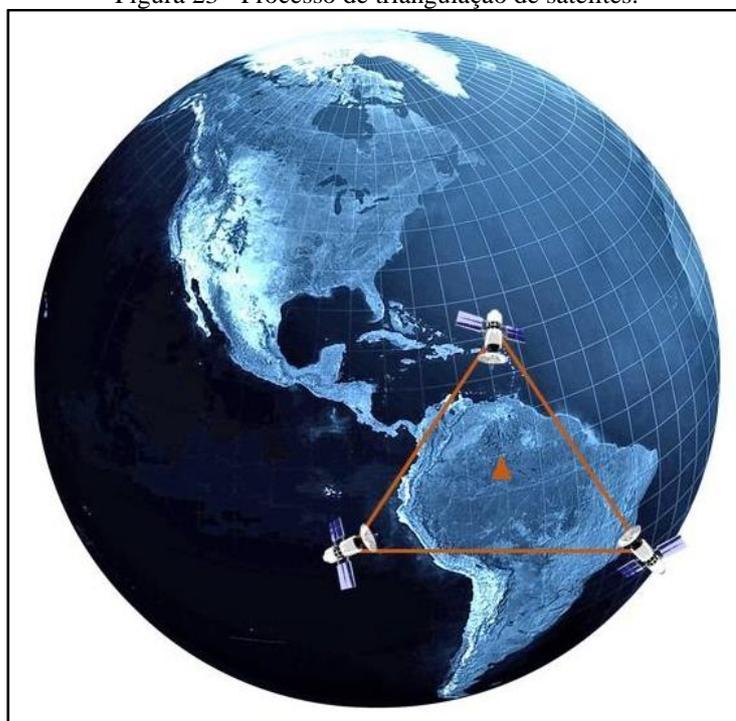
O receptor de GPS, Figura 22, capta os sinais de micro-ondas dos satélites e por meio do processo chamado de triangulação, consegue determinar sua posição geográfica. Para que ocorra o processo de triangulação, Figura 23, são necessários pelo menos três satélites enviando informações ao receptor, que calcula, por meio das informações recebidas, a distância entre ele e os satélites, determinando, assim, sua posição geográfica. Além das coordenadas espaciais, o processo de triangulação permite determinar a altura do receptor em relação ao nível do mar. Vale destacar que um número maior de satélites enviando informações ao receptor, garante uma melhor precisão na aquisição dos dados (MACHADO, 2012).

Figura 22 - Diferentes modelos de receptores de GPS.



Fonte: Santiago & Cintra, 2017.

Figura 23 - Processo de triangulação de satélites.



Fonte: Próprio autor.

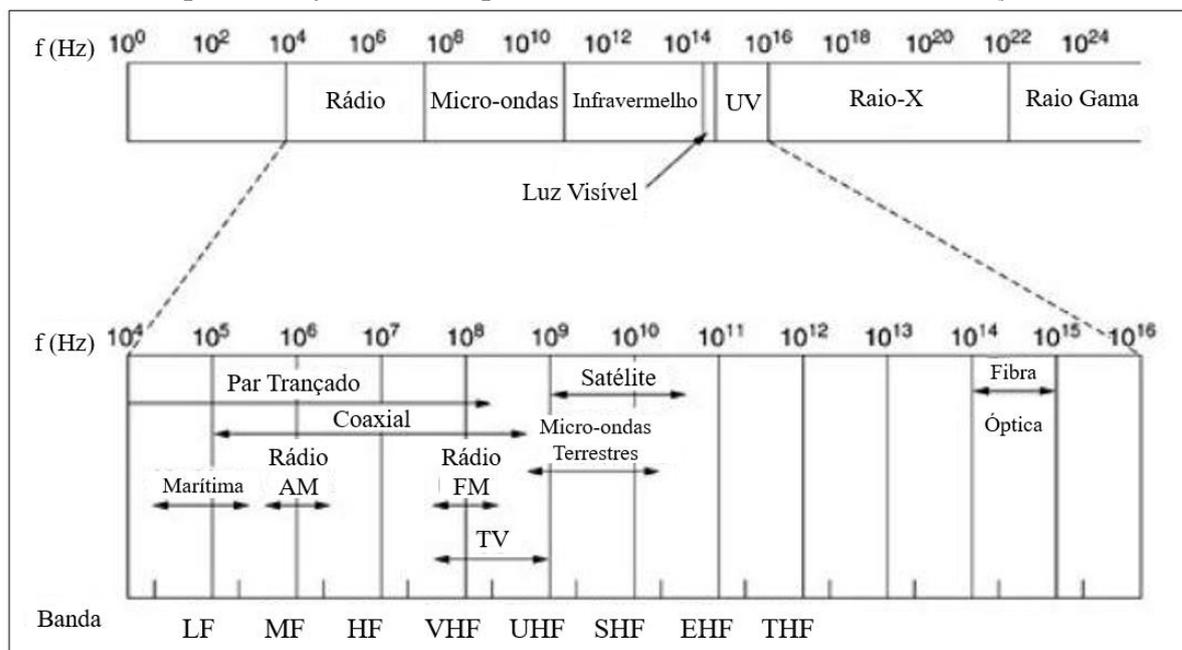
#### ***4.2.4 Transmissão de dados via rádio***

Ao se moverem, os elétrons criam ondas eletromagnéticas que podem propagar-se pelo espaço; o número de oscilações que ocorrem a cada segundo é chamado de frequência e é medida em Hertz (Hz), em homenagem ao físico alemão Heinrich Hertz. Nos circuitos elétricos, quando equipados por uma antena de tamanho adequado, torna-se possível transmitir e receber ondas eletromagnéticas a uma distância considerável, que varia de acordo com a situação (TANENBAUM, 2003).

O espectro eletromagnético, Figura 24, é dividido em categorias, variando de acordo com a frequência das ondas, sendo elas: Ondas de Rádio, Micro-Ondas, Ondas Infravermelho,

Ondas Ultravioleta, Raios-X e Raios Gama. Desde que moduladas, as ondas de rádio e as micro-ondas são as principais precursoras para transmissão de dados, em virtude da baixa frequência que as possibilitam percorrer grandes distâncias. As bandas mostradas na parte inferior da Figura 24 representam os nomes oficiais definidos pela ITU (*International Telecommunication Union* ou União Internacional de Telecomunicações) que se baseiam nos comprimentos de ondas (TANENBAUM, 2003).

Figura 24 - Espectro eletromagnético e a forma como é utilizado na comunicação.



Fonte: Adaptado de TANENBAUM (2003).

As ondas de rádio são largamente utilizadas na transmissão de dados; pelo fato de serem fáceis de gerar, percorrerem longas distâncias e adentrarem com facilidade em ambientes fechados. São omnidirecionais, ou seja, uma vez geradas pela fonte, viajam em todas as direções, de modo que o receptor não precisa estar fisicamente alinhado com o transmissor (TANENBAUM, 2003).

As características das ondas de rádio estão ligadas à sua frequência. Quando operam em baixas frequências; atravessam os obstáculos com mais facilidade, porém, perdem potência à medida que se distanciam da fonte. Já quando operam em frequências mais altas, tendem a trafegar em linha reta e repercutir nos obstáculos. Em ambas as situações, alta e baixa frequência, as ondas de rádio são absorvidas pela chuva e são influenciadas, sofrendo interferência, por motores e equipamentos elétricos (TANENBAUM, 2003).

Outro ponto importante a ser destacado é que as ondas de rádio geram interferência entre si, de modo que, os transmissores devem operar em frequências e canais distintos para diminuir essa interferência. Pelo fato de percorrerem longas distâncias, os governos exercem um controle

sobre o licenciamento de determinadas faixas de frequências, de modo a deixá-las restritas à determinada função (TANENBAUM, 2003).

#### **4.2.5 Telemetria**

A telemetria, palavra de origem grega vinda do termo tele – que significa remoto – e metron – que significa medida – ou seja, medição a distância, pode ser definida como um sistema de monitoramento com o intuito de controlar, medir ou rastrear determinado equipamento sem a necessidade de manter um contato físico com o mesmo, utilizando tecnologias de comunicação sem fio, como ondas de rádio ou sinais de satélite. A telemetria é utilizada principalmente em locais onde a comunicação por cabos não é viável, pontos remotos geograficamente ou que se encontrem em frequente movimento, realizando a troca de informações com uma central de controle (SICHONANY, 2011; JUNIOR, 2004).

Esta tecnologia pode ser aplicada em diversas áreas, como: mineração, agricultura, meteorologia, automobilismo, entre outras. Seu uso possibilita a redução de custos provenientes de danos nos equipamentos, causados pelo mau funcionamento que não foi detectado em tempo hábil pelo monitoramento manual (SICHONANY, 2011). A telemetria permite o monitoramento constante e automatizado dos equipamentos, possibilitando a identificação de falhas de forma automatizada e imediata.

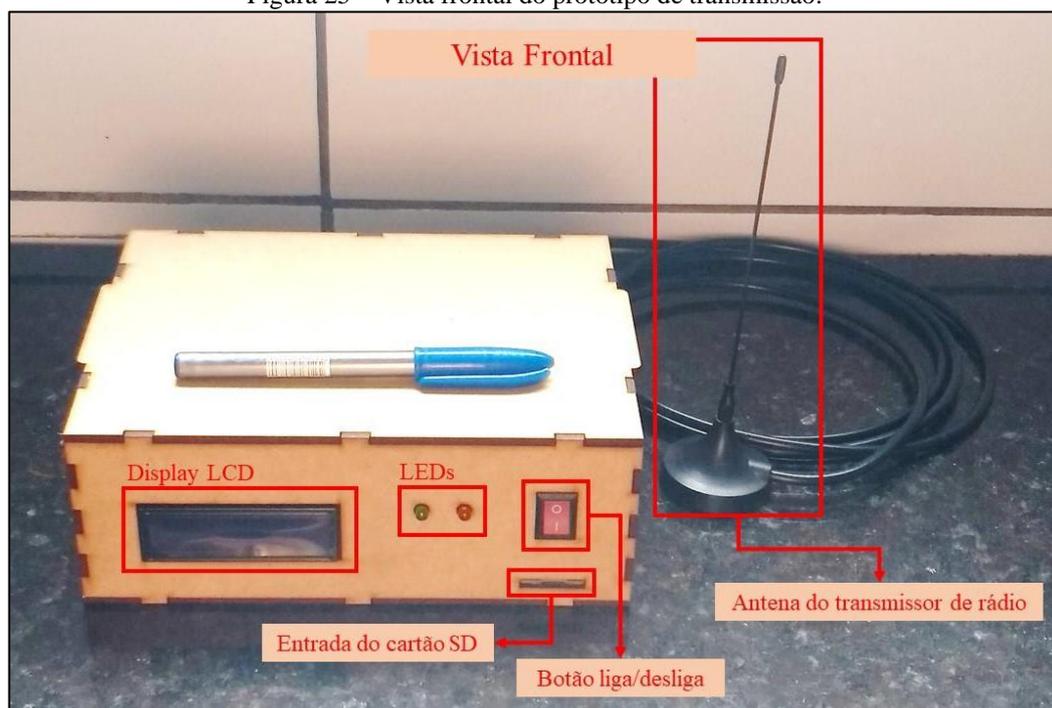
## **5 MATERIAIS**

Os protótipos de monitoramento de tráfego dos equipamentos de transporte em minas a céu aberto foram idealizados por meio de componentes eletrônicos, tipo sensores e unidades lógicas de processamento.

### **5.1 Protótipo de transmissão de dados**

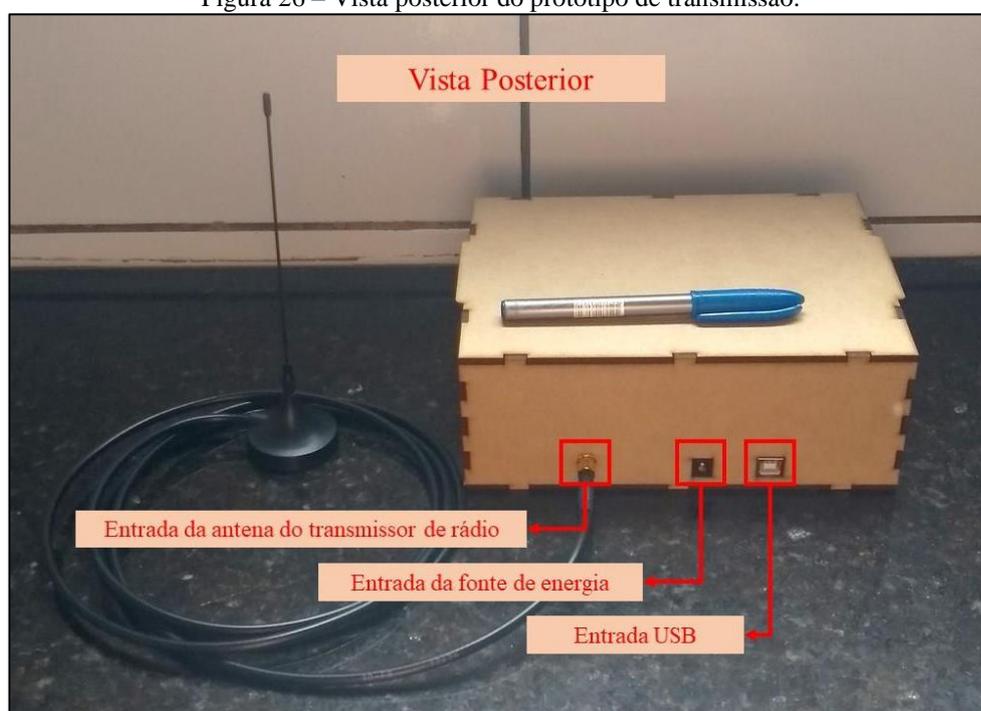
O protótipo de transmissão de dados do monitoramento de tráfego dos caminhões é mostrado nas Figuras 25 e 26. A construção deste modelo foi idealizada pela integração dos seguintes componentes: Arduíno MEGA, display LCD, módulo GPS e sistema de transmissão de rádio frequência, devidamente agrupados em uma *case* projetada para este fim, conforme apresentado nas Figuras 25 e 26.

Figura 25 – Vista frontal do protótipo de transmissão.



Fonte: Próprio autor.

Figura 26 – Vista posterior do protótipo de transmissão.



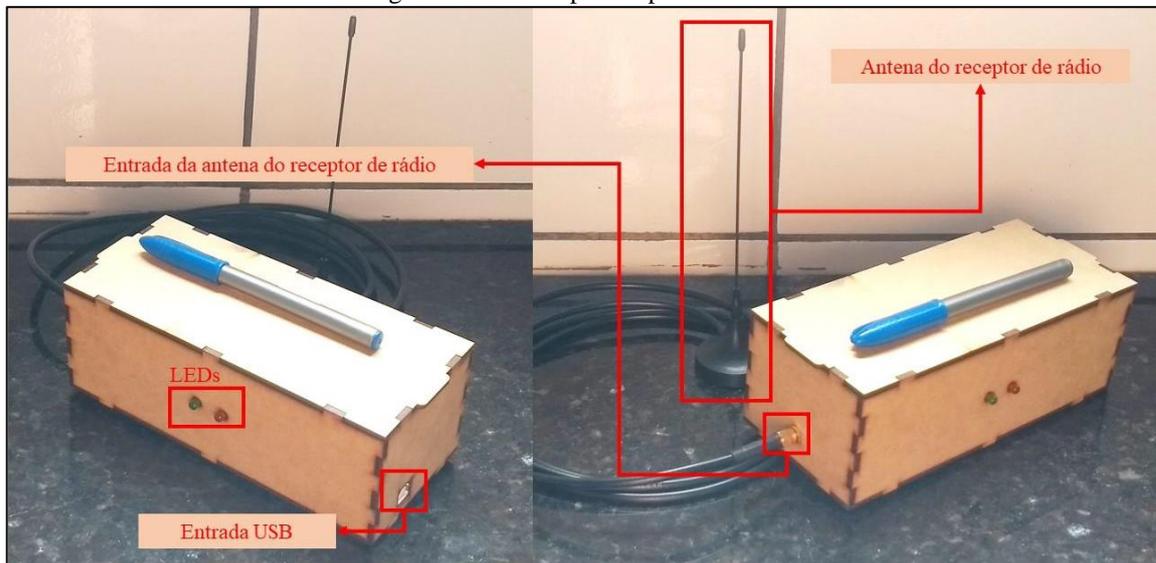
Fonte: Próprio autor.

## 5.2 Protótipo de recepção de dados por telemetria

O modelo construído para recepção de dados dos protótipos de transmissão é mostrado na Figura 27. Assim sendo, a concepção deste exemplar se deu pela integração dos seguintes

componentes: arduino MEGA e sistema de recepção de rádio frequência. De forma conjunta, os dados recebidos pelo protótipo são enviados ao computador para processamento, conforme mostrado na Figura 28.

Figura 27 – Protótipo receptor de dados.

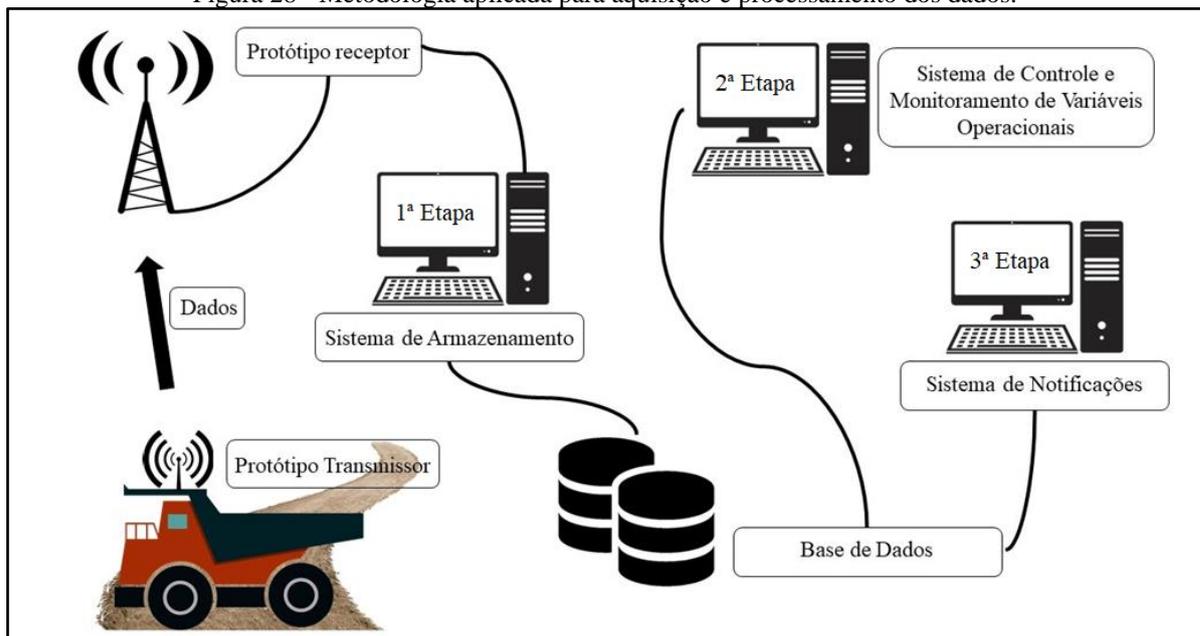


Fonte: Próprio autor.

## 6 MÉTODOS

A metodologia empregada no processamento dos dados de monitoramento de tráfego de caminhões por telemetria foi desenvolvida em três etapas, mostradas na Figura 28 e descritas nos tópicos seguintes.

Figura 28 - Metodologia aplicada para aquisição e processamento dos dados.



Fonte: Próprio autor.

## 6.1 Sistema de armazenamento de dados

O sistema de armazenamento é responsável pelo recebimento, análise e armazenagem dos dados da telemetria. Os dados são recebidos pelo computador via porta serial, conectada ao protótipo de recepção, e, após a análise da integridade e validade das informações, são processados e armazenados na base de dados, Figura 28.

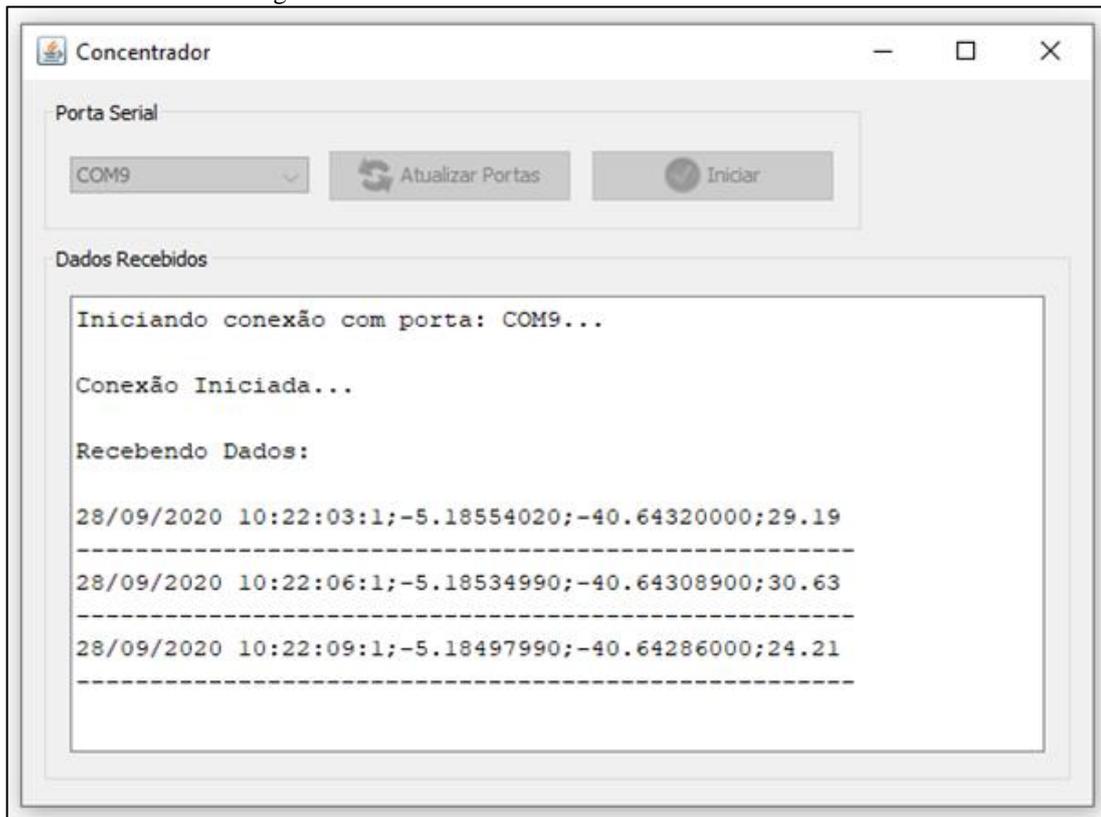
A Figura 29 mostra a tela inicial do software de armazenamento. O campo 1 apresenta uma lista de portas disponíveis para a conexão do software com o protótipo receptor, o botão 2 é utilizado para atualizar a lista de portas apresentadas no campo 1, o botão 3 dá início ao processo de conexão e o campo 4 apresenta ao usuário os dados recebidos via porta serial. A Figura 30 mostra o *layout* da tela apresentada ao usuário ao iniciar a recepção dos dados da telemetria. Vale salientar que o software foi desenvolvido para operar em unidades de baixo poder de processamento; em diferentes sistemas operacionais (Linux, MAC, Windows e Solaris); e pode ser utilizado simultaneamente com outros programas no computador.

Figura 29 - Tela inicial do sistema de armazenamento.



Fonte: Próprio autor.

Figura 30 - Sistema de armazenamento recebendo dados.



Fonte: Próprio autor.

## 6.2 Sistema de controle e monitoramento de variáveis operacionais

É o sistema encarregado da gestão da base de dados, Figura 28. Construído para a web, pode ser acessado por qualquer dispositivo conectado à rede e que disponha de um aplicativo de navegação *web*, como computadores, celulares e tablets. Entre suas funções, destacam-se:

### 6.2.1 Gerenciamento da frota de veículos

Módulo responsável pela gestão da frota de veículos da mina. Após o cadastro dos veículos (Figura 31), o software fornece ao usuário as informações mostradas na Figura 32, sendo estas:

- Lista de veículos cadastrados;
- Veículos disponíveis para operação;
- Veículos em operação; e
- Veículos em manutenção.

Na coluna de gerenciamento, em destaque na Figura 32, são apresentadas as ferramentas de edição dos dados do veículo (1), a situação de uso do veículo (2), dados financeiros do abastecimento de combustível no veículo (3) e histórico de posicionamento do veículo (4).

Figura 31 - Tela utilizada para o cadastro de veículos.

Formulário de Cadastro de Veículos com os seguintes campos:

- Marca: Caterpillar
- Modelo: Modelo
- Cor: Cor
- Ano Fabricação: Ano Fabricação
- Tipo: Caminhão fora de estrada
- Capacidade: Capacidade
- Combustível: Combustível
- Placa: Placa
- Número Motor: Número Motor
- Chassi: Chassi
- Situação: Alugado
- Informações Adicionais (Opcional):

Botões: Salvar, Limpar

Fonte: Próprio autor.

Figura 32 - Tela de Gerenciamento de veículos.

Tela de Gerenciamento de Veículos com o seguinte conteúdo:

Operações

- Veículos
- Abastecimento
- Rotas
- Pessoas
- Relatórios

Gerenciar Veículos

Pesquisar: Marca, Modelo, Placa...

Adicionar Veículo

Id Veículo	Marca	Modelo	Tipo Veículo	Cor	Placa	Situação	Gerenciar
1	Caterpillar	797F	Caminhão fora de estrada	Amarelo	12	Próprio	1 2 3 4
4	Caterpillar	797F	Caminhão fora de estrada	Amarelo	32	Próprio	1 2 3 4
6	Iveco	TRE39H	Caminhão Rodoviário	Branco	OSB4262	Próprio	1 2 3 4
3	Mercedes-Benz	4521	Caminhão Rodoviário	Branco	RDF4254	Alugado	1 2 3 4
2	Mercedes-Benz	3432	Caminhão Rodoviário	Vermelho	YSD2351	Alugado	1 2 3 4

127.0.0.1/rc/Gerenciar\_Veiculos.php

Fonte: Próprio autor.

### 6.2.2 Gerenciamento de motoristas

Módulo responsável pela gestão de dados dos motoristas da mina, Figura 34. Após o cadastro dos motoristas, Figura 33, o software fornece ao usuário as seguintes informações:

- Lista de motoristas cadastrados;
- Motoristas disponíveis para iniciar as operações; e
- Motoristas em serviço.

A coluna gerenciar da Figura 34, apresenta a mesma descrição da Figura 32 do subitem 6.2.1.

Figura 33 - Tela utilizada para o cadastro de motoristas.

Formulário de Cadastro de Motoristas com os seguintes campos:

- Nome: Nome
- Telefone: Telefone
- RG: RG
- CPF: CPF
- Habilitação: CNH
- Categoria CNH: Cag. CNH
- Logradouro: Logradouro
- Bairro: Bairro
- Cidade: Cidade
- Estado: Estado
- Informações Adicionais (Opcional):
- Botões: Salvar, Limpar

Fonte: Próprio autor.

Figura 34 - Tela de Gerenciamento de motoristas.

Tela de Gerenciamento de Motoristas com o seguinte conteúdo:

©Controle de Frotas | Darlan (Administrador)

Gerenciar Motoristas

Pesquisar: Nome, Telefone, CPF...

Adicionar Motorista

Id	Nome	Telefone	CPF	Cat. CNH	Gerenciar
5	Daniilo Maria José	(11)9 8***.**11	3**.*.*3-53	AC	[Editar] [Excluir] [Adicionar]
3	João Alves de Sousa	(88)9 9***.**42	0**.*.*2-42	AD	[Editar] [Excluir] [Adicionar]
1	João Matheus de Sousa	(88)9 9***.**42	7**.*.*2-42	AD	[Editar] [Excluir] [Adicionar]
4	Marcio Silva de Sousa	(88)9 9***.**42	0**.*.*2-42	AD	[Editar] [Excluir] [Adicionar]
6	Pablo Moraes	(62)9 8***.**62	5**.*.*5-65	AE	[Editar] [Excluir] [Adicionar]

Fonte: Próprio autor.

### 6.2.3 Informações de abastecimentos, consumo e custos com combustíveis

Os dados de abastecimentos com combustíveis nas operações de carregamento e transporte são inseridos no software por meio de cadastro, Figura 35. O processamento dessas informações fornece ao usuário:

- Histórico dos abastecimentos realizados, que podem ser filtrados por um período de tempo em relação a um motorista ou ainda a um veículo; e
- Gráficos de consumo (litros) ou custos (R\$) com combustíveis por período de tempo, que podem ser filtrados por veículo ou por motorista.

Figura 35 - Tela utilizada para adicionar informações de abastecimento.

**Adicionar Abastecimento**

Data-Hora Abastecimento:  Veículo:  Motorista:  Combustível:

Quantidade(Litros):  Valor Odômetro:

Fonte: Próprio autor.

### 6.2.4 Gerenciamento das operações

Para o software, a alocação do motorista ao veículo em horário de trabalho é chamada de operação, que tem por finalidade destinar o motorista ao caminhão. Desse modo, para iniciar uma operação (Figura 36), faz-se necessário a escolha de um motorista, de um veículo e se a operação será monitorada ou não. Vale destacar que, para trabalhos monitorados, o sistema solicitará o *id* do protótipo de transmissão. As operações monitoradas permitem visualizar, em tempo real, a posição dos equipamentos ou avaliar históricos de notificações e movimentações encerradas.

Figura 36 - Tela utilizada para dar início a uma operação.

**Adicionar Operação**

**Motoristas:**

id	nome	Gerenciar
5	Danilo Maria José	<input type="button" value="✉"/>
3	João Alves de Sousa	<input type="button" value="✉"/>
1	João Matheus de Sousa	<input type="button" value="✉"/>
4	Marcio Silva de Sousa	<input type="button" value="✉"/>
6	Pablo Moraes	<input type="button" value="✉"/>

**Veículos:**

id	Veículo	Gerenciar
1	Caterpillar - 797F - 12	<input type="button" value="✉"/>
4	Caterpillar - 797F - 32	<input type="button" value="✉"/>
6	Iveco - TRE39H - OSB4262	<input type="button" value="✉"/>
3	Mercedes-Benz - 4521 - RDF4254	<input type="button" value="✉"/>
2	Mercedes-Benz - 3432 - YSD2351	<input type="button" value="✉"/>

Motorista Selecionado:  Veículo Selecionado:

Tipo de Operação:  Monitoramento:  Id Equipamento:

Fonte: Próprio autor.

### 6.2.5 Importação de dados do percurso

Com o andamento da operação, o protótipo de transmissão, além de enviar os dados via telemetria, registra as informações do percurso em um cartão MicroSd. Ao final da operação, os dados salvos no cartão são importados para a base de dados do sistema. A tela de importação dos dados para o sistema é apresentada na Figura 37.

Figura 37 - Tela utilizada para importar os dados do cartão SD para a base de dados.

©Controle de Frotas Darlan (Administrador)

### Importar Histórico Detalhado

Motorista: Danilo Maria José

Veículo: Caterpillar - 797F - 12

Início Operação: 30/09/2020 - 14:00:26

Fim Operação: 30/09/2020 - 17:01:18

Selecione o arquivo para importação

Escolher arquivo Nenhum arquivo selecionado

Importar Arquivo

Fonte: Próprio autor.

### 6.3 Sistema de notificações

O sistema de notificações, Figura 28, foi desenvolvido para auxiliar o colaborador responsável pelo acompanhamento das operações de carregamento e transporte, a detectar inconsistências nos processos de movimentações de materiais na mina, minério ou estéril. O funcionamento deste sistema baseia-se na alocação de coordenadas fixas, pré-cadastradas no software e plotadas no Google Satélite, Figura 38, que notificará ao usuário a posição espacial do veículo de transporte à medida que se aproxima ou se distancia destes pontos. O sistema utiliza os dados recebidos por telemetria para analisar o andamento das operações e detectar comportamentos inadequados e mudanças de percurso, notificando ao usuário:

- Início e Fim das operações;
- Mudança de rota;
- Parada e Saída dos pontos chaves;
- Paradas ao longo do percurso por tempo acima do permitido;

Todas as notificações são guardadas na base de dados e podem ser acessadas posteriormente.

Figura 38 - Coordenadas fixas pré-cadastradas no software.



Fonte: Próprio autor.

## 7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os protótipos de transmissão e recepção dos dados da telemetria foram montados e adequados para uso. Todavia, em virtude do período de distanciamento social, provocado pela pandemia do coronavírus, não foram utilizados em um ambiente real de mina. Assim sendo, os resultados da pesquisa foram fundamentados por uma transmissão por telemetria das atividades simuladas de carregamento e transporte no espaço do estacionamento da UFC - *Campus* de Crateús. A simulação possibilitou a aferição do funcionamento do sistema idealizado por meio do sumário executivo e descritivo dos parâmetros estudados no trabalho, tais como: histórico de abastecimentos, consumo e custos com combustíveis utilizados pelos equipamentos de carregamento e transporte; avaliação da disponibilidade e monitoramento georreferenciado da posição espacial dos equipamentos; eficiência na transmissão de dados por telemetria e o sistema de notificações das operações de carregamento e transporte.

### 7.1 Dados de abastecimento, consumo e custos com combustíveis dos equipamentos de transporte

As informações de abastecimento previamente inseridas pelo usuário durante a simulação, são mostradas na Figura 39. Isto posto, verifica-se na Figura 39, a tabulação dos dados inseridos, como a data e a hora do abastecimento; o nome do motorista responsável pelo equipamento; a identificação do veículo; o registro do hodômetro total; e o tipo, a quantidade e os custos associados ao abastecimento de combustível no veículo.

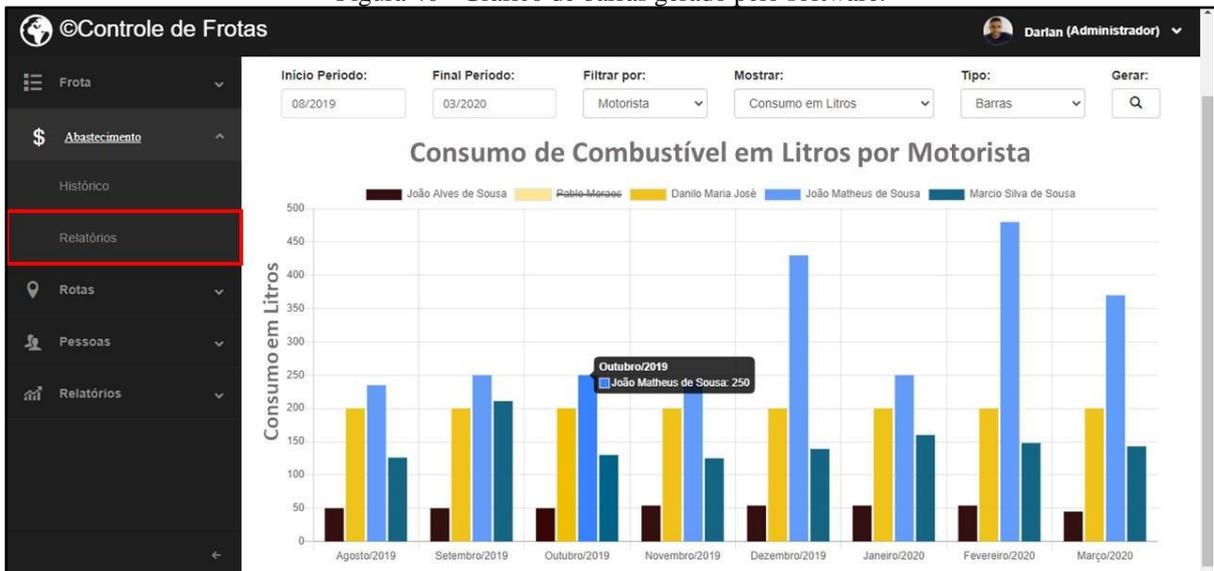
Figura 39 - Histórico de abastecimentos.

Data - Hora	Motorista	Veículo	Odômetro	Combustível	Valor p/ litro	Quantidade	Valor total
28/04/2020 - 09:00:00	Marcio Silva de Sousa	Caterpillar - 797F - 32	15000Km	Óleo diesel	R\$4.00	100 Litros	R\$400.00
26/04/2020 - 12:00:00	João Matheus de Sousa	Iveco - TRE39H - OSB4262	15000Km	Álcool	R\$4.50	50 Litros	R\$225.00
26/04/2020 - 12:00:00	Daniilo Maria José	Caterpillar - 797F - 32	13000Km	Óleo diesel	R\$4.00	180 Litros	R\$720.00
26/04/2020 - 12:00:00	Marcio Silva de Sousa	Mercedes-Benz - 4521 - RDF4254	20000Km	Álcool	R\$4.50	70 Litros	R\$315.00
26/04/2020 - 12:00:00	João Alves de Sousa	Caterpillar - 797F - 12	15000Km	Óleo diesel	R\$4.00	220 Litros	R\$880.00
26/04/2020 - 12:00:00	Pablo Moraes	Mercedes-Benz - 3432 - YSD2351	18000Km	Álcool	R\$4.50	55 Litros	R\$247.50
25/04/2020 - 12:00:00	João Matheus de Sousa	Iveco - TRE39H - OSB4262	15000Km	Gasolina	R\$4.80	60 Litros	R\$288.00
25/04/2020 - 12:00:00	Daniilo Maria José	Mercedes-Benz - 3432 - YSD2351	12000Km	Gasolina	R\$4.80	50 Litros	R\$240.00
25/04/2020 - 12:00:00	João Alves de Sousa	Mercedes-Benz - 4521 - RDF4254	13000Km	Gasolina	R\$4.80	35 Litros	R\$168.00
25/04/2020 - 12:00:00	Marcio Silva de Sousa	Caterpillar - 797F - 12	19000Km	Óleo diesel	R\$4.00	200 Litros	R\$800.00

Fonte: Próprio autor.

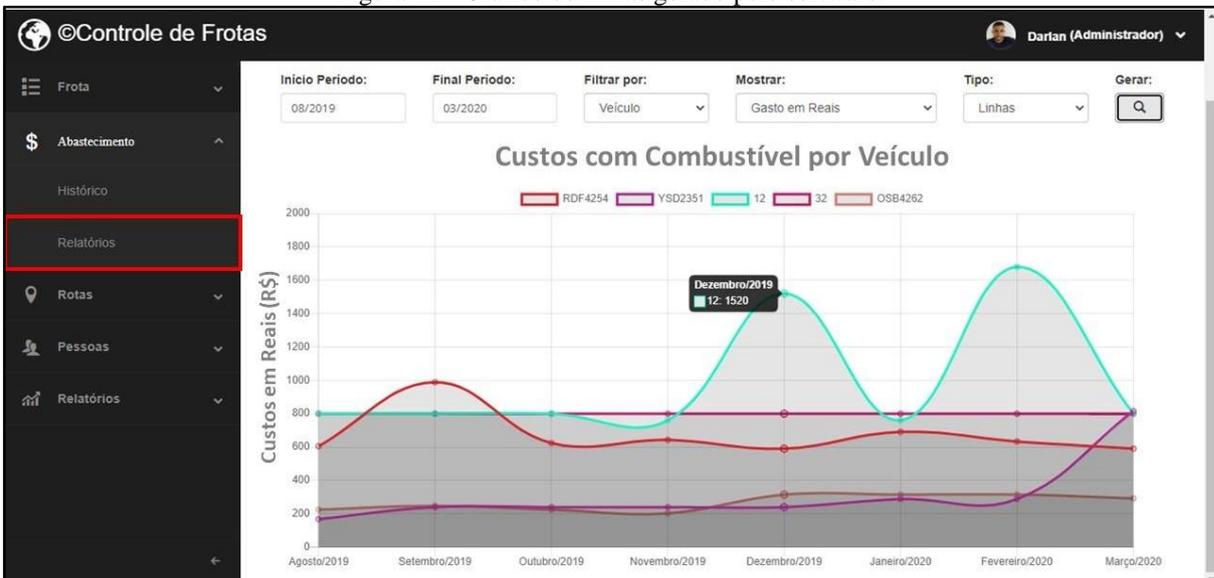
As Figuras 40 e 41 mostram a compilação dos dados de abastecimentos por meio de gráficos de diferentes perfis definidos pelo usuário. A escolha das informações descritas nos gráficos pode ser categorizada em função dos dados mostrados na Figura 39, em que o usuário pode definir o consumo ou custos de combustíveis por veículos ou motoristas no decorrer do tempo.

Figura 40 - Gráfico de barras gerado pelo software.



Fonte: Próprio autor.

Figura 41 - Gráfico de linhas gerado pelo software.



Fonte: Próprio autor.

## 7.2 Sistemas de monitoramento e notificações

O monitoramento da simulação apresentado na Figura 42 mostra ao usuário a posição dos veículos em operação no Google Satélite. Além disso, nota-se na Figura 42, as marcações de coordenadas fixas para a frente de carregamento de minério/estéril, para o local de basculamento do minério no britador primário e para a área de despejo de material estéril ou “bota fora”. À medida que os veículos de transporte cadastrados se deslocam entre os pontos fixos, o sistema de notificações apresenta ao usuário, em tempo real, as informações das rotas percorridas, Figura 43.

Figura 42 - Monitoramento em tempo real das operações.



Fonte: Próprio autor.

Figura 43 - Painel de notificações durante as operações monitoradas.

Painel de Notificações	
05/04/2020 18:26:00	- Veículo Caterpillar - 797F - 12 em DESLOCAMENTO saindo do(a) Início de Operação
05/04/2020 18:26:00	- Veículo Iveco - TRE39H - OSB4262 em DESLOCAMENTO saindo do(a) Início de Operação
05/04/2020 18:26:12	- Veículo Caterpillar - 797F - 12 no(a) ESTACIONAMENTO vindo do(a) Início de Operação
05/04/2020 18:26:31	- Veículo Caterpillar - 797F - 32 no(a) FRENTE DE LAVRA (CARREGAMENTO) vindo do(a) Início de Operação
05/04/2020 18:26:37	- Veículo Caterpillar - 797F - 32 em DESLOCAMENTO saindo do(a) FRENTE DE LAVRA (CARREGAMENTO)
05/04/2020 18:27:49	- Veículo Caterpillar - 797F - 32 no(a) BRITAGEM (BASCULAMENTO) vindo do(a) FRENTE DE LAVRA (CARREGAMENTO)
05/04/2020 18:27:53	- Veículo Caterpillar - 797F - 32 em DESLOCAMENTO saindo do(a) BRITAGEM (BASCULAMENTO)
05/04/2020 18:27:53	- Veículo Caterpillar - 797F - 12 em DESLOCAMENTO saindo do(a) ESTACIONAMENTO
05/04/2020 18:28:05	- Veículo Caterpillar - 797F - 12 no(a) ESTACIONAMENTO vindo do(a) ESTACIONAMENTO
05/04/2020 18:28:23	- Veículo Caterpillar - 797F - 32 no(a) FRENTE DE LAVRA (CARREGAMENTO) vindo do(a) BRITAGEM (BASCULAMENTO)
05/04/2020 18:28:29	- Veículo Caterpillar - 797F - 32 em DESLOCAMENTO saindo do(a) FRENTE DE LAVRA (CARREGAMENTO)

Fonte: Próprio autor.

Uma vez que as operações são realizadas, os dados são armazenados no histórico de movimentações dos veículos, conforme mostrado no tópico seguinte.

### 7.3 Histórico das operações

Os resultados da simulação permitiram a criação de um histórico detalhado das rotas percorridas pelos veículos de transporte. A Figura 44 mostra o histórico simulado das movimentações e paradas do caminhão Caterpillar 797F-12. Verifica-se que as linhas de cor verde representam o instante em que o veículo se encontrava em movimento e as linhas de cor vermelha referem-se às paradas realizadas durante a operação. Além disso, o histórico da Figura 44 apresenta os pontos de partida e de destino dos veículos, o horário de saída e de chegada, a distância percorrida, o tempo de deslocamento e a velocidade média durante o percurso. Na coluna gerenciar, o botão com ícone de estrada compilou as coordenadas do percurso entre o britador e a frente de lavra no Google Satélite, Figura 45. Observa-se na Figura 45 que os marcadores na cor verde representam os pontos coletados pelo protótipo de transmissão. Cada ponto armazenou informações da hora de coleta e a velocidade de percurso do veículo.

Figura 44 - Histórico de movimentações e paradas da operação.

©Controle de Frotas Darlan (Administrador)

### Histórico de Movimentações e Paradas

Motorista: João Matheus de Sousa     
 Veículo: Caterpillar - 797F - 12     
 Início Operação: 03/05/2020 - 14:40:40     
 Fim Operação: 03/05/2020 - 18:24:34

Hora Saída	Local Saída	Hora Chegada	Local Chegada	Distância	Tempo	Velocidade Média	Gerenciar
14:42:30	ESTACIONAMENTO	14:43:04	BRITAGEM (BASCULAMENTO)	97.90 Metros	0.56 Minutos	10.41 Km/h	A
14:43:04	BRITAGEM (BASCULAMENTO)	14:45:14	BRITAGEM (BASCULAMENTO)	0.00 Metros	2.17 Minutos	0.00 Km/h	A
14:45:14	BRITAGEM (BASCULAMENTO)	14:47:01	PARADO ao longo do percurso	519.80 Metros	1.78 Minutos	17.50 Km/h	A
14:47:01	PARADO ao longo do percurso	14:48:04	PARADO ao longo do percurso	0.00 Metros	1.05 Minutos	0.00 Km/h	A
14:48:04	PARADO ao longo do percurso	14:48:23	FRENTE DE LAVRA (CARREGAMENTO)	70.40 Metros	0.32 Minutos	13.28 Km/h	A
14:48:23	FRENTE DE LAVRA (CARREGAMENTO)	14:49:23	FRENTE DE LAVRA (CARREGAMENTO)	0.00 Metros	1.00 Minutos	0.00 Km/h	A
14:49:23	FRENTE DE LAVRA (CARREGAMENTO)	14:51:08	BRITAGEM (BASCULAMENTO)	580.10 Metros	1.75 Minutos	19.87 Km/h	A

Fonte: Próprio autor.

Figura 45 - Registro do deslocamento de saída do caminhão Caterpillar 797F-12 do Britador com destino ao carregamento na frente de lavra.



Fonte: Próprio autor.

## 8 CONCLUSÕES

Os protótipos idealizados para transmissão e recepção dos dados por telemetria dos equipamentos de transporte em minas a céu aberto foram devidamente montados e adequados para uso. Entretanto, devido ao período de distanciamento social, causado pela pandemia do Coronavírus, não foram utilizados em um ambiente de mina real.

A simulação das operações de carregamento e transporte realizada no campus da UFC de Crateús possibilitou o dimensionamento das informações de abastecimentos, de consumo e dos custos relacionados ao uso de combustíveis nos equipamentos de transporte. Além do mais, a simulação permitiu realizar o monitoramento das rotas em tempo real por meio do Google Satélite, de forma síncrona com o sistema de notificações, que mostrou o momento em que uma determinada rota foi realizada durante as operações de transporte no ambiente de mina simulado. Os dados simulados foram armazenados no histórico de operações que identificou as movimentações e paradas do veículo e, assim, permitiu a compilação das informações do percurso no Google Satélite.

Diante disso, os protótipos e os sistemas idealizados mostraram-se eficientes para o monitoramento de veículos em minas a céu aberto, tornando-os funcionais e acessíveis para uso em empreendimentos mineiros de pequeno e médio porte.

## REFERÊNCIAS

- ALARIE, S., GAMACHE, M. **Overview of Solution Strategies Used in Truck Dispatching Systems for Open Pit Mines**. International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment, v. 16, p. 59-76, 2002.
- ASSIS, P. D. K. B. de. **Micro controlador**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Presidente Antônio Carlos. Barbacema. 2004.
- CASTRO, R.S; PARRAS, M. M. **Manual de Ferramentas de Perfuração**. Revista Secoroc, Rio de Janeiro, 2007.
- Caterpillar**. Disponível em: <[https://www.cat.com/pt\\_BR/products/new/equipment/off-highway-trucks.html](https://www.cat.com/pt_BR/products/new/equipment/off-highway-trucks.html)> Acesso em 21 de maio de 2020.
- DIRECTINDUSTRY**. Disponível em: <<https://www.directindustry.com/pt/>> Acesso em 28 de maio de 2020.
- Da bússola ao GPS, entenda como funciona a navegação na era digital**. Globo,2011. Disponível em: <<http://redeglobo.globo.com/globociencia/noticia/2011/10/da-bussola-ao-gps-entenda-como-funciona-navegacao-na-era-digital.html>> Acesso em 22 de jun. de 2020.
- GOGONI, R. **O que é GPS**. Tecnoblog, 2019. Disponível em: <<https://tecnoblog.net/312677/o-que-e-gps/>> Acesso em 22 de jun. de 2020.
- HARTMAN , H. L; MUTMANSKY, J. M. **Introductory Mining Engineering**. John Wiley & Sons, 2ª Ed. 2002.
- HERNANDES, P. **Manutenção Preventiva x Manutenção Preditiva: Saiba a Diferença**. AlsGlobal, 2018. Disponível em: < <https://www.alsglobal.com/%2Fpt-br%2Fnews%2Fartigos%2F2018%2F08%2Fmanuteno-preventiva-x-manuteno-preditiva-saiba-a-diferena> > Acesso em 22 de jun. de 2020.
- JAWORSKI. T. **Manual de Equipamentos para Escavação – Compactação e Transporte**. Revisão e digitalização por Prof. Camilo Borges Neto, Ms.C.Eng. Civil, 1997.
- JIMENO, E. L.; JIMENO, C. L.; LLERA, J. M. P.; URBINA, F.P. O. **Manual de Perforación y Voladura de Rocas**. Série Geotecnia, Instituto Geologico y Minero de España. Madrid, 1987.
- JOHN DEERE**. Disponível em: <<https://www.deere.com.br/pt/>> Acesso em 12 de jun. de 2020.
- JUNIOR, D. V. **Transmissão de dados via telemetria: uma opção de comunicação remota**. Viva o Linux, 2004. Disponível em:<<https://www.vivaolinux.com.br/artigo/Transmissao-de-dados-via-telemetria-uma-opcao-de-comunicacao-remota>> Acesso em 22 de jun. de 2020.
- Kerschbaumer, R. Microcontroladores**. Apostila, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Catarinense. Luzerna. Santa Catarina. 2018

KOLONJA, B., KALASKY, D. R. e MUTMANSKY, J. M. **Optimization of dispatching criteria for open pit truck haulage system design using multiple comparisons with the best and common random numbers.** Proceedings of the 1993 Winter Simulation Conference. 393-401. 1993.

**KOMATSU.** Disponível em: <<https://www.komatsu.com.br/>> Acesso em 12 de jun. de 2020.

**Lilly M,** 2007. Wikimedia. Disponível em: <<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3009484>>. Acesso em 19 de out. de 2020.

LIZOTTE, Y., BONA TES, E. and LECLERC, A. **Design and implementation of a semi-automated truck! Shovel dispatching system.** APCOM 87. Proceedings of the Twentieth International Symposium on the Application of Computers and Mathematics in the Mineral Industries. Volume I: Mining. Johannesburg, SA IMM, 1987. pp. 377 - 387.

LOPES, J. R. **Viabilização técnica e econômica de lavra contínua de minério de ferro com o uso de sistema de britagem móvel “in pit” auto-propelido.** Ouro Preto: Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral. 2010. 105p.

MACHADO, J. **O que é GPS.** Tecmundo, 2012. Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/conexao/215-o-que-e-gps-.htm>> Acesso em 22 de junho de 2020.

MENDES, M. L. **CURSO DE DESMONTE DE ROCHAS POR EXPLOSIVOS - FORMAÇÃO DE BLASTER.** Disponível em: <[https://www.academia.edu/10183750/CURSO\\_DE\\_DESMONTE\\_DE\\_ROCHAS\\_POR\\_EXPLOSIVOS\\_-FORMA%C3%87%C3%83%C2%82%80\\_DE\\_B\\_L\\_A\\_S\\_T\\_E\\_R\\_Instrutor\\_Marcelo\\_Lopes\\_Mendes\\_-\\_Engenheiro\\_de\\_Minas\\_CREA-MG\\_73.235\\_D](https://www.academia.edu/10183750/CURSO_DE_DESMONTE_DE_ROCHAS_POR_EXPLOSIVOS_-FORMA%C3%87%C3%83%C2%82%80_DE_B_L_A_S_T_E_R_Instrutor_Marcelo_Lopes_Mendes_-_Engenheiro_de_Minas_CREA-MG_73.235_D)> Acesso em 26 de nov. de 2015.

NEVES, C. et al. **Estudo das falhas nos caminhões fora de estrada para mineração.** Instituto De Engenharia E Tecnologia – IET. Centro Universitário de Belo Horizonte, Belo Horizonte, MG. 2018.

PENIDO, E. C. C; TRINDADE R. S. **Microcontroladores.** Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais. Ouro Preto. MG. 2013.

RODRIGUES, L. F. **Análise comparativa de metodologias utilizadas no despacho de caminhões em minas a céu aberto.** 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2006.

**ROLLS-ROYCE POWER SYSTEMS AG,** 2016. Disponível em: <<https://www.flickr.com/photos/rpowersystems/29343820513/in/photolist-LH1KvT-MBkwrj-MwZN26-LGUdQC-MEmmNa-Muh6Mo-LGY3xz-Muh6fw-MwZM9z-MEmkFv-MwLeSx-MvWb4M-MDhnPT-MavEeJ-LE4j4J-MyqYyh-LE4iYU-Mu8v9k-MavCYh-MyqX1C-MyqX55-MyqWYd-MyqWNY-MyqWTJ-MBu6Mv-Mu8uyH-MyjUi5-MyjUh3-MrhpD3-A7zQC2-D99BHA-zF3tHY-uaR9v6-scGZJn-rqcBCh-ooHWeJ-nav7rU-nczHGw->>

nav72k-nav6Gc-ffwBPC-ffwBnf-ffwB3j-ffwAQL-ffwAub-ffhmpK-ffhmnc-ffhmbe-ffhm7Z-ffhkXe>. Acesso em 19 de out. de 2020.

Santiago & Cintra, 2017. **Quais os tipos de receptores?**. Disponível em: <<https://www.santiagoecintra.com.br/blog/geo-tecnologias/quais-os-tipos-de-receptoresy>>. Acesso em: 22 de jun. de 2020.

SICHONANY, O. R. De A. O. **Sistema de apoio à decisão para utilização no agronegócio (SADA): Telemetria e tratamento de dados de desempenho de máquina de colheita**. Santa Maria: UFSM, 2011. Disponível em: <<http://repositorio.ufsm.br/handle/1/3588>>. Acesso em: 22 de jun. de 2020.

SILVA, P. R. V. **Pá-Carregadeira**. LinkedIn, 2017. Disponível em: <<https://pt.linkedin.com/pulse/pá-carregadeira-paulo-rogerio-veiga-silva>> Acesso em 24 de jun. de 2020.

SILVA, V. C. **Carregamento e transporte de rochas**. Apostilha, Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. 2011.

SILVA, V. C. **CURSO DE OPERAÇÕES MINEIRAS**. Apostilha, UFOP. Ouro Preto/MG, 2009.

SUBTIL, Robert F.; SILVA, Diego M.; ALVES, Julio Cesar. A practical approach to truck dispatch for open pit mines. In: **35Th APCOM symposium**. 2011. p. 24-30.

TANENBAUM, A. S. **Redes de computadores**. 4. Ed. Rio de Janeiro: Campus, Elsevier, 2003. 945 p. Tradução de Vandenberg D. de Souza.

THOMSEN, A. **O que é Arduino?** Filipeflop, 2014. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/o-que-e-arduino/>> Acesso em 22 de jun. de 2020.

**TRANSPORTA BRASIL**. Disponível em: <<https://www.transportabrasil.com.br/2012/10/conheca-o-maior-caminhao-do-mundo/>> Acesso em 21 de maio de 2020.