



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
UNIDADE ARAXÁ**

**BRENO HELENO FERREIRA SILVA**

**CONSUMO, DESPERDÍCIO E PARÂMETROS OPERACIONAIS  
DAS ATIVIDADES DOS CAMINHÕES PIPA APLICADOS À  
MINERAÇÃO**

**ARAXÁ/MG**

**2018**

**BRENO HELENO FERREIRA SILVA**

**CONSUMO, DESPERDÍCIO E PARÂMETROS OPERACIONAIS  
DAS ATIVIDADES DOS CAMINHÕES PIPA APLICADOS À  
MINERAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Minas, do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Minas.

Orientador: Prof. Me. Guilherme Alzamora Mendonça

**ARAXÁ/MG**

**2018**

## FOLHA DE APROVAÇÃO

BRENO HELENO FERREIRA SILVA

### CONSUMO, DESPERDÍCIO E PARÂMETROS OPERACIONAIS DAS ATIVIDADES DOS CAMINHÕES PIPA APLICADOS À MINERAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Minas do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Minas.

Araxá, 30 de novembro de 2018.



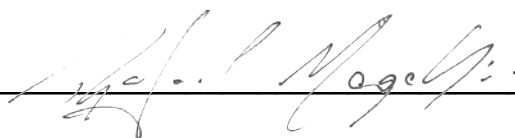
---

**Presidente e Orientador: Prof. Guilherme Alzamora Mendonça**  
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG –  
Unidade Araxá



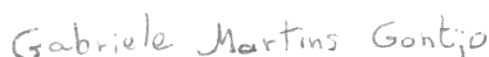
---

**Membro Titular: Prof.ª Dr.ª Delma Pereira Caixeta**  
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG –  
Unidade Araxá



---

**Membro Titular: Eng. Rafael Alves Magalhães**  
Companhia Mineradora do Pirocloro de Araxá - COMIPA



---

**Membro Titular: Eng.ª Gabriele Martins Gontijo**  
Dibrita Britadora Divinópolis LTDA

## **DEDICATÓRIA**

**DEDICO ESTE TRABALHO**

*A todos que acreditaram em mim, em especial à minha mãe Kátia e minha companheira*

*Ellen. Essa vitória não é só minha! Ela é nossa!!*

## AGRADECIMENTOS

Por mais clichê que seja, gostaria de agradecer primeiramente à Deus, não só por estar concluindo algo tão importante para mim, mas por tudo que ocorreu em minha vida até a chegada deste momento!

À minha mãe Kátia, meus irmãos Thiago e Maxwell, e minha companheira Ellen por estarem sempre me incentivando e apoiando em todas as minhas decisões.

Aos meus irmãos da “República La Calcita” Rodrigo Germano, Sócrates Melo, Heitor Pereira e Júlio César por todas as recreações e descontrações mediante às turbulências acadêmicas.

Aos meus amigos do “Gueto da Minas” Marcus Vinícius dos Santos, Amanda Carneiro, Amélia Correa, Vanessa Britto e Francisco Diogo por estarem à disposição em todos os momentos que precisei de algum auxílio.

Às não só estagiárias, mas amigas Carla Cristina e Laura Soares Neves por todas as brincadeiras, além dos mais variados apoios em tudo que lhes era possível.

Aos verdadeiros pais que eu tive dentro da empresa Alexandre de Melo, Mozar Reis, Norivaldo dos Reis, Ailton Antunes, Norton Grey, Paulo Luciano, Cristiano Borges, Antônio Ailton Félix, Eugênio Gomes e Maurício da Silva Jorge. Em especial ao Cristiano Borges, que entrou na brincadeira de que era meu pai e me auxiliou na maioria das decisões que precisei tomar dentro da empresa.

À COMIPA como um todo, com ressalve aos grandes companheiros que fiz Gustavo Valeriano, Emerson Machado, André Toscano, Sinésio José, Daniel de Melo, Eduardo Beraldo, Eduardo da Silva, Denis Carlos e Daniel Rocha. Em especial ao Denis Carlos e ao Daniel Rocha, por conviverem comigo todos os dias do meu estágio, disponibilizando ajuda e atenção cem por cento do tempo.

Ao meu orientador do projeto Guilherme Alzamora Mendonça e ao meu padrinho dentro da empresa Rafael Alves Magalhães, por se mostrarem presentes em todos os momentos de execução deste trabalho e acreditarem que eu conseguiria. Sem vocês, este trabalho não aconteceria!

## RESUMO

Essencial não só para o insumo humano, a água tem se mostrado, cada vez mais, um recurso potencial fundamental para as mais variadas áreas do setor industrial, inclusive para a mineração. Dessa forma, é imprescindível que se tenha controle do consumo de água do empreendimento, acompanhado da tentativa de eliminação ou minimização de qualquer tipo de desperdício que possa vir a acontecer durante a execução das atividades. Neste trabalho, buscou-se não só mensurar o consumo de água da atividade de operação dos caminhões pipa que atendem uma mina de nióbio no Brasil, mas também verificar alguns fatores que podem influenciar na *performance* da operação, fatores estes como tipo de irrigação do caminhão e tamanho das vias. Os dados referentes aos equipamentos da companhia foram obtidos através do apontamento operacional das atividades no sistema de despacho, enquanto os dados das prestadoras de serviço terceirizadas adquiridos via levantamento de campo, de forma que um levantamento estatístico simples foi aplicado ao conjunto de dados visando garantir a representatividade da atividade. Para a avaliação dos parâmetros que influenciam na atividade, foram mapeados pontos estratégicos de atuação dos caminhões pipa, buscando verificar se o tamanho das vias estava conforme sugere a norma, além de ser proposto também uma previsibilidade de irrigação, visando obter um maior controle sobre a suspensão de particulado na mina.

**Palavras chave:** Consumo. Água. Operação. Irrigação. Caminhão pipa.

## **ABSTRACT**

Essential not only to human inputs, water has increasingly proved to be a key potential resource for the most varied areas of the industrial sector, including for mining. In this way, it is indispensable that control of the water consumption of the enterprise, accompanied by the attempt to eliminate or minimize any kind of waste that may occur during the execution of the activities. In this work, the aim was not only to measure the water consumption of the operation of the water trucks that serve a mine of niobium in Brazil, but also to verify some factors that may influence the performance of the operation, factors such as type of irrigation of the truck and size of the tracks. The data referring to the company's equipment were obtained through the operational appointment of the activities in the dispatch system, while the data of outsourced service providers acquired through field survey, so that a simple statistical survey was applied to the data set aiming to guarantee the activity representativeness. For the evaluation of the parameters that influence the activity, strategic points of action of the water trucks were mapped, trying to verify if the size of the roads was as suggested by the norm, besides being also proposed a predictability of irrigation, aiming to obtain a greater control over the suspension of particulate matter in the mine.

**Keywords:** Consumption. Water. Operation. Irrigation. Water truck.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2-1- Etapas minerárias de mina à céu aberto. ....	14
Figura 2-2 - Ciclo da água. ....	16
Figura 2-3 - Localização do município de Araxá. ....	18
Figura 2-4 - Detalhe da área onde acontece o bombeamento. ....	19
Figura 2-5 - Um dos caminhões pipa da frota em operação. ....	22
Figura 2-6 - Abastecimento de água dos caminhões pipa estudados. ....	23
Figura 2-7 - Aspersão das vias através da utilização dos aspersores. ....	24
Figura 2-8 - Aspersão das vias por queda livre. ....	24
Figura 2-9 - Aspersão através de aspersores frontais e laterais. ....	25
Figura 3-1 - Fluxograma simplificado do ciclo operacional dos caminhões pipa da companhia. ....	26
Figura 3-2 - Questionário realizado aos motoristas dos caminhões pipa da companhia. ....	27
Figura 3-3 - Metodologia adotada para obtenção de dados no abastecimento. ....	28
Figura 3-4 - Especificações dos caminhões basculantes que transitam na mina. ....	29
Figura 3-5 - Mapa da mina o qual seriam levantados os trechos. ....	30
Figura 3-6 - Mapa da mina com os trechos levantados ....	31
Figura 3-7 - Metodologia de atendimento de praça pré-definido com a operação. ....	32
Figura 4-1 - Fluxograma da operação dos caminhões pipa que atendem à mina. ....	33
Figura 4-2 - Resumo estatístico para a atividade "Abastecimento de Água" do "Operador A". ....	34
Figura 4-3 - Resumo estatístico para a atividade "Abastecimento de Água" do "Operador B". ....	35
Figura 4-4 - Resumo estatístico para a atividade "Abastecimento de Água" do "Operador C". ....	35
Figura 4-5 - Resumo estatístico para a atividade "Deslocamento " do "Operador A". ....	37
Figura 4-6 - Resumo estatístico para a atividade "Deslocamento " do "Operador B". ....	38
Figura 4-7 - Resumo estatístico para a atividade "Deslocamento " do "Operador C". ....	38
Figura 4-8 - Resumo estatístico para a atividade "Irrigando Vias " do "Operador A". ....	40
Figura 4-9 - Resumo estatístico para a atividade "Irrigando Vias " do "Operador B". ....	40
Figura 4-10 - Resumo estatístico para a atividade "Irrigando Vias " do "Operador C". ....	41
Figura 4-11 - Gráficos de consumo x desperdício diário de água no abastecimento da mina. ....	46



Figura 4-12 - Exemplos práticos do quanto se desperdiça no abastecimento de água dos caminhões pipa que atendem à mina por dia.....	47
Figura 4-13 - Gráfico de barras do tempo de ciclo x capacidades dos caminhões pipa.....	48
Figura 4-14 - Gráfico de rosca referente aos Relatos Operacionais da Segurança relacionados à má operação dos caminhões pipa. ....	48
Figura 4-15 - Largura das vias levantadas via CAD. ....	49
Figura 4-16 - Gráfico referente a eficácia de atendimento das vias estabelecidas por parte do caminhão pipa da companhia. ....	51

## LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 4-1 - Tempos de ciclo do caminhão pipa da companhia (30 m <sup>3</sup> ). .....	42
Tabela 4-2 - Tempos de ciclo do caminhão pipa terceiro (25 m <sup>3</sup> ).....	43
Tabela 4-3 - Tempos de ciclo do caminhão pipa terceiro (22 m <sup>3</sup> ).....	43
Tabela 4-4 - Tabela dos parâmetros utilizados nos cálculos para a mensuração do consumo e do desperdício de água no abastecimento de água dos caminhões pipa.....	45
Tabela 4-5 - Dados referentes ao levantamento realizado sobre as vias. ....	50
Tabela 4-6 - Tabela referente aos dados coletados durante o levantamento. ....	52

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABASTEC.	Abastecimento;
ALIM.	Alimentação;
CBMM	Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração;
CEFET	Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais;
Codemig	Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais;
COMIPA	Companhia de Mineração do Pirocloro de Araxá;
NR	Norma Regulamentadora;
OP.	Operador;
P.A. 2	Ponto de Alimentação 2;
PLAT.	Plataforma;
Sabesp	Companhia de Saneamento Básico de São Paulo.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>14</b>
2.1	Demanda de Água na Mineração.....	14
2.2	Captação de Água na Mina.....	16
2.3	Suspensão de Particulados.....	19
2.4	Operações dos Caminhões Pipa.....	21
2.4.1	Abastecimento de Água.....	22
2.4.2	Umectação das Vias.....	23
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>26</b>
3.1	Mapeamento das atividades e entrevistas .....	26
3.2	Levantamento de dados e análise estatística básica.....	27
3.3	Levantamento na etapa “Abastecimento de Água” .....	28
3.4	Verificação de eficácia no atendimento às vias.....	29
3.5	Proposta de previsão de irrigação.....	31
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>33</b>
4.1	Formulação da base de dados e interpretação estatística simples .....	33
4.1.1	Abastecimento de Água.....	34
4.1.2	Deslocamento .....	37
4.1.3	Irrigando vias.....	39
4.1.4	Dados referentes a frota terceirizada .....	42
4.2	Consumo e desperdício no abastecimento de água .....	44
4.3	Desempenho operacional companhia em relação aos terceiros.....	47
4.4	Atendimento das vias da mina.....	49
4.5	Teste piloto de previsibilidade de irrigação.....	52
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>54</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>56</b>
	<b>ANEXO 1 – DADOS REFERENTES AO LEVANTAMENTO REALIZADO NO</b>	
	<b>ABASTECIMENTO DE ÁGUA DOS CAMINHÕES PIPA.....</b>	<b>58</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A água se mostra um recurso mineral essencial para a existência da humanidade, de forma que além do insumo, é um item potencial e fundamental para diversas áreas do setor industrial, inclusive para a mineração. Sendo assim, torna-se imprescindível que a utilização deste recurso seja planejada e monitorada, de maneira a evitar qualquer tipo de desperdício em quaisquer que sejam as escalas.

O campo empírico da pesquisa é a Companhia Mineradora do Pirocloro de Araxá (COMIPA). A origem da empresa tem início em meados de 1950, quando o geólogo Djalma Guimarães identificou, no município de Araxá (cerca de 370 km da capital do estado, Belo Horizonte) a reserva mineral que, atualmente, ainda se apresenta como a maior reserva nióbio do mundo em atividade. Diante da descoberta desta jazida e o aumento de demanda internacional pelo mineral, foi criada, em 1955, a Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM), onde passados cinco anos, foram iniciadas as operações de lavra e de produção do metal, o que fez com que a jazida, que é de propriedade da Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (Codemig), fosse explorada pela CBMM por meio da COMIPA (a partir de 1972), empresa criada para gerenciar e realizar a operação das jazidas de nióbio pertencentes às duas companhias.

O presente trabalho tem como objetivo a mensuração do consumo e a redução do desperdício de água da companhia, voltados para operações auxiliares de mina. A base de dados constituiu de dados históricos da empresa, incorporados a um gerenciamento das atividades dos caminhões pipa que atuam na empresa, por meio de levantamentos sistemáticos em campo e monitoramento constante, o que contou com ajuda de membros de diversos setores para se desenvolver, como setor ambiental, operacional, financeiro e de infraestrutura.

Vale ressaltar que a finalidade deste estudo é, portanto, garantir à COMIPA uma base forte de dados relacionados ao consumo de água de todas as operações referentes aos caminhões pipa, de maneira que, alinhada ao consumo, sejam propostas práticas de excelência durante a execução das atividades, carreando consigo uma redução drástica de qualquer desperdício de água.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Demanda de Água na Mineração

A água tem se mostrado, ao longo dos anos, um recurso bastante estratégico na mineração devido à sua alta utilização em diversas operações e processos, de maneira a não se restringir somente à fase de exploração das jazidas, mas também no beneficiamento de minérios (ANA e IBRAM, 2006).

“Em primeiro lugar, deve-se ressaltar que o sucesso de uma operação de mineração depende, em grande parte, da resolução adequada de suas interações com a água. Não agir assim é uma atitude suicida” (ANA e IBRAM, 2006). Isto porque, de acordo com Brown (2013), a água se mostra um recurso necessário em quase todas as etapas minerárias a céu aberto, sendo elas a exploração, a exploração, o processamento e o fechamento de mina. Como exemplos, ele cita que o recurso é utilizado na perfuração, na supressão de poeira, na lavagem e processamento dos produtos vindos da mina e no restabelecimento da vegetação durante a reabilitação da mina, ou seja, presente em várias etapas do ciclo de vida de uma jazida, como pode ser visualizado na Figura 2.1:



Figura 2-1- Etapas minerárias de mina à céu aberto. Fonte: IBRAM,2013.

Na prática, o uso da água em processos minerais pode ser um artifício facilitador mediante a maneira como os minerais ou metais são recuperados do minério, seja pelo método via seco ou a úmido. Atualmente, as técnicas de processamento do minério via úmido são mais difundidas que a seco, por apresentarem maior eficiência na recuperação e produtividade, transporte facilitado de sólido entre os processos e a possibilidade da utilização das propriedades químicas dos minerais na realização das separações. As técnicas são basicamente flotação, lixiviação, separação gravítica e magnética e eletrólise (NORTHEY et al., 2016).

Nguyen, Ziemski e Vink (2014) complementam em seu estudo que os usos majoritários de água na maioria das minas são referentes às etapas de concentração do minério, etapas estas como moagem, flotação, concentração gravítica, separação em meio denso e processos hidrometalúrgicos.

Gunson et al. (2011) acrescentam em seu trabalho que também há a utilização de água em operações de peneiramento e lavagem com elevado consumo do recurso. Ainda segundo os autores, processos do beneficiamento como a flotação, método de separação bastante utilizado na mineração, pode requerer de 1,9 a 3,0 m<sup>3</sup> de água por tonelada de minério. Ainda segundo os autores, apesar do consumo elevado, parte desta água pode ser recuperada tanto no concentrado quanto no rejeito mineral, por meio de processos de espessamento e filtração, o que faz com que se reduza, consideravelmente, a necessidade de utilização de uma água nova.

Tendo em vista que a operação estudada utiliza do método de desmonte mecânico e não hidráulico, o consumo do recurso nas operações de mina não mostra opções de reutilização, isto porque que estas operações se fundamentam principalmente na supressão de particulado suspenso, de forma que o recurso fica exposto ao meio ambiente.

Hoje, a COMIPA apresenta oportunidades de melhoria no controle e monitoramento do consumo de água da empresa. As medidas adotadas neste trabalho podem contribuir para uma otimização do consumo do recurso.

Assim como na companhia, percebe-se uma dificuldade no que se refere à apresentação de estudos voltados para o consumo de água em operações auxiliares de mina na literatura, tendo grande parte do material disponível academicamente com foco no processamento mineral, de modo a estar sempre a buscar novas alternativas para a recirculação do recurso utilizado, diminuindo o consumo efetivo de água.

Outro ponto a se considerar refere-se à obtenção do recurso, que neste caso a empresa recebe esta água por meio de atividades de mina de terceiros, no qual a água vem através do

bombeamento da Mina F4, realizado na antiga Vale Fertilizantes, hoje Mosaic. Dessa forma, vê-se necessidade de mensuração do consumo e de uma gestão aplicável à redução, ou melhor distribuição, dessa água para que, quando cessado o fornecimento, a companhia não se encontre em situações desconfortáveis.

## 2.2 Captação de Água na Mina

Segundo Gunson et al. (2011), a captação da água para utilização no empreendimento minerário pode ter, principalmente, origem nas águas superficiais e subterrâneas. As águas superficiais são as águas provenientes de represas, lagos e rios; e dentre os sistemas de água subterrânea, os aquíferos são os de maior relevância, por permitirem que quantidades elevadas de água consigam se movimentar no interior da formação geológica em condições naturais (OLIVEIRA; LUZ, 2001). Através do ciclo hidrológico da Figura 2.2, é possível visualizar como essas águas, superficiais e subterrâneas, formam os “reservatórios” do recurso:



Figura 2-2 - Ciclo da água. Fonte: EVANS; PERLMAN, 2006.

Para fins de comparação, a utilização da água doce da subsuperfície apresenta vantagens em relação a superficial como: (CUSTODIO,2000)



1. Utilização de poços para o acesso ao invés da construção de locais para armazenamento ou sistemas de distribuição;
2. O fluxo de água subterrânea oscila menos mediante variações climáticas;
3. Maior dificuldade de contaminação física ou biológica.

E como desvantagens, apresenta:

1. Custos operacionais elevados;
2. Remoção de poluentes mais complexa, sendo às vezes impraticável;
3. Inexistência de uma estrutura legal e satisfatória para exploração de aquíferos, o que facilita a sua contaminação.

Após a captação, essa água classificada como água bruta por até então não ser utilizada com algum propósito específico, pode ser encaminhada para uma lagoa ou represa na superfície, dedicadas ao seu armazenamento, de forma que o balanço hídrico desse reservatório fica susceptível a fatores como o clima local e o uso de canais de desvio para capturar o escoamento regional (NORTHEY et al., 2016). O usuário, no caso a empresa mineradora como um todo, pode utilizar não só de água bruta, mas também de água reciclada e de água recirculada dos próprios processos. A recirculação do recurso acontece quando a água é repassada diretamente de um setor para outro sem com que aconteça transformação física alguma. Já a reciclagem sugere um tratamento prévio da água para que ela possa ser novamente utilizada, através de algum método como filtração ou clarificação (GUNSON et al., 2011). No caso da COMIPA, nenhuma das águas utilizadas nas operações de mina são oriundas de reciclagem ou recirculação.

Com muita frequência, diversas minas no mundo todo apresentam a necessidade da prática de drenagem por meio de poços de rebaixamento para conseguir acesso ao minério, cujas vazões e volumes dependem das características dos aquíferos afetados, das infiltrações causadas pelas precipitações e das contribuições das águas superficiais; sendo que, em alguns casos, é necessário o abandono da exploração, temporariamente ou de maneira definitiva. (ANA e IBRAM, 2006).

A prática de rebaixamento do nível d'água consiste na exploração da água subterrânea de um ou mais aquíferos, sendo realizada primeiramente uma perfuração mecanizada no terreno, seguida de implementação do revestimento com tubos que atendam os quesitos de estabilidade do furo, entrada de água e inserção de equipamentos de bombeamento (ABUD et al., 2013).

Apesar de bastante eficazes, a instalação dos poços tubulares em uma área de lavra é complexa, isto porque além do local de perfuração do poço para captação de água é necessária toda uma infraestrutura voltada para a rede elétrica e redes adutoras para esgotamento da água extraída. Além disso, há uma demanda significativa de serviços e planejamento de operação para evitar danos na estrutura dos poços de rebaixamento durante a execução da lavra (ABUD et al.,2013).

Para o caso deste estudo, a água provém da existência, no Oeste e no Leste da mina de nióbio, de duas cavas da antiga companhia Vale Fertilizantes, hoje Mosaic, que utilizam o rebaixamento do nível de água na mina para acesso ao minério de fosfato já há alguns anos (GOMES,2017), de maneira que o recurso é disponibilizado a COMIPA para utilização. Atualmente, o recurso é obtido através do bombeamento realizado na Mina do F4, localizada na região do Alto Paraíba, no município de Araxá, sudoeste de Minas Gerais, delimitada pelos meridianos  $46^{\circ}20'00''$  e  $47^{\circ}20'00''$  de longitude oeste, e os paralelos  $19^{\circ}25'00''$  e  $19^{\circ}50'00''$  de latitude sul. Através da Figura 2.3 é possível visualizar a localização do município de Araxá em relação a capital de Minas Gerais e na Figura 2.4 a localização da Mina F4 (ABUD et al.,2013).



Figura 2-3 - Localização do município de Araxá. Fonte: ABUD et al.,

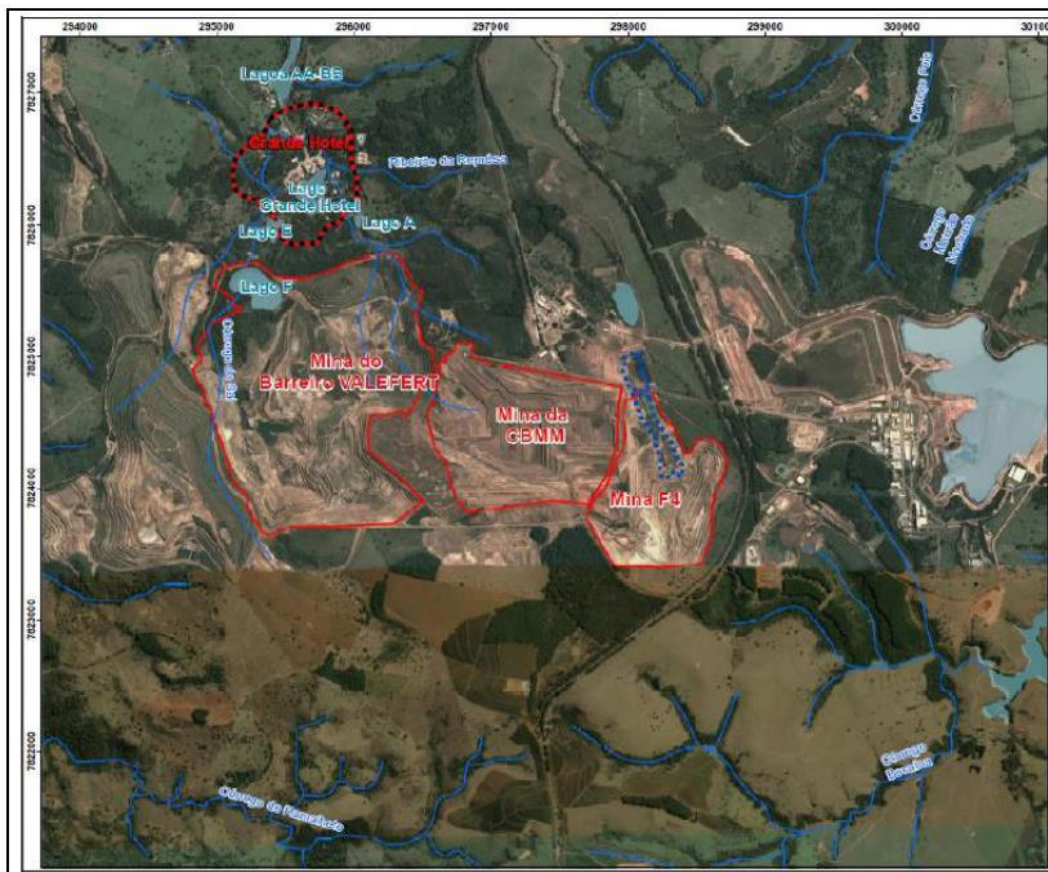


Figura 2-4 - Detalhe da área onde acontece o bombeamento. Fonte: ABUD et al.,2013.

### 2.3 Suspensão de Particulados

Na grande maioria das operações mineiras em superfície, o transporte tanto de minério quanto do estéril, é realizado por caminhões de grande porte em vias não pavimentadas ou pavimentadas com cascalho, dependendo da qualidade necessária para o material da via (THOMPSON; VISSER, 2007). Ainda segundo Thompson e Visser (2007), a quantidade de particulado que é emitido a partir de uma via não pavimentada é função de dois parâmetros básicos: (apud ARRB, 1996)

- 1- A erodibilidade do percurso que sofrerá o desgaste por equipamentos;
- 2- A erosividade das atividades exercidas no trecho.

Sendo assim, para maior controle da suspensão durante as operações, há a necessidade da alteração em algum desses fatores ou em ambos. Diversos fatores influenciam no potencial de uma atividade que gera poeira, sendo eles: (THOMPSON; VISSER, 2007)

- As ações mecânicas envolvidas na operação;
- A quantidade de energia transmitida ao material da via;

- A frequência (duração) e escala da atividade.

As ações mecânicas presentes na operação envolvem a redução de tamanho das partículas por meio do impacto gerado e da fricção, seguidos pela ejeção dessas partículas no ar. No caso das estradas na mina, acontece de algumas formas: (THOMPSON; VISSER, 2007)

- Ejetando partículas da superfície pela ação dos pneus do equipamento;
- Criando redemoinhos locais de alta velocidade mediante a turbulência gerada.

Já para uma estrada que apresenta superfície pavimentada, a quantidade de poeira gerada vai depender dos fatores: (THOMPSON; VISSER, 2007)

- A velocidade do vento na superfície da via. Segundo Addo e Sanders (1995), a velocidade do vento apresenta linearidade relacionada à quantidade de particulado suspenso (para veículos mais leves), assim como também está associada à forma aerodinâmica do veículo, fazendo com que veículos mais baixos com muitas rodas tenham uma tendência a provocar um aumento na poeira;
- O volume no tráfego ou número de veículos que utilizam a estrada;
- A distribuição granulométrica do curso pavimentado;
- Restrição de finos, fator esse relacionado à compactação e coesão da superfície da estrada;
- Clima, particularmente a umidade, o número de dias chuvosos e as médias diárias das taxas de evaporação.

Thompson et al. (1997) notaram em seus estudos combinações dos fatores acima, gerando problemas significativos com o controle de poeiras em vias não pavimentadas na África do Sul. Ainda segundo os autores, 74% dos acidentes nas minas a céu aberto da região são relacionados à operação de transporte, sendo que a geração de poeira foi identificada como um dos principais contribuintes para vários incidentes. Algumas dessas combinações seriam:

- Perda e degradação do material da via, causando a perda do material fino por meio da geração de poeira, e o material mais grosseiro gerando locais com alta probabilidade de derrapagem;
- Diminuição da segurança e aumento no potencial de acidentes para os operadores, devido à visão reduzida propiciada pela geração da poeira, além da redução da qualidade do ar local;
- Maior custo operacional dos equipamentos, devido à penetração de poeira no motor e em outros componentes, resultando em taxas elevadas de desgaste e manutenção mais frequente dos veículos.

Gunson et al. (2011) reforça em seus estudos que a supressão da suspensão sólida nos estoques de minério é fundamental para redução de inalação de poeira, aumento de visibilidade, diminuição na manutenção dos equipamentos e para redução do produto perdido em pó.

Segundo a Norma Regulamentadora do Ministério do Trabalho e Emprego NR 22.17.5, “As superfícies de máquinas, instalações e pisos dos locais de trânsito de pessoas e equipamentos, devem ser periodicamente umidificados ou limpos, de forma a impedir a dispersão de poeira no ambiente de trabalho.” Tendo isto em vista, a prática de supressão de poeira para a redução da suspensão do material não escavado é obtida através de diversas ações, sendo elas basicamente: (THOMPSON; VISSER, 2007)

- Preparação do material das vias, seja pela aplicação de um selo na superfície da estrada ou armando a superfície com camadas de material com melhor resistência;
- Uso de paliativos químicos em pó na estrada;
- Redução da velocidade dos veículos;
- Umectação regular das vias.

Além do ponto de vista operacional, essas medidas são necessárias para cumprimento da Norma Regulamentadora do Ministério do Trabalho e Emprego NR 22.17.2, que diz: “Quando ultrapassados os limites de tolerância à exposição a poeiras minerais, devem ser adotadas medidas técnicas e administrativas que, reduzam, eliminem ou neutralizem seus efeitos sobre a saúde dos trabalhadores e considerados os níveis de ação estabelecidos nesta norma.”

Uma das sugestões de solução para o maior controle de poeira é através da implementação de bocais de sprays de água que circundem a área de geração do particulado suspenso visando a umectação da área (GUNSON et al., 2011). No entanto, a prática da companhia para atingir este objetivo é a utilização de caminhões pipa.

## **2.4 Operações dos Caminhões Pipa**

A COMIPA atualmente utiliza do método de umectação regular das vias, com uma frota de 3 caminhões pipa, sendo 1 de 30 m<sup>3</sup> e dois de 15 m<sup>3</sup> de capacidade, além de 2 caminhões de uma empresa terceira com capacidade de 22 e 25 m<sup>3</sup>.

Vale ressaltar que este trabalho apresentou certa preocupação na melhor metodologia de execução das operações destes equipamentos de apoio, no entanto não foi objeto de estudo a busca por melhorar a metodologia de aspersão, sendo o foco principal o apontamento de alguns pontos de melhoria que a atividade pode apresentar, no que se refere à otimização do consumo de água, como um todo.

O caminhão pipa é um caminhão adaptado com um tanque acoplado de alta capacidade, como pode ser observado na Figura 2.5, e que possui um sistema de bombeamento de água do tanque para o meio ambiente através de aspersores e/ou orifícios específicos, cuja finalidade principal é evitar que haja a suspensão de particulado no decorrer das operações.



Figura 2-5 - Um dos caminhões pipa da frota em operação. Fonte: Autoria própria.

#### **2.4.1 Abastecimento de Água**

Os pontos de abastecimento de água (Figura 2.6) foram instalados em locais próximos à operação da mina para reduzir o tempo de deslocamento dos caminhões pipa, reduzindo assim perdas de tempo. Foi constatado que os pontos carecem de melhorias na sua estrutura de modo a reduzir o tempo de carregamento e esforços dos operadores na abertura e fechamento dos registros.





Figura 2-6 - Abastecimento de água dos caminhões pipa estudados. Fonte: Autoria própria.

#### **2.4.2 Umectação das Vias**

Há a necessidade de umectação de vias em diversos pontos distintos ao longo da mina. O caminhão pipa oferece diversas maneiras de realizar tal operação, da forma que a aspersão pode ser realizada seja pela frente, por trás ou pelas laterais do equipamento.

Uma das formas de umectação dos caminhões pipa, a qual se utiliza dos aspersores traseiros para realizar a umidificação, apresenta nomes populares como “rabo de pavão” devido ao aspecto semelhante quando a água é jogada ao solo. A Figura 2.7 demonstra como é a configuração de irrigação utilizando 2 aspersores abertos:



Figura 2-7 - Aspersão das vias através da utilização dos aspersores. Fonte: Autoria própria.

Por outro lado, a denominada popularmente como “aspersão por barra” é uma aspersão por meio de orifícios específicos abaixo do veículo, que faz com que a água caia em queda livre no solo, não havendo a necessidade de operação da bomba para que aconteça. A comutação entre 1 ou 2 aspersores e a aspersão por queda livre acontece conforme a escolha do operador do caminhão, sendo o mesmo responsável por analisar se a via está suficientemente úmida ou não. Para o caso da Figura 2.8, o caminhão pipa estava utilizando somente a aspersão por queda livre, ou a popularmente chamada, “por barra”:



Figura 2-8 - Aspersão das vias por queda livre. Fonte: Autoria própria



Historicamente, dentro da companhia, era recomendado que se evitasse o método de aspersão por queda livre, tendo em vista que este degrada mais a via em função da forma com que água cai no solo. No entanto, atualmente, a recomendação é fazer utilização da metodologia que melhor equilibre a questão de conseguir atender à frente de serviço e não danificar a via consideravelmente.

Os aspersores frontais e laterais são utilizados para lavagem do pátio de homogeneização e para algumas limpezas de lugares onde há a incidência de poeira, mas em menor escala. A utilização destes aspersores pode ser observada na Figura 2.9:



Figura 2-9 - Aspersão através de aspersores frontais e laterais. Fonte: Autoria própria.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Mapeamento das atividades e entrevistas

Inicialmente, buscou-se o conhecimento pleno de como funciona o ciclo operacional da frota de caminhões pipa dedicado à mina. Para tanto, houve o acompanhamento junto a cada motorista de um caminhão previamente selecionado, para observar a rotina e as boas e más práticas de cada um. As análises aconteceram no período de 08:00 às 15:00 horas, com envolvimento dos três motoristas que alternam turnos de um determinado caminhão pipa da empresa durante aproximadamente um mês. A partir dessa análise, estabeleceu-se fluxograma simplificado do ciclo operacional dos caminhões pipa da COMIPA (Figura 3.1).

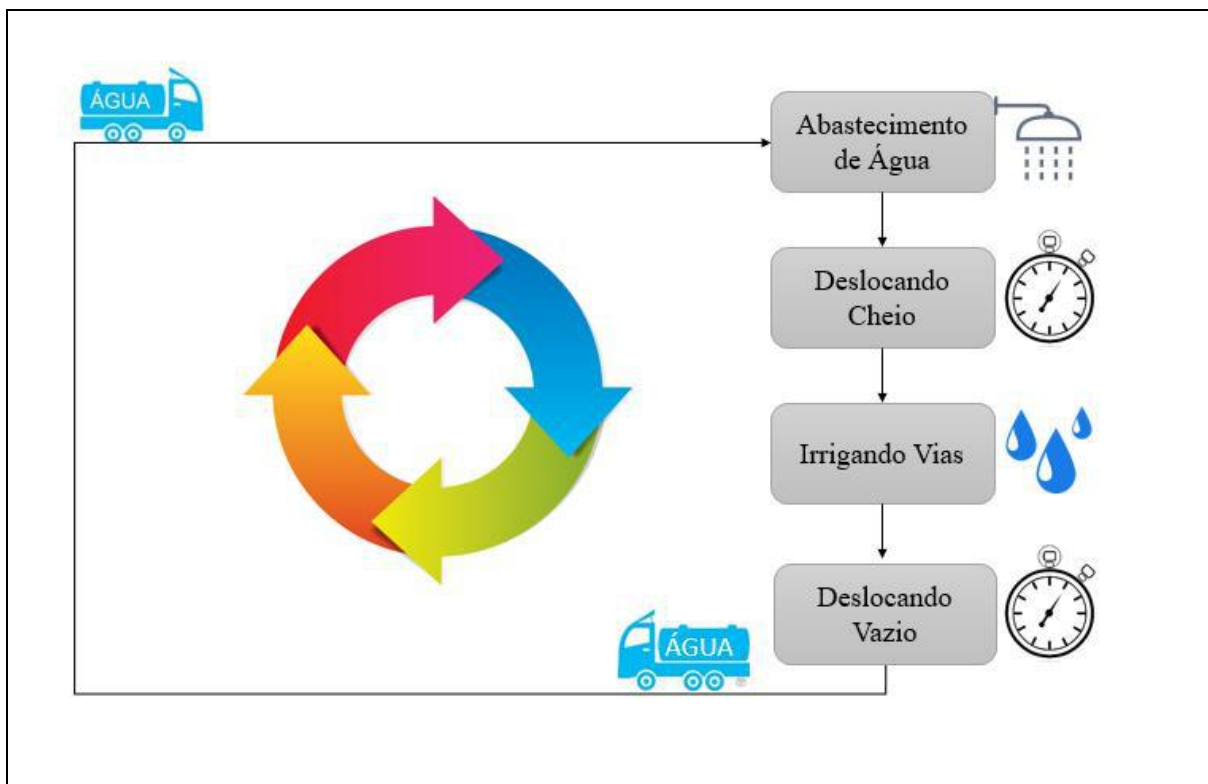


Figura 3-1 - Fluxograma simplificado do ciclo operacional dos caminhões pipa da companhia. Fonte: Autoria própria.

Durante as observações, os motoristas foram entrevistados quanto às práticas que os mesmos adotavam em relação à instrução de trabalho da empresa, às limitações do equipamento e a interação dos mesmos com o sistema. As perguntas-chave realizadas podem ser visualizadas na Figura 3.2.

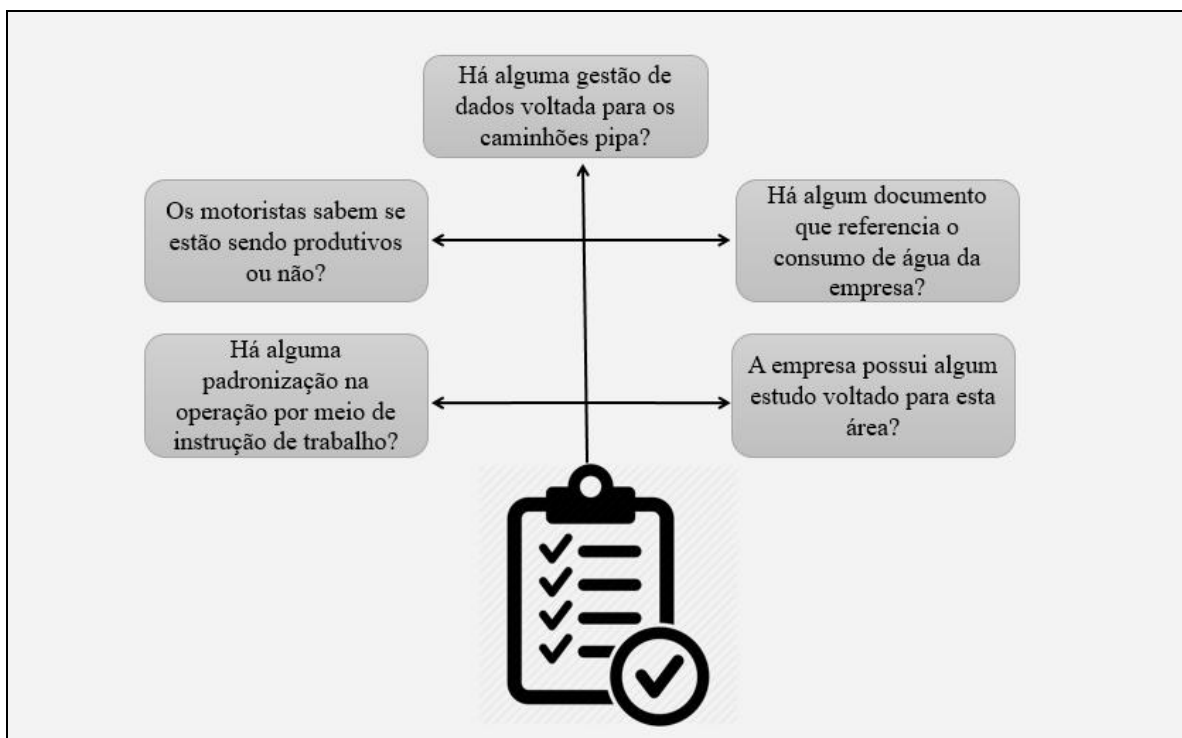


Figura 3-2 - Questionário realizado aos motoristas dos caminhões pipa da companhia. Fonte: Autoria própria.

A companhia apresenta um sistema de apontamento, via módulo embarcado, das ações dos motoristas durante todo o ciclo operacional. Os motoristas são instruídos a sempre apontar a atividade que estão prestes a realizar, para que o sistema armazene as informações em um banco de dados, como o tempo de cada uma das atividades, apresentando filtros como turno, motorista, frente de trabalho, entre outros. Para comprovar se os dados sistêmicos eram verdadeiros, foram realizados alguns levantamentos simplificados de campo e, além disso, a utilização de algumas ferramentas estatísticas nos dados históricos para verificação.

### 3.2 Levantamento de dados e análise estatística básica

O período utilizado para levantar os dados de apontamento dos operadores foi do início de janeiro até o final de junho, totalizando um semestre (período pré-determinado pela própria empresa para realização do estudo). O levantamento ocorreu de maneira simples e somente no caminhão de maior capacidade (30 m<sup>3</sup>), através da exportação para a ferramenta Excel, enquanto o tratamento estatístico adotado para os dados do sistema referentes ao abastecimento, deslocamento e irrigação de vias foram realizados mediante a utilização do programa Minitab 17, o qual a permissão foi cedida pela própria companhia, afim de se obter uma análise estatística um pouco mais sofisticada sobre o ciclo operacional dos caminhões

pipas. Vale lembrar que somente o equipamento de maior capacidade possui rastreamento via sistema. A partir dos gráficos fornecidos pelo programa em conjunto com as interpretações necessárias, foi possível inferir com maior precisão quanto tempo leva cada atividade desempenhada pelos operadores. Vale ressaltar que o intuito deste trabalho não é entrar em méritos conceituais de comportamento estatístico com um nível de detalhes muito grande, utilizando o resumo estatístico somente para visualização do comportamento do conjunto de dados levantados, além de poder inferir o tempo real desempenhado pelos motoristas em cada atividade. Os demais caminhões de apoio que atendem à mina e não apresentam o sistema de rastreamento não possuem dados com tamanho detalhamento, visto que estes eram compostos por terceiros, de forma que os tempos operacionais levantados aconteceram em dias aleatórios. Isto porque há uma limitação na movimentação com terceiros dentro da mina, devido ao fato dos mesmos não apresentarem rádios de comunicação nos caminhões pipa.

### 3.3 Levantamento na etapa “Abastecimento de Água”

Começando pelo abastecimento de água, a cada vez que o caminhão parasse para abastecer, o motorista era instruído a preencher uma planilha, seguindo uma metodologia conforme mostra a Figura 3.3.

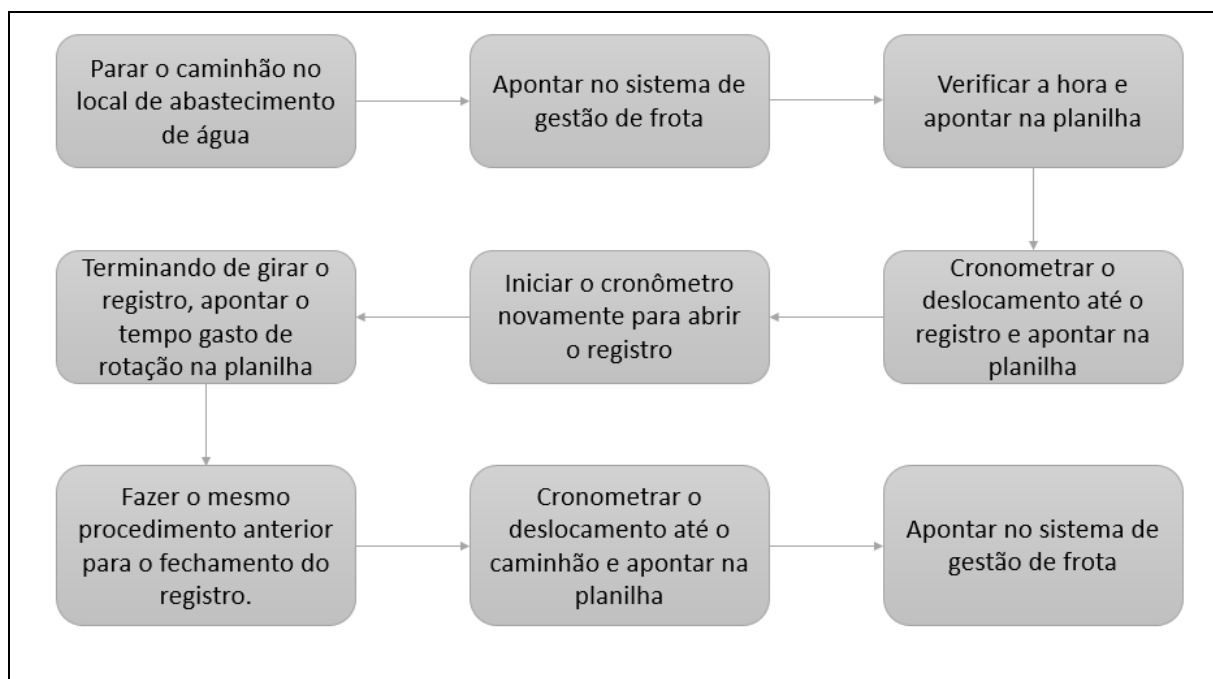


Figura 3-3 - Metodologia adotada para obtenção de dados no abastecimento. Fonte: Autoria própria.

A partir destes dados, foi possível mensurar as perdas de tempo nessa etapa que poderiam impactar tanto no desperdício de água da companhia quanto na ineficiência da operação. Os testes foram realizados no período do mês de maio, reunindo um conjunto de dados que continham interferência de todos os motoristas do caminhão pipa da companhia, tornando os dados representativos da atividade.

### 3.4 Verificação de eficácia no atendimento às vias

Já o que se remete a etapa de irrigação, foi proposto um levantamento sobre o quão eficiente o caminhão dedicado ao atendimento das praças e vias do minério, seria na irrigação das vias durante seu trajeto. A ideia seria medir a largura máxima a qual o caminhão conseguisse atingir com os 2 aspersores ligados e medir a largura de algumas das vias principais atendidas. Neste caso, acoplado com o resultado de atendimento ou não por parte do equipamento, também seria verificado se a companhia atendia ou não às normas da NR-22.7.6, define que “a largura mínima das vias de trânsito, deve ser duas vezes maior que a largura do maior veículo utilizado, no caso de pista simples, e três vezes, para pistas duplas”. A empresa solicitou que o levantamento fosse realizado utilizando o critério aplicado para vias simples. Sendo assim, buscou-se o modelo e especificação dos caminhões basculantes que atendem à mina (Figura 3.4).

Dimensões (mm) <sup>1</sup>	
Entre Eixos (ee)	45
[a] Distância entre eixos	1.700+2.800+1.450
[b] Comprimento total	8.040
[c] Largura	2.507
[d] Altura descarregado com escape vertical	3.352
[e] Bitola (eixo dianteiro/eixo traseiro)	2.054/1.804
[f] Balanço (dianteiro/traseiro)	1.440/650
[g] Ângulo de entrada (carregado)	23°
[h] Ângulo de saída (carregado)	78°
[i] Altura: teto da cabina ao chassi	2.070
[j] Dist. mín. do centro do eixo á carroçaria	660
Círculo de viragem (parede a parede)	19.500

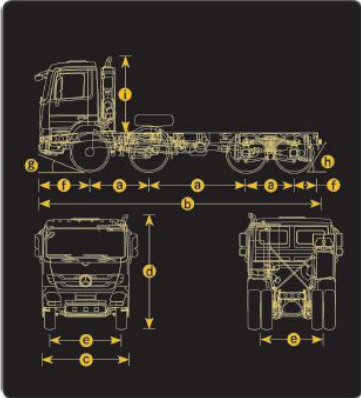


Figura 3-4 - Especificações dos caminhões basculantes que transitam na mina. Fonte: Manual do Fabricante.

Dando continuidade, devido às diversas mudanças às quais a mina está sujeita, as vias escolhidas seriam aquelas com previsão de modificação distante, a qual durante todo o período do estudo elas não sofressem ou sofressem o mínimo possível de interferência. Deste modo, através do mapa fornecido pela topografia da mina, os segmentos referentes à largura

das vias seriam levantados via Auto CAD. O mapa da mina, em formato dxf, o qual seriam levantadas as vias, pode ser visualizada na Figura 3.5.



Figura 3-5 - Mapa da mina o qual seriam levantados os trechos. Fonte: COMIPA

Sendo assim, com o critério anteriormente descrito, as vias escolhidas foram classificadas da seguinte maneira:

- TRECHO TREVO PLAT. 1140 - PLAT. 1180;
- TRECHO GALPÃO - M2 PLAT. 1140;
- TRECHO TREVO PLAT. 1140 - PONTO DE ALIM. 2;
- TRECHO PA 2 - ABASTEC. DE ÁGUA DOS PIPAS.

Os segmentos foram nomeados, em ordem alfabética, de A-B até C'-D' com no mínimo 3 segmentos para cada via, conforme pode ser visualizado através da Figura 3.6



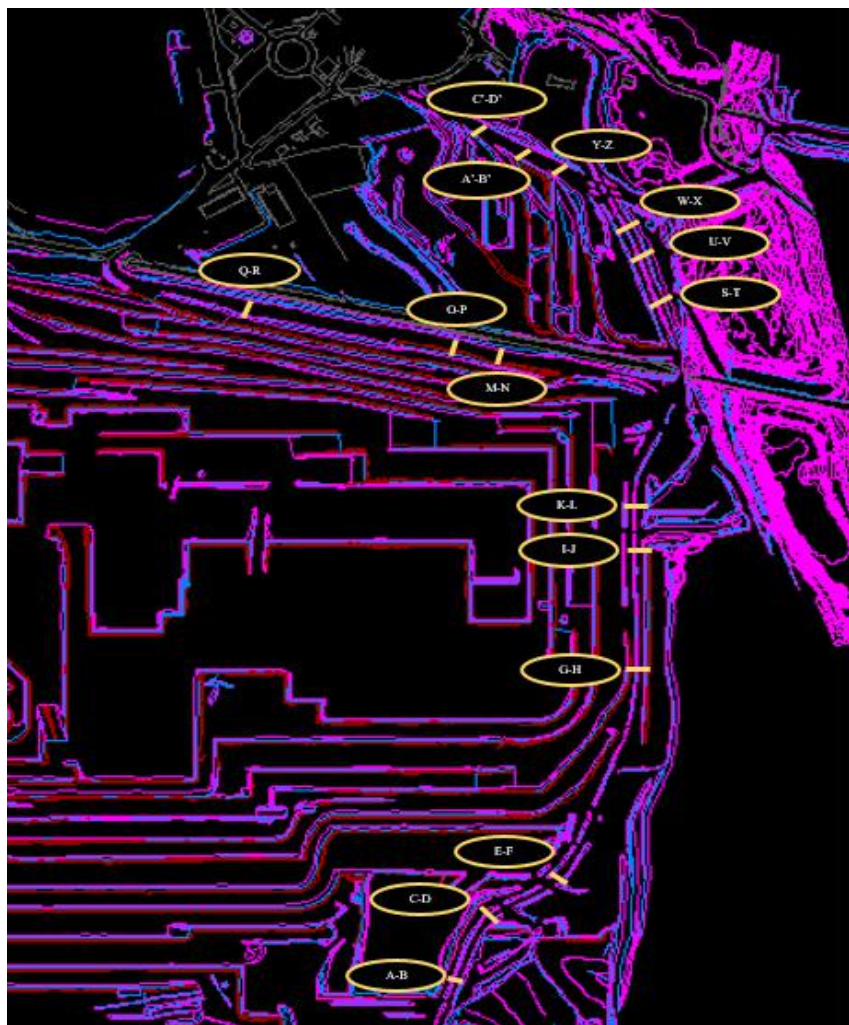


Figura 3-6 - Mapa da mina com os trechos levantados Fonte: Autoria própria,

### 3.5 Proposta de previsão de irrigação

Outra verificação válida para a operação dos caminhões pipa seria determinar quanto tempo seria necessário, após o atendimento da praça, para que o equipamento de apoio retorne e iniciasse outro ciclo de umectação. Sendo assim, escolheu-se a praça classificada como Ponto de Alimentação 2 (PA2), a qual seria observada durante o período de duas semanas do mês de junho, quanto tempo a água conseguia ficar retida no solo sem com que houvesse suspensão de particulado em meio a movimentação dos caminhões basculantes durante a formação de pilha. Esta praça foi escolhida devido aos diversos parâmetros, como baixa variabilidade presentes na operação realizada nesta região, sendo alguns destes parâmetros o trajeto de manobra, o fluxo e a velocidade dos caminhões basculantes. Desta forma, alinhou-se com a operação a metodologia de atendimento de praça por parte do caminhão pipa de maior capacidade (30 m<sup>3</sup>), atendendo a praça com 2 aspersores ao longo de todo o trajeto pré-

definido (Figura 3.7), sendo que duas voltas circulares seriam dadas ao redor das baias de descarga de minério a uma velocidade de 15 km/h sem a intervenção de nenhum outro equipamento de apoio ou manutenção de vias. As variáveis analisadas seriam o número de caminhões basculantes destinados à frente, velocidade de irrigação do caminhão pipa, tempo de operação seguindo a metodologia, tempo úmido da praça e tipo de irrigação.

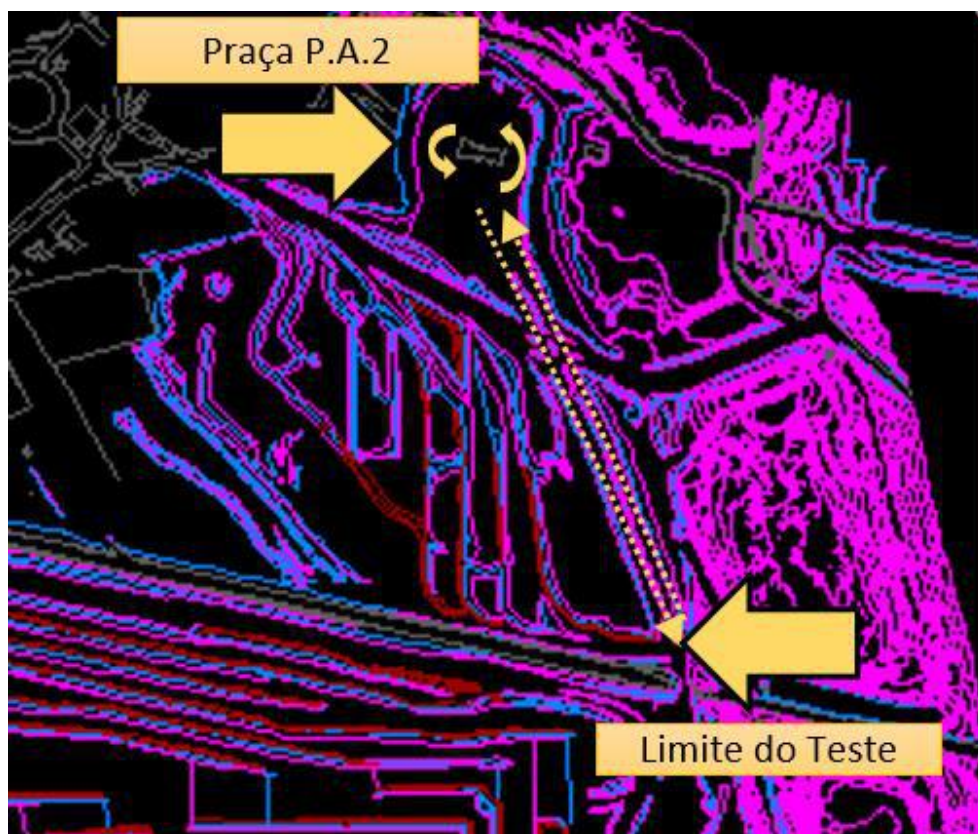


Figura 3-7 - Metodologia de atendimento de praça pré-definido com a operação. Fonte: Autoria própria.

O teste era levado de forma que a previsão para obtenção de dados seria de um teste por dia nas proximidades das 13 horas (devido à demanda de tempo e por ser este um horário considerado crítico) e, o critério para retorno do equipamento para atender à praça novamente seria quando o nível de poeira na praça se encontrasse na altura do pneu dos caminhões basculantes que por ali transitavam. Através deste levantamento, obteve-se um parâmetro bastante básico, no entanto muito importante, por exemplo, quando se estuda a hipótese de implementação de supressores de poeira na operação para redução do consumo de água.



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Formulação da base de dados e interpretação estatística simples

Primeiramente, à medida que a operação foi acompanhada mais de perto, viu-se que a gestão da frota de caminhões pipa necessitava de um gerenciamento mais aprofundado, onde alinhou-se com o setor administrativo e o setor da gestão, para que fosse confeccionado um fluxograma melhor elaborado e que retratasse o passo a passo de como acontece a umidificação por meio dos caminhões pipa que atendem à mina (Figura 4.1). A partir da análise destes dados, foi dada sequência no levantamento de dados proposto.

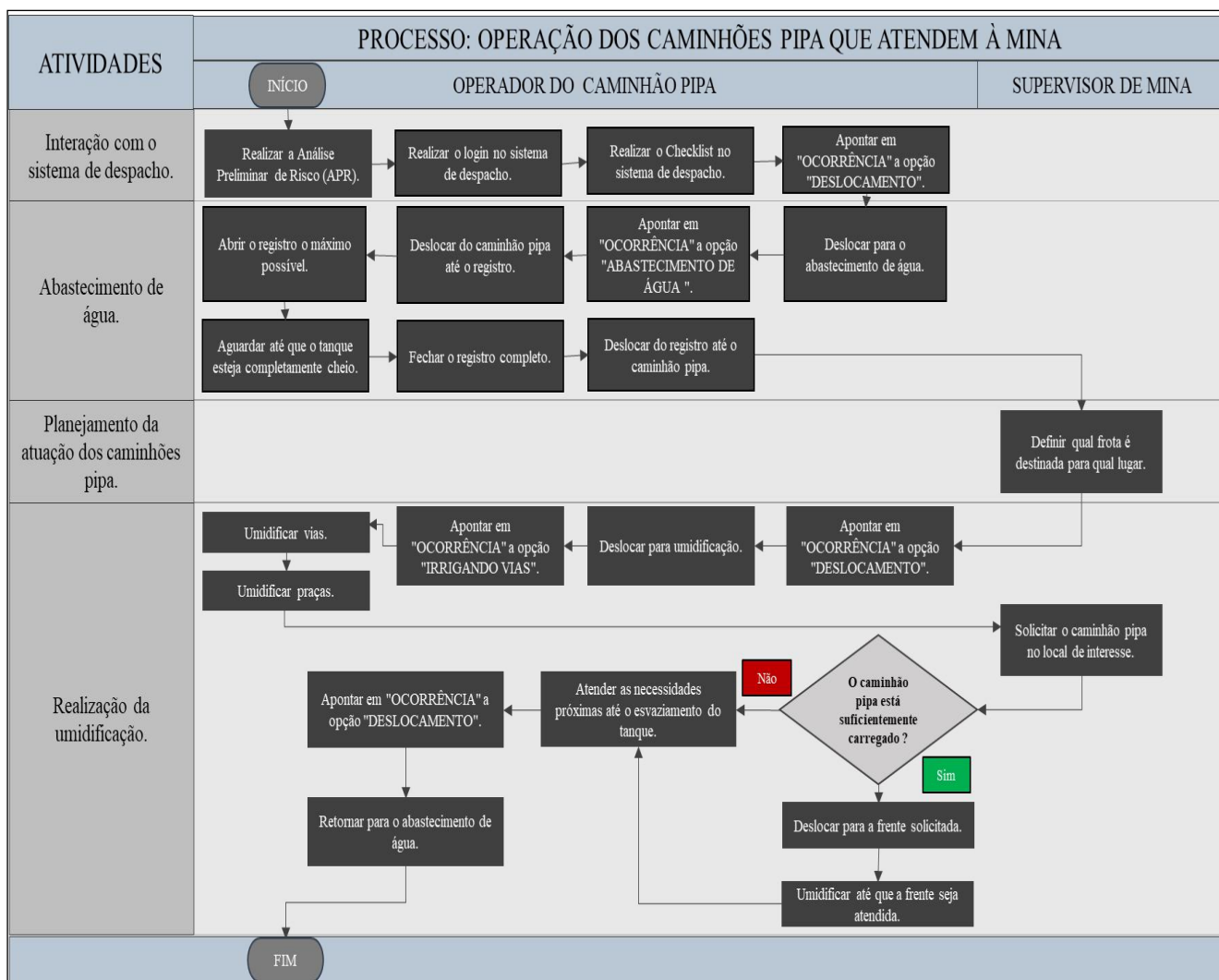


Figura 4-1 - Fluxograma da operação dos caminhões pipa que atendem à mina. Fonte: Autoria própria

### 4.1.1 Abastecimento de Água

Posteriormente, visando obter a base de dados representativa, os dados foram exportados para o Minitab 17. Apesar do novo fluxograma apresentar forma estratificada, os dados relevantes para a análise foram somente referentes ao tempo gasto nas etapas de “Abastecimento de Água”, “Deslocamento” e “Irrigando Vias” (não há distinção entre deslocamento cheio ou vazio devido ao fato do sistema de apontamento não apresentar tal detalhe). O resumo estatístico, a começar pelo “Abastecimento de Água”, dos motoristas classificados como “Operador A, B e C” podem ser visualizados a seguir (Figuras 4.2, 4.3 e 4.4).

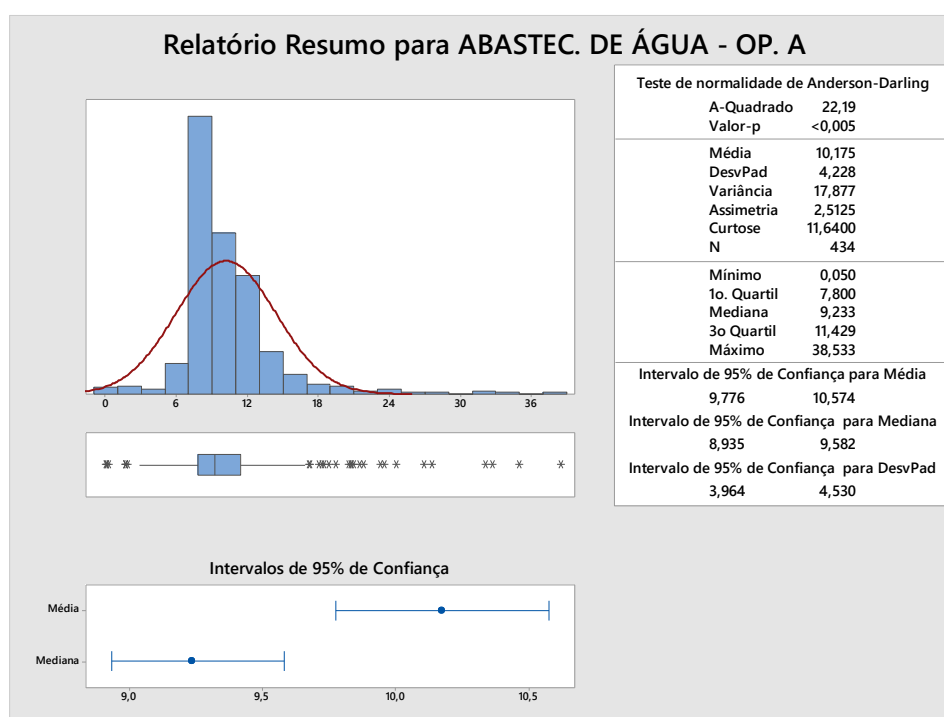


Figura 4-2 - Resumo estatístico para a atividade "Abastecimento de Água" do "Operador A". Fonte: Minitab 17.

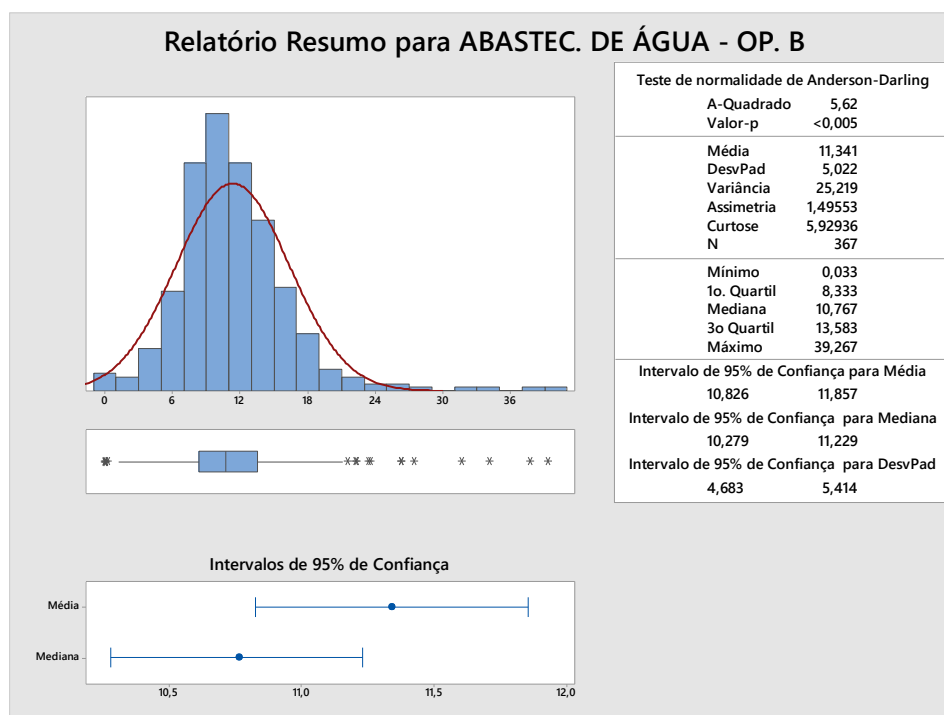


Figura 4-3 - Resumo estatístico para a atividade "Abastecimento de Água" do "Operador B". Fonte: Minitab 17.

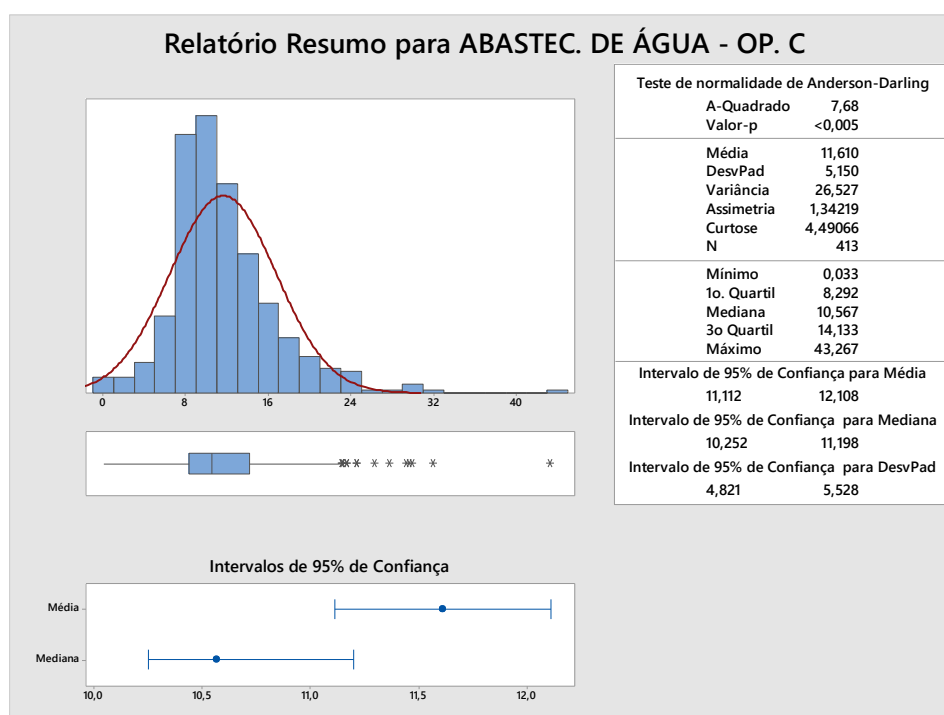


Figura 4-4 - Resumo estatístico para a atividade "Abastecimento de Água" do "Operador C". Fonte: Minitab 17.

Através dos dados apresentados pelo resumo, é possível visualizar que não há significativa diferença entre a mediana e a média dos dados apresentados (levando em conta que se trata de um meio prático, onde a precisão é relevante, no máximo, até a casa dos decimais, se tratando de minutos). Mesmo com a baixa interferência por parte dos *outliers*

(asteriscos presentes no *boxplot*) na média, preferiu-se adotar a mediana para todos os operadores, garantindo maior representatividade. Sendo assim, o “Operador A” mostra tempo de abastecimento 9,23 min, enquanto o “Operador B” apresenta 10,77 min e o “Operador C” 10,57 min.

Vale lembrar que a etapa de abastecimento que os gráficos apresentam envolve as seguintes etapas em sequência: “Deslocar do caminhão pipa até o registro”, “Abrir o registro o máximo possível”, “Aguardar até que o tanque esteja completamente cheio”, “Fechar o registro completo” e “Deslocar do registro até o caminhão pipa”. Dessa forma, este tempo de abastecimento pode ser influenciado por variáveis como desgaste do operador, hora do dia, ocorrência de abastecimento nos dois registros, baixa vazão de água devido à entrada de ar na tubulação, entre outros. Diante de todas estas observações, consegue-se perceber que o “Operador A” possui menor tempo de abastecimento, o que garante melhor *performance* nesta atividade, enquanto os outros dois operadores, embora não muito distantes, apresentem desempenho inferior na etapa de abastecimento.

Apesar de apresentar menor tempo de abastecimento, o “Operador A” apresenta maior número de *outliers* tanto inferiores quanto superiores, o que demonstra, de certa forma, falta de constância no que diz respeito ao apontamento da atividade no sistema do caminhão. A grande parte dos *outliers* inferiores podem ser justificados pelo erro de apontamento e possível posterior correção, isto quando a atividade já está em andamento; enquanto os *outliers* superiores podem ser justificados, em sua maioria, pelo esquecimento de apontamento de mudança de atividade, podendo esta ser visualizada somente no próximo ciclo. Em sequência, o “Operador B” apresenta um número menor de *outliers* que o “Operador A”, enquanto o “Operador C” apresenta seus *outliers*, em sua totalidade, superiores aos limites do “bigode” da ferramenta *boxplot* e em menor quantidade que os demais, presumindo-se que este motorista seja o operador que menos erra apontamentos no sistema referente a esta atividade.

Vale ressaltar que parte das anomalias detectadas também pode ser justificada pela ocorrência de abastecimento nos dois registros simultâneos, além da possibilidade de baixa vazão de água devido à entrada de ar na tubulação; mas estes, em menor quantidade já que o abastecimento dos caminhões apresenta certa sincronia devido à diferença de capacidade dos caminhões (não se abastece dois caminhões ao mesmo tempo com elevada frequência); e porque a operação é instruída a retirar o ar que entra na tubulação por meio de uma espécie de “válvula de alívio” à montante do abastecimento sempre que houver a percepção que o

carregamento está muito demorado. Lembrando que os demais dados e interpretações estatísticas possíveis de serem realizadas não serão retratadas neste trabalho.

#### 4.1.2 Deslocamento

Para a análise do trabalho, não há distinção entre deslocamento com caminhão vazio ou deslocamento com caminhão cheio por parte do sistema de apontamento. Sendo assim, para cálculo do tempo de ciclo desempenhado pelo caminhão, o valor do tempo de deslocamento será contabilizado duas vezes (devido ao deslocamento cheio e vazio). Seguem os resumos estatísticos provenientes do deslocamento (Figuras 4.5, 4.6 e 4.7).

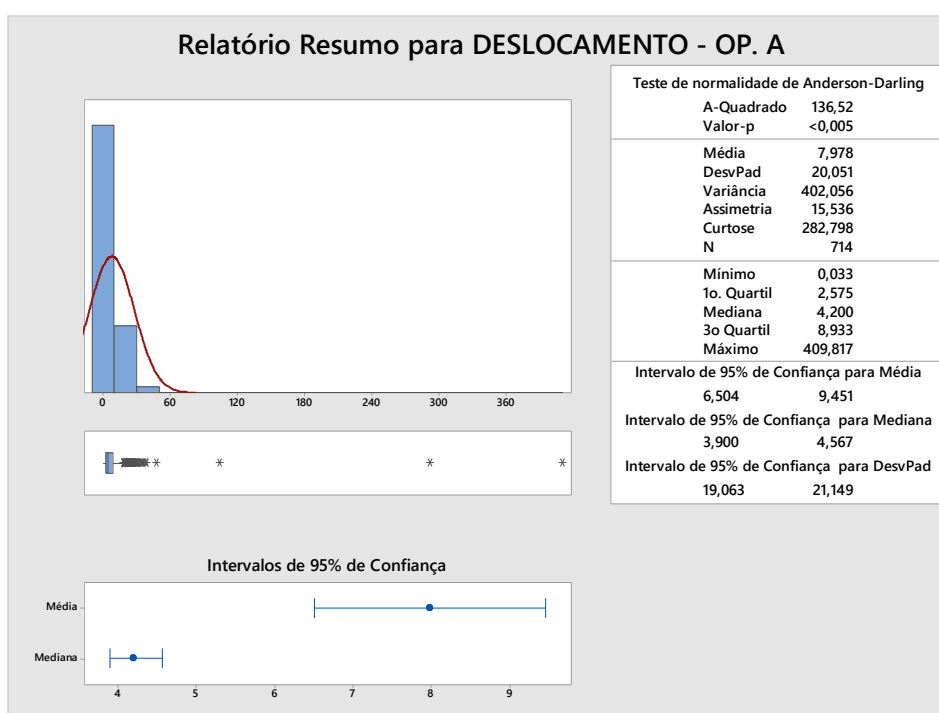


Figura 4-5 - Resumo estatístico para a atividade "Deslocamento" do "Operador A". Fonte: Minitab 17.

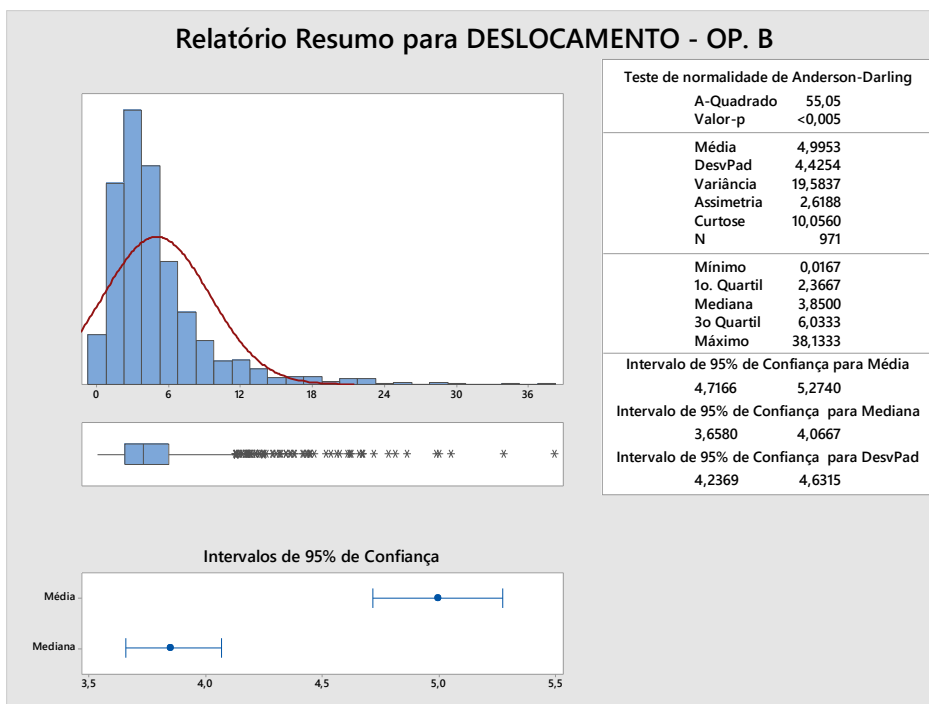


Figura 4-6 - Resumo estatístico para a atividade "Deslocamento" do "Operador B". Fonte: Minitab 17.

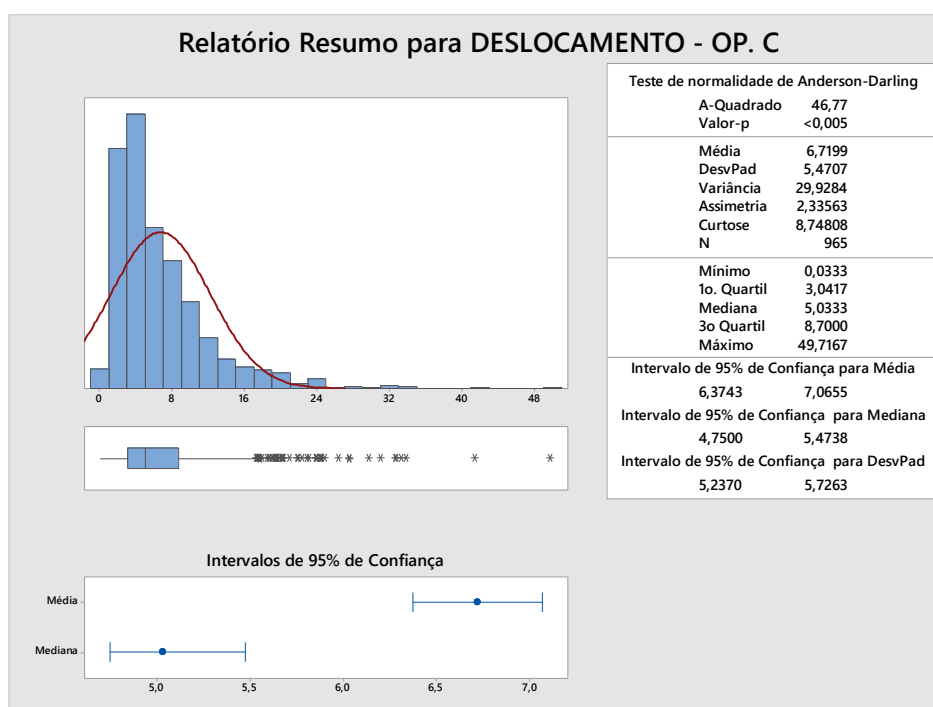


Figura 4-7 - Resumo estatístico para a atividade "Deslocamento" do "Operador C". Fonte: Minitab 17.

Diferentemente da atividade “Abastecimento de Água”, no “Deslocamento” fica notória a diferença de valores entre a média e a mediana do conjunto de dados de cada um dos três motoristas, fazendo com que se continue a utilização da mediana como referência para

elaboração do tempo de ciclo, de forma que esta variável sofre menos influência dos valores tidos como *outliers*.

O deslocamento do “Operador A” possui *bloxpot* com caixa mais estreita, o que indica que o conjunto de dados presentes em sua caixa possuem baixa variabilidade, enquanto os demais possuem caixas um pouco mais alongadas. Isto pode ser explicado devido ao fato de que, provavelmente, o “Operador A” optava sempre em começar a umidificação o mais próximo possível do ponto de abastecimento, independente da pista estar umectada ou não; enquanto os demais já apresentam, aparentemente, tal preocupação.

Nesta atividade, somente através destes resumos estatísticos, não é possível avaliar com precisão qual dos operadores desenvolve a atividade com mais eficiência, tendo em vista que a variabilidade do deslocamento, em razão dos diversos destinos que não são possíveis de apontar, é demasiada. Por isso fica evidente, em todos os casos, a presença de *outliers*, reforçando que estas anomalias acontecem devido ao sistema não possuir módulos de distinção ou estratificação da ocorrência “Atendimento de praças - Minério”, o que faz com que no mesmo banco de dados onde são apontados os atendimentos de praças a poucos metros do ponto de abastecimento, estejam também dados referentes ao atendimento de praças a quilômetros do abastecimento de água dos caminhões pipa. Outro fator influente na presença de *outliers* é que, devido ao desuso, não se aponta em “Ocorrência” outros destinos que não o atendimento de mina quando o mesmo acontece. O correto seria que, quando houvesse a necessidade do atendimento por parte do caminhão pipa da companhia às praças que não as do minério, anteriormente o apontamento de “Deslocamento”, no módulo “Ocorrência”, fosse ajustado o outro destino, para que, quando houver a necessidade de levantamento de dados, o filtro consiga diferenciar os destinos diferentes.

### **4.1.3 Irrigando vias**

Já na irrigação de vias, a variabilidade dos dados levantados é referente à maneira de operar de cada operador. Os resumos estatísticos podem ser visualizados a seguir (Figura 4.8, 4.9 e 4.10).

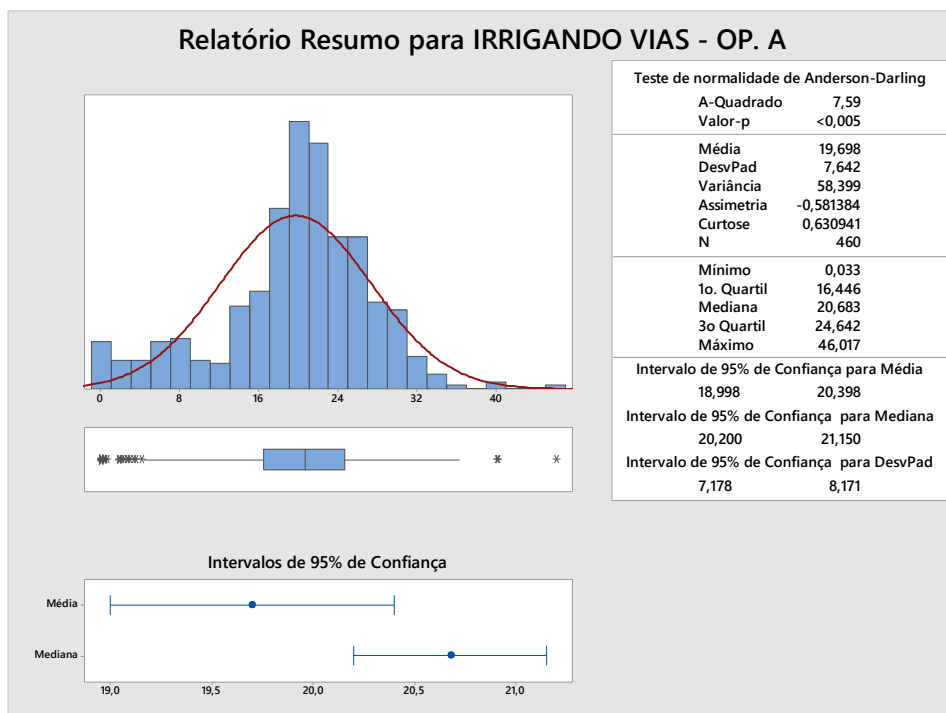


Figura 4-8 - Resumo estatístico para a atividade "Irrigando Vias" do "Operador A". Fonte: Minitab 17.

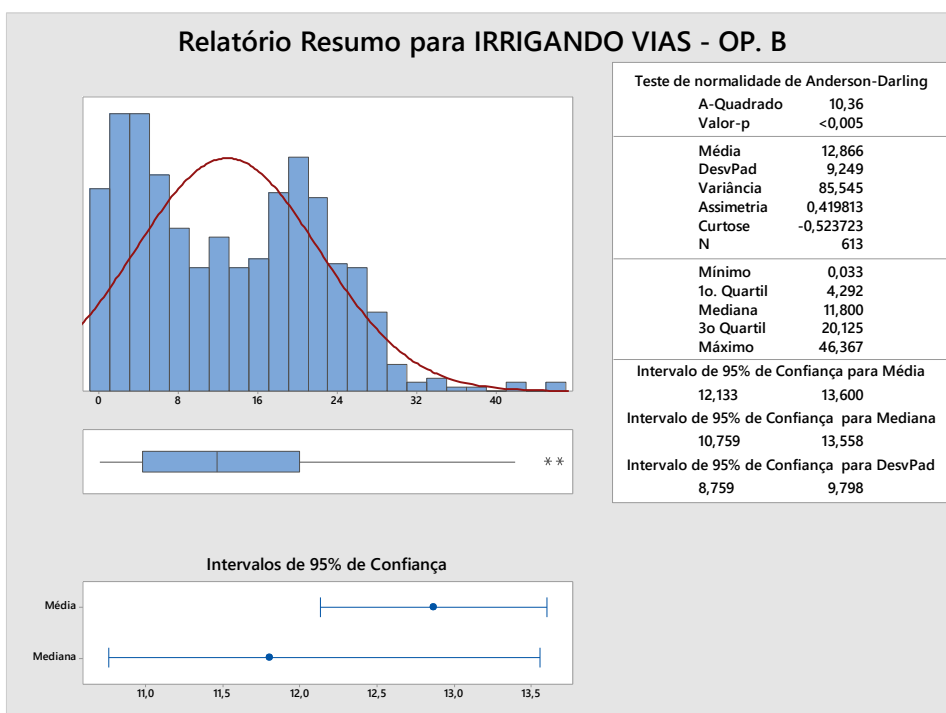


Figura 4-9 - Resumo estatístico para a atividade "Irrigando Vias" do "Operador B". Fonte: Minitab 17.



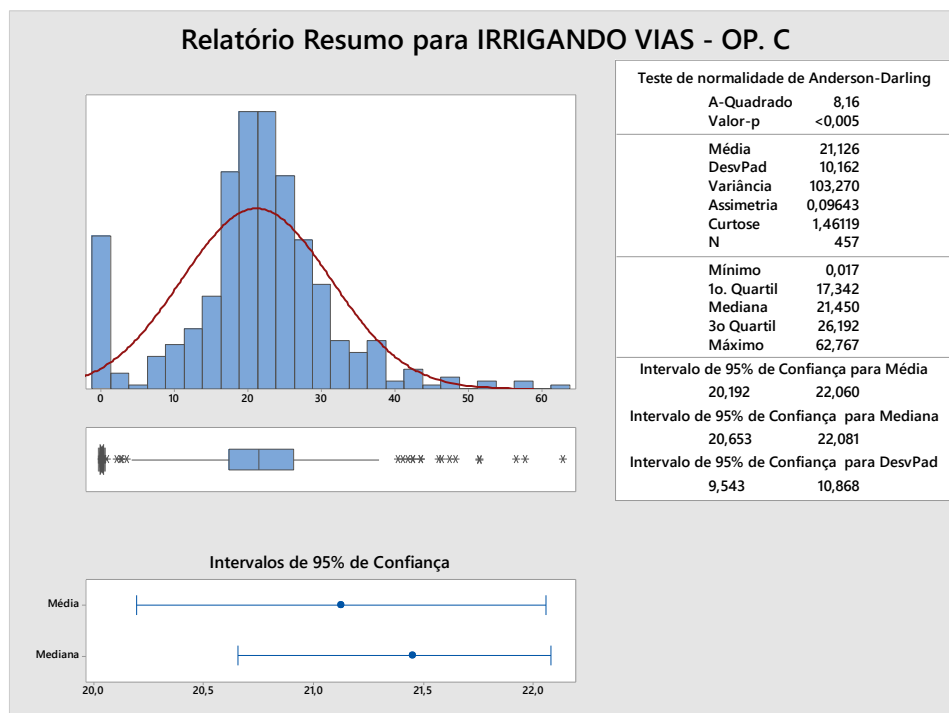


Figura 4-10 - Resumo estatístico para a atividade "Irrigando Vias" do "Operador C". Fonte: Minitab 17.

Seguindo o mesmo princípio das atividades anteriores, adotaram-se as medianas dos dados para elaboração do tempo de ciclo, sendo que os tempos médios também representam bem os dados, já que os mesmos desviam bem pouco das medianas. No entanto, um fato curioso aconteceu para a análise do “Operador B”. O tempo de “Irrigando Vias” que deveria se encontrar na casa dos 20 minutos (número este que pôde ser inferido devido a levantamentos cronometrados de campo, independente da forma de aspersão – aspersores e barramento/ somente aspersores), pôde ser observado nos tempos do “Operador A” (20,68 min) e do “Operador C” (21,45 min), enquanto o “Operador B” apresentou valores de tempo de 11,80 min. Caso a variável descritiva adotada para análise do “Operador B” fosse a média ao invés da mediana, e apresentasse o valor 11,80 min, poderia ser uma alta influência de *outliers* inferiores que fariam com que a média se deslocasse para baixo. No entanto, como foi a mediana que apresentou valor tão baixo, e ainda próximo à média (12,86 min), foi-se até o campo analisar o porquê deste valor.

Em campo, analisou-se a forma de apontar as atividades realizadas por cada operador da companhia. Percebeu-se que o “Operador A” e o “Operador C” realizavam o apontamento referente a irrigação de vias, e só apontavam a atividade “Deslocamento” quando o caminhão esvaziava o tanque por completo; enquanto o “Operador B” alternava, entre os trechos que não eram irrigados, a atividade “Irrigando Vias” e “Deslocamento”. Teoricamente, o seu método de apontamento é o mais correto (garantindo maior precisão dos dados), no entanto, o

sistema não possui lógica de programação apropriada para que o tempo de “Irrigando Vias” fique suspenso, intermitente a diversos deslocamentos, até que se inicie a atividade “Abastecimento de Água”. Sendo assim, buscando ser mais representativo, eliminou-se tanto a atividade “Deslocamento” quanto “Irrigando Vias” do “Operador B”. A Tabela 4.1 representa os dados gerais obtidos com o levantamento e o tempo de ciclo médio desempenhado para cada atividade.

Tabela 4-1 - Tempos de ciclo do caminhão pipa da companhia (30 m<sup>3</sup>).

MOTORISTAS COMIPA	ABASTECIMENTO DE ÁGUA (min)	DESLOCAMENTO (min)	IRRIGANDO VIAS (min)	DESLOCAMENTO (min)	TEMPO DE CICLO (min)
Motorista “A”	9,23	4,20	20,68	4,20	38,31
Motorista “B”	10,77	3,85	11,80	3,85	30,27
Motorista “C”	10,57	5,03	21,45	5,03	42,08
<b>Média</b>	<b>10,16</b>	<b>4,62</b>	<b>21,07</b>	<b>4,62</b>	<b>40,47</b>

Fonte: Autoria própria.

#### 4.1.4 Dados referentes a frota terceirizada

Através dos levantamentos de campo com a frota terceirizada, composta por um caminhão pipa de 25 m<sup>3</sup> de capacidade e possibilidade de aspersão com 1 aspersor e/ou barramento; e um de 22 m<sup>3</sup> de capacidade e possibilidade de aspersão com 3 aspersores e/ou barramento, conseguiu-se confeccionar a Tabela 4.2 e 4.3.

Tabela 4-2 - Tempos médios referentes ao ciclo do caminhão pipa terceiro (25 m<sup>3</sup>).

ABASTECIMENTO (min)	DESLOCAMENTO DE IDA (min)	IRRIGANDO VIAS (min)	DESLOCAMENTO RETORNO (min)	TEMPO DE CICLO (min)
6,72	5,87	24,55	5,08	1 ASPERSOR
6,75	6,05	30,15	5,72	
6,32	5,63	30,21	6,58	
7,27	7,25	28,47	6,25	
6,10	6,38	19,25	6,38	
4,45	6,43	21,82	4,90	
5,57	5,58	34,11	5,12	
6,23	6,18	30,41	5,48	
6,12	5,73	22,77	5,68	
6,15	5,42	29,47	5,30	
5,78	6,13	38,35	4,42	
6,40	6,17	27,88	7,02	
<b>6,12</b>	<b>6,07</b>	<b>28,12</b>	<b>5,66</b>	

Fonte: Autoria própria.

Tabela 4-3 - Tempos médios referentes ao ciclo do caminhão pipa terceiro (22 m<sup>3</sup>).

ABASTECIMENTO (min)	DESLOCAMENTO DE IDA (min)	IRRIGANDO VIAS (min)	DESLOCAMENTO RETORNO (min)	TEMPO DE CICLO (min)
6,15	5,33	22,00	5,22	3 ASPERSORES
4,43	7,83	27,88	5,72	
8,83	8,00	32,25	5,92	
6,28	6,42	41,01	5,63	
8,92	5,47	27,90	6,63	
8,92	5,70	32,00	6,57	
6,72	5,83	25,03	3,92	
8,77	5,92	26,17	5,17	
6,67	6,00	21,00	5,95	
6,80	4,60	26,48	7,30	
6,93	5,88	32,00	4,92	
6,65	5,67	27,25	5,00	
<b>7,17</b>	<b>6,05</b>	<b>28,41</b>	<b>5,66</b>	

Fonte: Autoria própria.

Por meio dos levantamentos realizados com os terceiros, percebe-se que os tempos de abastecimento de ambos os terceiros são menores que no caminhão da companhia, o que já era de se esperar tendo em vista que as capacidades são menores. Para o levantamento, o operador do caminhão da terceirizada com caminhão pipa de 22 m<sup>3</sup> ainda apresentou maior tempo médio de abastecimento (7,17 min) que o operador do equipamento de 25 m<sup>3</sup> (6,12

min), o que pôde ter sido afetado devido à pior performance do operador em tal atividade, de forma que as variações desses tempos podem ser ocasionadas pelos fatores já descritos anteriormente na análise da frota da própria companhia.

No que diz respeito ao deslocamento de ida e volta da frota terceira, os mesmos apresentam tempo maior devido ao seu deslocamento também ser maior. A frota terceira é responsável por atender às praças de estéril da mina, as quais são mais distantes do ponto de abastecimento de água que as praças de minério. Em comparação, o tempo de ida (no caso, carregado) é maior que o tempo de retorno ao abastecimento (no caso, descarregado), o que já era esperado já que a velocidade do caminhão carregado é bem menor em ambos os casos, ficando na casa dos 15-20 km/h, enquanto a velocidade do equipamento descarregado é na casa dos 30-40 km/h.

Na atividade “Irrigando Vias”, o caminhão terceirizado com a menor capacidade (presumisse que o mesmo esgote a água anterior aos demais) apresenta maior tempo irrigando (28,41 min – 3 aspersores) que o terceiro intermediário (28,12 min – 1 aspersor) e que o equipamento da companhia (21,07 min – 2 aspersores), o que indica que a vazão do caminhão com menor reservatório apresenta uma vazão bastante reduzida em relação aos demais. Sendo assim, foi realizada uma inspeção em campo afim de descobrir se o caminhão conseguia atender com eficácia as praças solicitadas. A resposta da operação foi negativa, e ainda reforçaram que o terceiro com capacidade intermediária também seria pouco eficaz, além de haver a necessidade ininterrupta destes equipamentos nas frentes destinadas.

## **4.2 Consumo e desperdício no abastecimento de água**

Os dados coletados referentes aos tempos operacionais na etapa “Abastecimento de Água” podem ser visualizadas no Anexo 1. Estes dados, alinhados com os dados referentes à frota própria e a frota terceira, foram essenciais para elaboração da Tabela 4.4. O caminhão com tanque de capacidade média (25 m<sup>3</sup>) foi denominado “Terceirizada A” enquanto o de menor capacidade (22 m<sup>3</sup>) foi denominado “Terceirizada B”.

Tabela 4-4 - Tabela dos parâmetros utilizados nos cálculos para a mensuração do consumo e do desperdício de água no abastecimento de água dos caminhões pipa.

PARÂMETROS	COMIPA	TERCEIRIZADA "A"	TERCEIRIZADA "B"	TOTAL
Tempo de ciclo (min)	40,47	45,97	47,29	-
Quantidade de ciclos realizados/dia	29,28	25,78	18,17	73,23
Desperdício de água no abastecimento (m <sup>3</sup> /dia)	20,15	17,74	12,50	50,39
Consumo de água (m <sup>3</sup> /dia)	898,58	662,18	412,22	1972,98
Capacidade do caminhão pipa (m <sup>3</sup> )	30	25	22	-

Fonte: Autoria própria.

Para cálculo da quantidade de ciclos realizados/dia, dividiu-se as horas trabalhadas de cada equipamento ("COMIPA" e "Terceirizada A" – 19,75 horas trabalhadas/dia; e "Terceirizada B" – 14,32 horas trabalhadas/dia) pelo tempo de ciclo de cada caminhão pipa.

A vazão do ponto de abastecimento dos caminhões pipa foi calculada descontando do tempo de abastecimento do caminhão da companhia (10,16 min), tendo em vista que eles possuem maior precisão em relação aos terceiros; o valor do "Tempo total de deslocamento do motorista" (49,97 s) e também o valor do "Tempo operando registro – FECHAR" (12,55 s). Estes tempos foram descontados porque o tempo obtido pelo sistema de apontamento não desconta essas parcelas, devido ao fato de que os motoristas apontam no sistema do caminhão apenas quando saem e retornam ao caminhão. Desconsiderou-se o desconto referente à etapa "Tempo operando registro – ABRIR" porque paralelo ao acionamento do registro já começa o abastecimento de água propriamente dito. Desta forma, para abastecer o caminhão de 30 m<sup>3</sup> foram gastos 9,11 min; obtendo uma vazão de aproximadamente 3,29 m<sup>3</sup>/min.

Através da Figura 4.11 consegue-se perceber que, do consumo global dos caminhões pipa que atendem à mina (1972,98 m<sup>3</sup>/dia), 2,55% é perdido na etapa de abastecimento devido às condições em que o abastecimento se encontra. Pela Figura 4.11 é possível visualizar exemplos práticos do quanto é perdido de água por dia no ponto de abastecimento de água dos caminhões pipa.

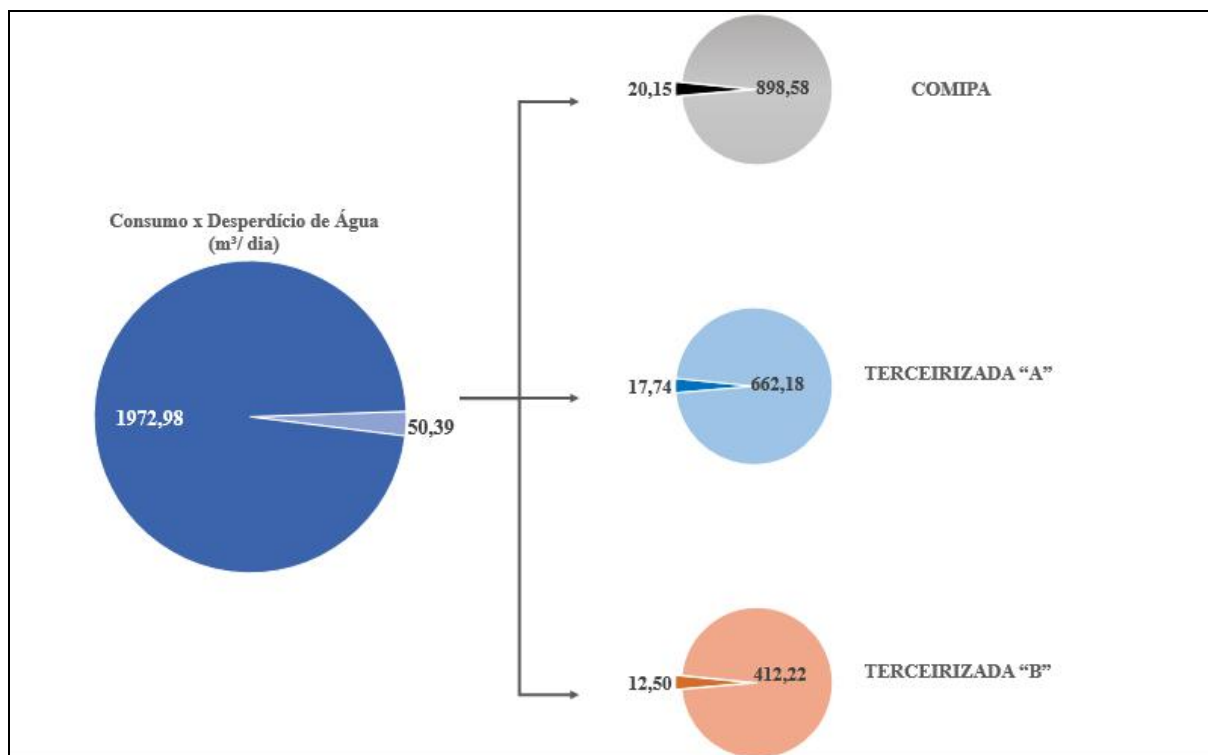


Figura 4-11 - Gráficos de consumo x desperdício diário de água no abastecimento da mina. Fonte: Autoria própria.

Uma outra visualização, mais voltada para o consumo de água cotidiano, pode ser observada na Figura 4.12. A ideia da figura é demonstrar, em meios mais didáticos, o quanto de água seria desperdiçada por dia de operação dos caminhões pipa. Para comparação, 458 pessoas poderiam ter acesso à água perdida ao longo do dia, tendo em vista que a Companhia de Saneamento Básico de São Paulo – Sabesp indica que é consumido, por dia, 110 litros de água por pessoa. Outra comparação do desperdício é que, por dia, ou 52 caixas d'água convencionais estariam sendo perdidas (caixas com capacidade de 1000), ou 1,68 caminhões pipa da própria companhia (caminhão com capacidade de 30000 litros).

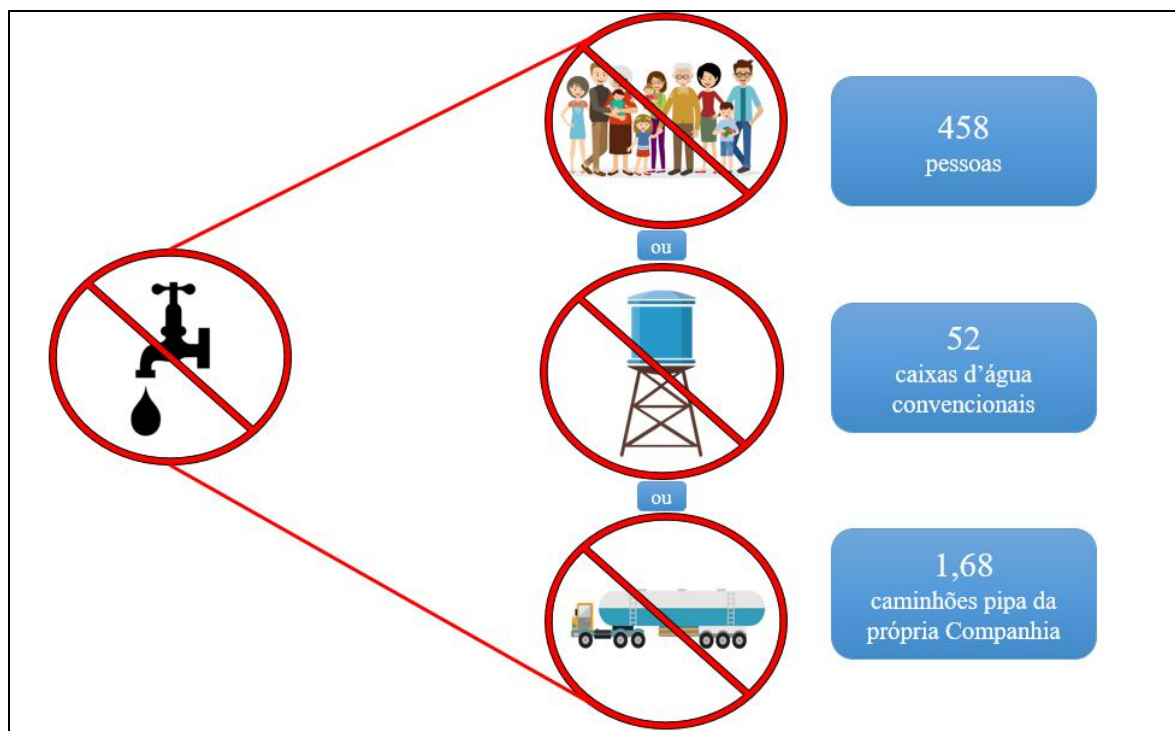


Figura 4-12 - Exemplos práticos do quanto se desperdiça no abastecimento de água dos caminhões pipa que atendem à mina por dia. Fonte: Autoria própria.

### 4.3 Desempenho operacional companhia em relação aos terceiros

Se por um lado a realização de uma quantidade grande de ciclos é ruim, devido à frequência do desperdício, por outro o caminhão da “COMIPA” consegue realizar mais ciclos que os terceiros e ainda garantir qualidade mediante a irrigação, fato que os terceiros não conseguem desempenhar. A Figura 4.13 mostra, através de um gráfico de barras, que apesar do caminhão da “COMIPA” ter maior capacidade que os demais, o mesmo demora menos tempo para realizar o seu ciclo, sem gerar insegurança operacional durante a irrigação, o que o confirma um melhor desempenho.



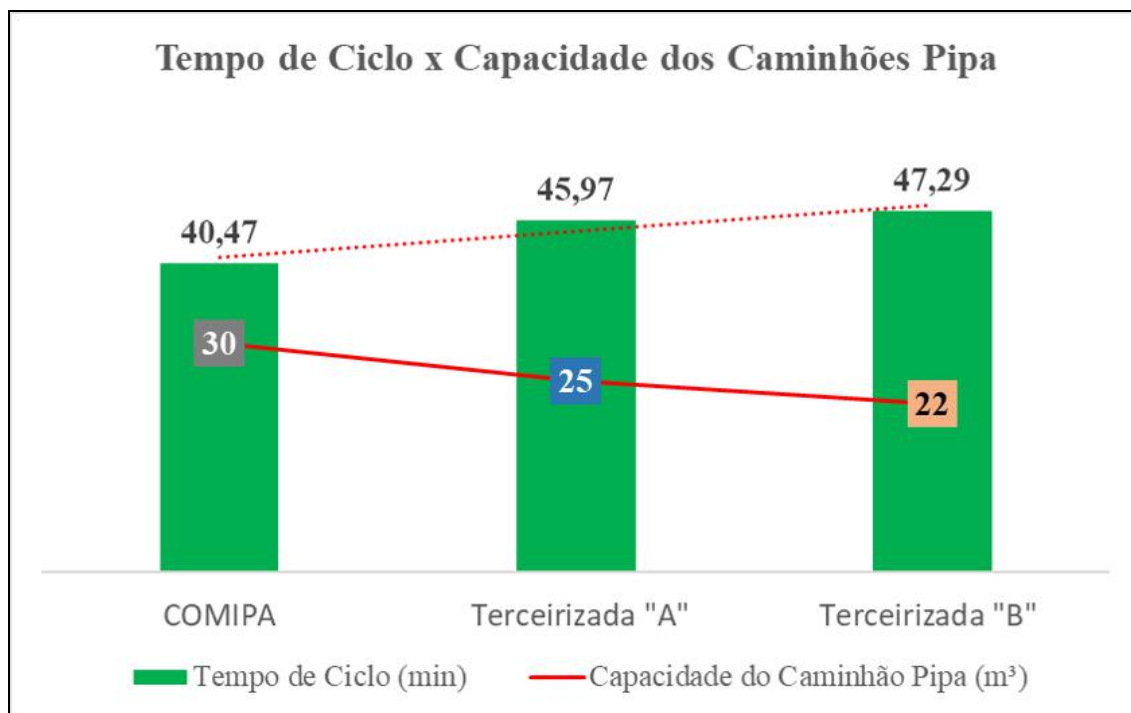


Figura 4-13 - Gráfico de barras do tempo de ciclo x capacidades dos caminhões pipa. Fonte: Autoria própria.

Foi procurado evidenciar a qualidade das irrigações, sendo assim buscou-se o setor de Segurança na Mina e foi feito um levantamento referente aos Relatos de Ocorrência da Segurança (ROS) referente aos anos de 2017 e 2018 aplicados às condições de vias escorregadias (não haviam ROS referentes a poeira excessiva na frente de trabalho). A Figura 4.14 demonstra tais relatos.

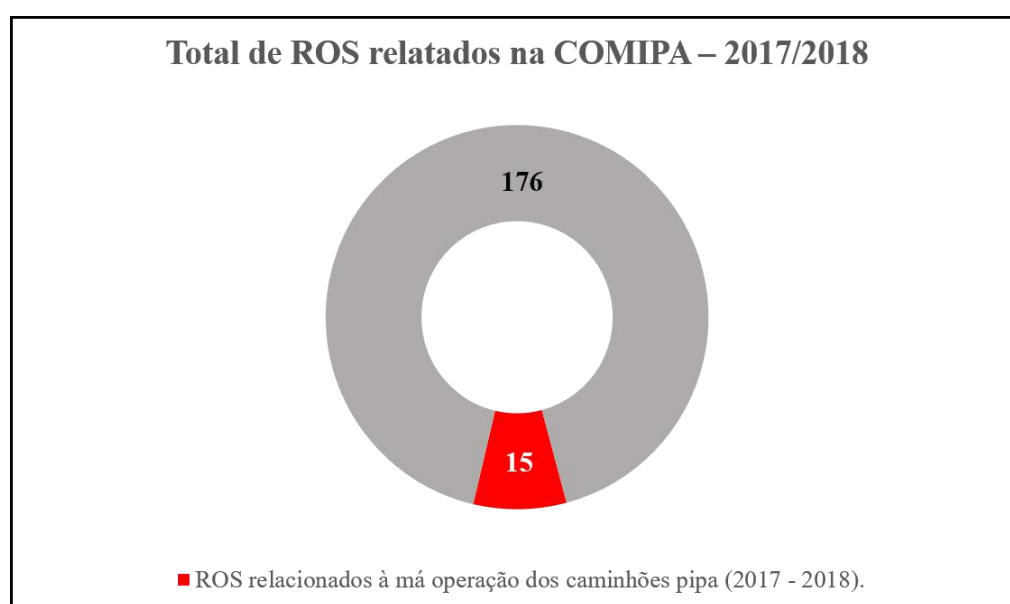


Figura 4-14 - Gráfico de rosca referente aos Relatos Operacionais da Segurança relacionados à má operação dos caminhões pipa. Fonte: Autoria própria.

De acordo com a Figura 4.14, percebe-se que a quantidade de ocorrências de insegurança devido à umidificação excessiva das vias equivale a 8,52%, sendo que dos 15, 6 são aplicados a áreas do minério e 9 referentes a áreas externas. Vale ressaltar que, apesar do valor ser pequeno, o mesmo é relevante e a busca de uma padronização de operação buscando minimizar o excesso de umectação é essencial.

#### 4.4 Atendimento das vias da mina

As larguras das vias especificadas anteriormente foram levantadas e, com os dados levantados via CAD (Figura 4.15), elaborou-se a Tabela 4.5.

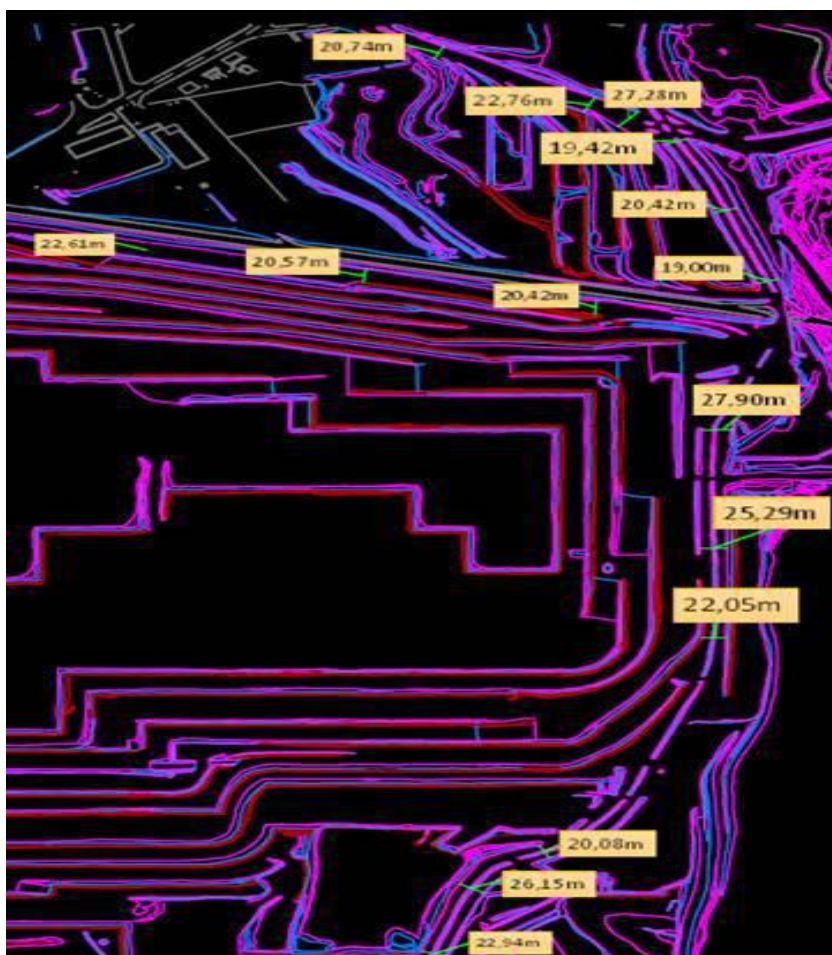


Figura 4-15 - Largura das vias levantadas via CAD. Fonte: Autoria própria.

Tabela 4-5 - Dados referentes ao levantamento realizado sobre as vias.

TRECHO	ESPECIFICAÇÃO	LARGURA TOTAL DA VIA (m)	LARGURA DE CADA VIA (2 SENTIDOS) (m)	LARGURA MÉDIA DE CADA VIA (2 SENTIDOS) (m)
A - B	TRECHO TREVO PLAT. 1140 - PLAT. 1180	22,94	11,47	12,04
C - D	TRECHO TREVO PLAT. 1140 - PLAT. 1180	26,15	13,08	
E - F	TRECHO TREVO PLAT. 1140 - PLAT. 1180	20,08	10,04	
G - H	TRECHO TREVO PLAT. 1140 - PLAT. 1180	22,05	11,03	
I - J	TRECHO TREVO PLAT. 1140 - PLAT. 1180	25,29	12,65	
K - L	TRECHO TREVO PLAT. 1140 - PLAT. 1180	27,90	13,95	
M - N	TRECHO GALPÃO - M2 PLAT. 1140	20,42	10,21	10,60
O - P	TRECHO GALPÃO - M2 PLAT. 1140	20,57	10,29	
Q - R	TRECHO GALPÃO - M2 PLAT. 1140	22,61	11,31	
S - T	TRECHO TREVO PLAT. 1140 - PONTO DE ALIM. 2	19,00	9,50	9,81
U - V	TRECHO TREVO PLAT. 1140 - PONTO DE ALIM. 2	20,42	10,21	
W - X	TRECHO TREVO PLAT. 1140 - PONTO DE ALIM. 2	19,42	9,71	
Y - Z	TRECHO PA 2 - ABASTEC. DE ÁGUA DOS PIPAS	27,28	13,64	11,80
A' - B'	TRECHO PA 2 - ABASTEC. DE ÁGUA DOS PIPAS	22,76	11,38	
C' - D'	TRECHO PA 2 - ABASTEC. DE ÁGUA DOS PIPAS	20,74	10,37	

Fonte: Autoria própria.

Após realizar a medição com trena da largura que a água bombeada pelo caminhão conseguia alcançar em uma via, chegou-se ao valor de 9,77 m. Com os dados da Tabela 4.5, confeccionou-se o seguinte gráfico (Figura 4.16).

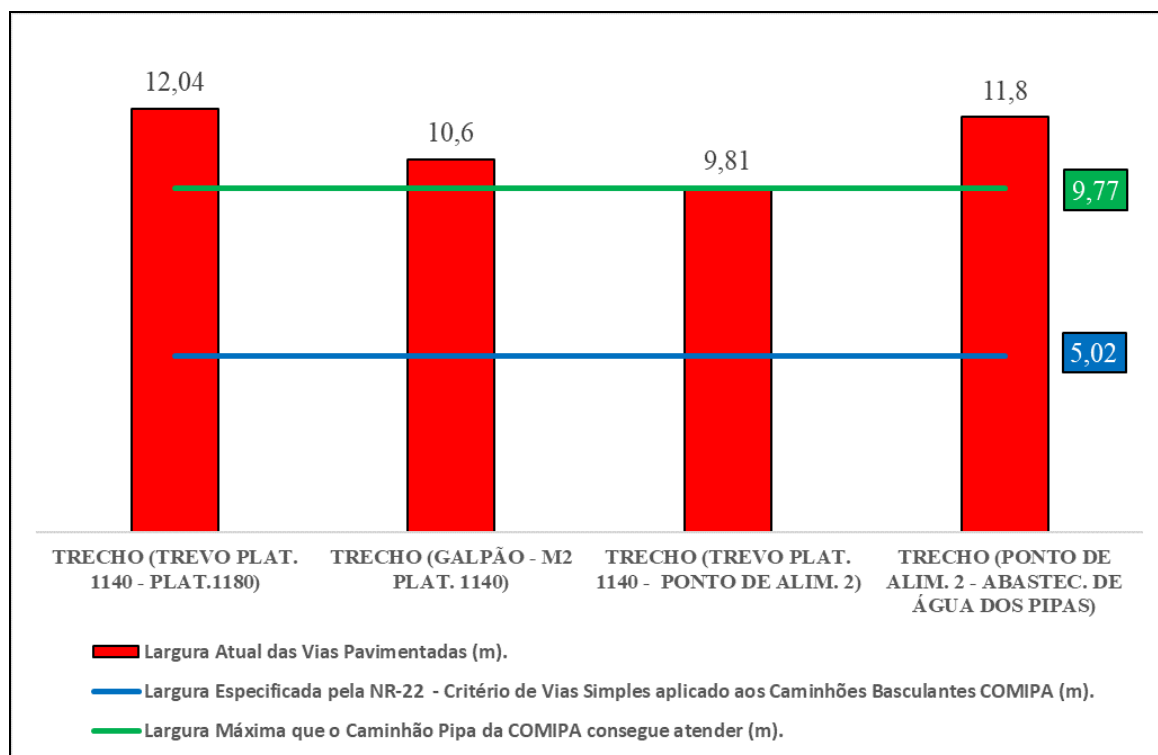


Figura 4-16 - Gráfico referente a eficácia de atendimento das vias estabelecidas por parte do caminhão pipa da companhia. Fonte: Autoria própria.

A partir deste gráfico, consegue-se perceber que, em questões de segurança, todas as 4 vias analisadas atendem aos critérios de segurança segundo a NR-22.7.6 (5,02 m). No entanto, a largura das vias excede em quase o dobro o recomendado pela norma além de não apresentarem um valor padrão, fator este que influencia na eficácia do atendimento das vias por parte do caminhão pipa da companhia durante a irrigação. Como a largura máxima que o caminhão pipa consegue atender é de 9,77 m, somente no trecho de especificação “TRECHO PA 2 - ABASTEC. DE ÁGUA DOS PIPAS” (9,81 m) o atendimento é feito de forma satisfatória, enquanto nas demais vias existe o problema de formação de camadas de material solto nos cantos das leiras, fatores estes que atrapalham o desempenho da umectação. Outro fato curioso é que, se a largura das vias atendesse exatamente o mínimo exigido pela norma, o caminhão pipa conseguiria atender os dois lados da via caso o mesmo se locomovesse no meio das duas pistas durante a irrigação. Tal atividade faria com que, na maioria das vezes caso não houvessem leiras centrais, fosse diminuído pela metade a quantidade de vezes que o caminhão pipa necessita de passar em determinada via, além de reduzir o consumo de água do equipamento também pela metade.

#### 4.5 Teste piloto de previsibilidade de irrigação

Os resultados obtidos pelo teste piloto sobre previsibilidade de irrigação podem ser visualizados na Tabela 4.6.

Tabela 4-6 - Tabela referente aos dados coletados durante o levantamento.

<b>Quantidade nominal de caminhões que atendem à praça</b>	<b>Tempo de irrigação (min)</b>	<b>Tempo úmido da praça (min)</b>	<b>Tipo de irrigação</b>	<b>Velocidade (km/h)</b>
8	4,65	27,23	2 aspersores	15
8	4,48	35,82	2 aspersores	15
8	5	43,00	2 aspersores	15
9	4,17	37,93	2 aspersores	15
9	4,42	43,60	2 aspersores	15
9	4,42	43,60	2 aspersores	15
9	4,92	55,40	2 aspersores	15
9	4,35	33,74	2 aspersores	15
9	4,50	42,10	2 aspersores	15
9	4,19	39,00	2 aspersores	15
<b>Média</b>	<b>4,51</b>	<b>40,14</b>	<b>2 aspersores</b>	<b>15</b>

Fonte: Autoria própria.

Com estes dados consegue-se apresentar, em escala piloto, quanto tempo a água consegue ficar retida no solo até que haja uma nova necessidade de atendimento. Vale lembrar que o tempo de irrigação e tipo de irrigação foi levantado somente para garantir representatividade no que diz respeito à metodologia de atendimento de praça. Devido ao tempo demasiado que os testes exigem, associados às diversas variáveis externas que dificultam a forma de analisar o teste, propõe-se que testes mais detalhados e estratificados sejam realizados, afim de garantir maior representatividade. Isto garantirá que os valores oscilem menos, já que para o realizado, os valores oscilaram entre 27,23 min e 55,40 min, provavelmente devido não só fatores climáticos como temperatura, velocidade dos ventos e umidade do ar; como também a variáveis não antes pensadas, como utilizar o número de caminhões basculantes que realmente passaram na praça durante o levantamento ao invés de utilizar a quantidade de caminhões solicitada para aquela frente. Para o presente momento, o valor referência sobre a previsibilidade para atendimento de praça do P.A.2 é a média de

todos os levantamentos, sendo ele de 40,14 min (seguindo, no mínimo, os mesmos critérios impostos pela metodologia).

## 5 CONCLUSÕES

Este estudo teve por objetivo a mensuração do consumo associado aos eventuais desperdícios de água provenientes da frota de caminhões pipa que atendem à companhia “COMIPA”. A partir das análises, conclui-se que a empresa tem a necessidade de aprimoramento da aplicação da gestão de frota voltada para os equipamentos de apoio, neste caso para os caminhões pipas, de modo que o impacto disto tem como consequência a possibilidade não só de insegurança operacional para os equipamentos que trafegam nas vias como o superdimensionamento da frota de caminhões pipa, além da dificuldade de padronização de boas práticas as quais poderiam ser propostas.

Em relação ao apontamento das atividades pelos operadores dos caminhões pipa, recomenda-se que os mesmos sejam melhor instruídos, de forma a evitar que apareçam anomalias no banco de dados. Primeiramente, deveriam ser alteradas no sistema as opções de “Deslocamento” para “Deslocamento carregado” e “Deslocamento descarregado”, afim de se obter dados mais representativos da atividade. Outro ponto seria que, após a adequação do sistema, todos os operadores fossem instruídos a apontar a opção de deslocamento no intervalo entre irrigações, conforme um dos motoristas já vem praticando.

Sobre o desempenho do caminhão da frota própria em relação aos terceiros, percebeu-se que uma análise mais criteriosa pode ser aplicada para as contratações dos caminhões terceiros, de maneira que os mesmos apresentem desempenho operacional mais eficiente, sendo que as variáveis capacidade e vazão do caminhão pipa são indispensáveis durante a sondagem.

No que diz respeito ao abastecimento de água utilizado, como percebeu-se uma falha bem simples de se resolver, o setor administrativo foi comunicado e a substituição do registro hoje utilizado por uma válvula de controle imediato já está em andamento. Para um melhor controle do consumo de água, uma possibilidade seria a adição de um medidor de vazão neste ponto de abastecimento, sendo esta também uma medida simples e barata de ser realizada. Outra possibilidade que não pode ser ignorada, apesar de ser bastante cara e sofisticada, seria a automatização da frota de caminhões pipa próprios com sensores de nível e a criação de uma interface simplificada entre o sistema e o operador, de forma que se consiga, com maior nível precisão, em que nível a água se encontra dentro do tanque, parâmetro este que garante não só uma otimização no abastecimento de água como também em meio à atividade de umidificação.

Devido ao grande tempo gasto, tanto no ponto de abastecimento, quanto no deslocamento até a frente de trabalho, sugere-se que sejam criados novos pontos de abastecimento mais próximos a região da mina, afim de se evitar que os equipamentos transitem na forma de hora trabalhada não produtiva (sendo que a hora produtiva aconteceria somente quando fosse realizada a umidificação propriamente dita), fazendo com que não necessariamente se garanta qualidade, mas um número maior de umidificações. Uma sugestão seria a apropriação do antigo ponto de abastecimento de água nas proximidades do P.A. 2, o qual já se apresentou em operação, mas atualmente se encontra inoperante.

Sobre a largura atual das vias, tem-se como ideal em qualquer mina que todas as vias sejam padronizadas em um único valor. Para o caso da companhia, apesar das vias não apresentarem valor padrão, a mesma não apresenta problemas de segurança relacionados aos tamanhos das vias (vias maiores que o especificado pela norma). Para as próximas vias a serem formadas, ou para um possível ajuste das atuais, recomenda-se que a largura seja maior que o limite inferior especificado pela Norma, mas que não chegue a valores tão altos como o dobro da especificação. Desta forma, o caminhão pipa teria a possibilidade de atender com menor frequência as vias, o que, em geral, reduziria o consumo de água da operação.

O teste piloto de previsibilidade de irrigação forneceu dados bastante simples e superficiais, mas que servem de base para diversos trabalhos futuros que a empresa pode realizar, tanto na área de análise de variáveis mediante a atividade de umidificação quanto no estudo de viabilização de algum supressor de poeira aplicado à praça de carregamento utilizada neste estudo.



## REFERÊNCIAS

ABUD, M. C. et al. (2013). **Operação e Manutenção dos Poços de Rebaixamento em Mina a Céu Aberto, um Estudo de Caso do Complexo Mineroquímico de Araxá da Vale Fertilizantes**, XVIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Campinas, São Paulo.

ADDO, J.Q.; SANDERS, T.G. Effectiveness and Environmental Impact of Road Dust Suppressants. **Mountain Plains Consortium**. Fargo, Dakota do Norte, Estados Unidos, 1995.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA; INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO – IBRAM. **A Gestão dos Recursos Hídricos e a Mineração**. Brasília: Coordenação Geral das Assessorias, 2006. 334 p.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 22 – Segurança e Saúde Ocupacional na Mineração**. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2011.

BROWN, E.T. (2013). **Water for a Sustainable Minerals Industry - a Review, Water in Mining**. The Australian Institute of Mining and Metallurgy. Brisbane, Australia, p. 3-14.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DE SÃO PAULO (Sabesp). **Dicas de economia**. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=140>> Acesso em: 19 de setembro de 2018.

CUSTODIO, E. (2000). **Effects of groundwater development on the environment**, 1st Joint World Congress on Groundwater, Fortaleza, Ceará.

EVANS, John M.; PERLMAN, Howard. **Water Cycle**. Traduzido por Maria Helena Alves. Disponível em: <<https://water.usgs.gov/edu/watercycle.html>>. Acesso em: 09 jun. 2006.

GOMES, Tiago Antônio Torres. **Caracterização Hidrogeológica e Simulação da Jazida de Pirocloro Associada ao Complexo Alcalino Carbonatítico do Barreiro, Araxá-MG**. 2017. 140 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geologia e Recursos Naturais, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2017.

GUNSON, A. J. et al. Reducing mine water requirements. **Journal of Cleaner Production**. Vancouver, Canadá, p. 71-82, set. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO – IBRAM. **Gestão para a sustentabilidade na mineração - 20 anos de história**, 2013. 167p.

NGUYEN, M. T.; ZIEMSKI, M.; VINK, S. Application of an exergy approach to understand energy demand of mine water management options. **Journal of Cleaner Production**. Brisbane, Queensland, Austrália, p. 1-10, abr. 2014.

NORTHEY, Stephen A. et al. Water footprinting and mining: Where are the limitations and opportunities? **Journal of Cleaner Production**. Clayton, Victoria, Austrália, p. 1098-1116, jul. 2016.

OLIVEIRA, Ana Paula Almeida de; LUZ, Adão Benvindo da. Hidrologia e Hidrogeologia. In: OLIVEIRA, Ana Paula Almeida de; LUZ, Adão Benvindo da. **CETEM: Recursos Hídricos e Tratamento de Águas na Mineração**. 24. ed. Rio de Janeiro: Ricardo Melamed, 2001. Cap. 3. p. 8-10.

THOMPSON, R.J.; VISSER, A.T. Selection, performance and economic evaluation of dust palliatives on surface mine haul roads. **The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy**. [s.i.], p. 435-449, jul. 2007.

THOMPSON, R.J., VISSER, A.T., SMITH, R.A.F., and FOURIE, G.A.F. Final report for project SIMOT 308. **Mine Health and Safety Council Safety in Mines Research Advisory Committee, Other Mines Sub-committee, Department of Minerals and Energy**. África do Sul. 1997.

**ANEXO 1 – DADOS REFERENTES AO LEVANTAMENTO REALIZADO NO  
ABASTECIMENTO DE ÁGUA DOS CAMINHÕES PIPA**

TEMPO DE DESLOCAMENTO DO MOTORISTA (s)		TEMPO OPERANDO O REGISTRO (s)		TEMPO TOTAL DE DESLOCAMENTO DO MOTORISTA (s)	TEMPO TOTAL NO REGISTRO (s)
IDA	RETORNO	ABRIR	FECHAR		
22	25	7	17	47	24
28	24	10	10	52	20
25	32	8	11	57	19
24	26	10	12	50	22
23	24	11	10	47	21
23	27	10	13	50	23
23	35	8	12	58	20
25	28	9	10	53	19
26	27	8	12	53	20
27	27	11	16	54	27
22	26	10	13	48	23
22	30	11	11	52	22
23	26	11	13	49	24
24	30	10	12	54	22
24	26	11	14	50	25
22	23	10	12	45	22
26	32	16	13	58	29
24	28	11	16	52	27
24	31	13	9	55	22
21	22	9	10	43	19
20	27	10	10	47	20
22	26	11	11	48	22
25	23	10	15	48	25
22	21	10	15	43	25
23	25	11	15	48	26
22	26	12	13	48	25
21	24	10	12	45	22
24	24	12	15	48	27
26	21	14	12	47	26
<b>23,55</b>	<b>26,41</b>	<b>10,48</b>	<b>12,55</b>	<b>49,97</b>	<b>23,03</b>