

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO  
Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto  
Programa de Pós-Graduação Lato Sensu em Beneficiamento Mineral

---



**JULIANA ALVES ROBERTO DIAS**

**VAZÃO MEDIDA POR SONAR:  
Tecnologia aplicada a mineração**

OURO PRETO  
2016

JULIANA ALVES ROBERTO DIAS

**VAZÃO MEDIDA POR SONAR:  
Tecnologia aplicada a mineração**

Monografia apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como requisito para obtenção do título de Especialista em Beneficiamento Mineral.

Área de concentração: Beneficiamento Mineral

Orientador: Prof. José Aurélio Medeiros

OURO PRETO  
2016

D541v Dias, Juliana Alves Roberto.  
Vazão de polpas minerais medida por sonar [manuscrito]: tecnologia aplicada mineração / Juliana Alves Roberto Dias. - 2016.

64f.: il.: color; tabs.

Orientador: Prof. Dr. José Aurélio Medeiros da Luz.

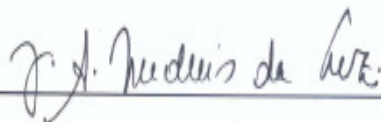
Monografia (Especialização). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia de Minas.

1. Fluxômetro. 2. Tecnologia mineral - Sonar. 3. Minério de Ferro. 4. Vazante. I. Luz, José Aurélio Medeiros da. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 622.01

## FOLHA DE APROVAÇÃO

Monografia aprovada, em 15 de Junho de 2016 pelo professor:



---

Prof. José Aurélio Medeiros da Luz

Universidade Federal de Ouro Preto

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela coragem, garra e força para enfrentar e superar as dificuldades encontradas nesta caminhada. Aos meus familiares por terem me apoiado nos momentos difíceis e nos alegres. Ao meu orientador José Aurélio por ser bastante rigorosa quanto à elaboração do trabalho em busca do meu melhor. A todas as pessoas que contribuíram de forma direta e indireta para a elaboração deste trabalho. Aos profissionais participantes pela paciência durante as entrevistas. Agradeço também aquelas pessoas que colocaram obstáculos em meu caminho, pois eles nos fazem caminhar.

## EPÍGRAFE

“Quando se deparar com alguma dificuldade, lembre-se da sabedoria da água, que nunca discute com seus obstáculos, ela sempre os contorna”.

Mestre Ariévlis

## RESUMO

O tema desse estudo é abordar a utilização do medidor de vazão por tecnologia sonar especificamente voltado para o minério de ferro com relação ao balanço de massa. A escolha do tema se dá pela representatividade do mercado de mineração correlacionado a importância da medição de vazão no aproveitamento da substância objeto do processo de extração mineral. Na categoria de medidores de vazão por tecnologia sonar os estudos são escassos, trata-se de uma tecnologia inovadora e pouco difundida entre as indústrias de mineração. O referido equipamento utiliza princípios de medição distintos das tecnologias convencionais e faz medições não intrusivas, precisas e confiáveis numa ampla gama de vazões monofásicas e multifásicas. Questiona-se o funcionamento do medidor de vazão por tecnologia sonar na extração de minério de ferro e qual o resultado pode ser obtido no balanço de massa. O objetivo da pesquisa é conhecer o processo de extração de minério e o uso de um medidor de vazão por tecnologia sonar especificamente no balanço de massa. Através da revisão bibliográfica acerca do assunto demonstra-se a importância para os profissionais que atuam na área, em conhecer e analisar as funções a que se propõem o referido equipamento e os possíveis resultados no processo visto se tratar de recente tecnologia. Conclui-se que o medidor de vazão por tecnologia sonar pode solucionar antigos problemas da medição de vazão em processos de alta complexidade e apresenta positivo desempenho e maior controle sobre processos como a flotação, fundamental para o correto balanço de massa do processo.

Palavras-chave: Medidor de Vazão, Sonar, Minério de Ferro.

## **ABSTRACT**

The theme of this study is to address the use of the flow meter by sonar technology specifically geared toward the iron ore with respect to mass balance. The choice of theme is made by the representative of the mining market, the importance of correlated flow measurement object substance in the use of the process of mineral extraction. In the category of flow meters for sonar technology studies are scarce, it is an innovative technology and little known among the mining industry. This equipment uses different measurement principles of conventional and is non-intrusive measurements, accurate and reliable in a wide range of single phase and multiphase flows. Objections to the operation of the flow meter by sonar technology in the extraction of iron ore and what can be achieved in the mass balance. The research goal is to understand the process of ore extraction and the use of a flow meter for sonar technology specifically in the mass balance. Through literature, review on the subject demonstrates the importance for professionals working in the area, know and analyze the functions of their proposal to such equipment and the possible outcomes in the process, as this is the latest technology. It was concluded by the flow meter technology can solve old problems of flow measurement in a highly complex process and presents a positive performance and greater control over processes such as flotation, critical for the correct mass balance of the process.

Keywords: Flow meter, Sonar, Iron Ore.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Beneficiamento de minério .....	20
Figura 2: Transmissores de Pressão.....	30
Figura 3: Transmissor multivariável.....	31
Figura 4: Transmissor ultrassônico .....	32
Figura 5: Transmissor tipo vortex .....	33
Figura 6: Transmissor magnético .....	34
Figura 7: Transmissor Coriolis.....	34
Figura 8: Transmissor por radar .....	38
Figura 9 - Visão esquemática de um medidor de vazão tipo eletromagnético .....	38
Figura 10: Medidor de vazão eletromagnético .....	40
Figura 11 – Funcionamento do medidor por tecnologia sonar .....	41
Figura 12: Estruturas de vórtices nas correntes de convecção com o fluxo do fluido .....	42
Figura 13: Corrente de vórtices .....	42
Figura 14: Transmissor com Software de Processamento de dados .....	43
Figura 15: Conjunto de sensores montados externamente sobre a tubulação .....	43
Figura 16: Medidor por sonar já instalado .....	45
Figura 17: Medidores por sonar instalados 2 .....	45
Figuras 18: Preparação da tubulação .....	45
Figuras 19: Instalação do sensor. ....	46
Figuras 20: Instalação da cobertura e conexões de cabos .....	46
Figura 21: Medidor por sonar na coluna de flotação .....	47
Figura 22: Balanço de Massa – Flotação – Medidores .....	48
Figura 23: Medidor por sonar sem deterioração.....	49

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração.

MME - Ministério de Minas e Energia.

PAE - Plano de Aproveitamento Econômico

PIB - Produto Interno Bruto .

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>15</b>
2.1 Conceitos básicos da extração de minério.....	15
2.3 Beneficiamento de minério de ferro, balanço de massa e recuperação metalúrgica .....	18
2.3.1 Balanço de massa e recuperação metalúrgica .....	22
2.4 Flotação.....	23
2.4.1 Flotação do minério de ferro e os medidores de vazão.....	25
2.5 Medidores de Vazão .....	27
2.5.1 Conceito .....	28
2.5.2 Funcionamento.....	28
2.5.3 Tipos .....	29
2.6 Medidor de vazão para minério de ferro .....	36
2.6.1 Medidor de vazão eletromagnético.....	37
2.6.2 Medidor de vazão por sonar.....	40
2.7 Soluções da tecnologia sonar para a indústria de mineração .....	44
<b>3 ANÁLISES DE DADOS .....</b>	<b>49</b>
3.1 Medidores por Sonar X Medidores De Vazão Eletromagnéticos .....	49
<b>4 CONCLUSÕES .....</b>	<b>54</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>56</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>61</b>
APÊNDICE A .....	61
APÊNDICE B.....	63

## 1 INTRODUÇÃO

O Instituto Brasileiro de Mineração (Ibram)<sup>1</sup> divulgou que depois de resultados abaixo do esperado em 2015, as empresas mineradoras não tem a garantia de resultados melhores nos próximos dois anos. Especialistas sinalizaram, porém, que mesmo enfrentando um cenário difícil, as empresas do setor ainda podem reagir. Mesmo que o preço do minério de ferro nos mercados internacionais tenha registrado quedas mais acentuadas do que o previsto, é possível que a commodity renove suas mínimas em 2016, reforçando que os preços do minério de ferro estão atrelados aos do petróleo. (IBRAM, 2016)

Considerando um cenário atual de desaceleração da demanda internacional e um forte recuo nos preços dos metais, chegando ao menor nível desde 2009, o minério de ferro está mais de 80% abaixo de seu pico de 2011. Ou seja, está-se diante de momento de excesso de oferta, em que se depara com a necessidade de operar os projetos mais competitivos e buscar a redução de custos (MARTINS, 2016).

O setor da mineração vem passando por profundas transformações, demonstrando um momento também de oportunidade de trabalhar em prol de um futuro mais positivo para a mineração. Pesa nesta pesquisa, uma abordagem de cunho tecnológico, uma vez que sensores, tecnologias em robótica, em um rol de informações cada vez mais rápidas, revela um crescente destaque em segurança e sustentabilidade no setor. Além disso, mostra-se necessário uma progressiva renovação dos profissionais nas empresas, aprimorando o setor e significando um esforço para o alcance de melhorias nos resultados das empresas extrativistas e afins.

Órgãos e entidades diversas ligadas a mineração (2016) aponta que o setor se consolidou como uma força motriz da economia e da tecnologia do setor metalmeccânico e da mineração, apresentando soluções inovadoras para as empresas visitantes e gerando um grande volume de negócios (METAL MINERAÇÃO, 2016).

---

<sup>1</sup>IBRAM. (2016). Disponível em [www.ibram.org.br](http://www.ibram.org.br).

Rezende (2003) explica que o setor de Mineração continua a líder da Indústria brasileira, cada vez mais com elevado conteúdo tecnológico divulgado e premiado, trazendo a percepção geral de que atualmente a Mineração, no Século XXI é, essencialmente, tecnologia. E é sabido que a vazão é umas das principais variáveis do processo de extração de minério e considerando as variedades dos processos e produtos existentes para se controlar e medir a vazão de fluxos, em especial, a polpa de minério de ferro, tem-se sempre um medidor mais apropriado para determinada aplicação. Todo projeto de beneficiamento de minério deve fazer parte do Plano de Aproveitamento Econômico (PAE) entre eles o balanço de massa e o balanço metalúrgico (BRASIL, 2010)

As operações de tratamento de minérios, entre eles o minério de ferro, seguem procedimentos específicos de quantificação de parâmetros que mensuram o teor do material, a quantidade de água e a quantidade de sólido envolvidos naquele determinado processo – o conjunto desses parâmetros implica no balanço de massas de um processo.

O tema desse estudo é a utilização do medidor de vazão por tecnologia sonar especificamente voltado para o minério de ferro com relação ao balanço de massa. A escolha do tema se dá pela representatividade do mercado de mineração correlacionado a importância da medição de vazão no aproveitamento da substância objeto do processo de extração mineral.

Ainda segundo Rezende (2003), na indústria de mineração os medidores de vazão são equipamentos de alta tecnologia e entre os equipamentos dessa linha, existe uma variedade de tipos de medidores de vazão, simples e sofisticados, para as mais diversas aplicações. O que define qual tipo usar é o tipo do fluido e seu estado físico (líquido ou gás), das características de precisão e confiabilidade desejadas e de outros fatores.

Na categoria de medidores de vazão por tecnologia sonar os estudos são escassos, trata-se de uma tecnologia inovadora e pouco difundida entre as indústrias de mineração. O referido equipamento utiliza princípios de medição distintos das tecnologias convencionais e faz medições não intrusivas, precisas e confiáveis numa ampla gama de vazões monofásicas e multifásicas.

Diante desse cenário, a pergunta que norteia esse trabalho é: como funciona o medidor de vazão por tecnologia sonar na extração de minério de ferro e qual o resultado pode ser obtido no balanço de massa?

O objetivo pesquisa é conhecer o processo de extração de minério e o uso de um medidor de vazão por tecnologia sonar voltado para o balanço de massa. Para alcançar o objetivo geral foi necessário abordar o panorama do desenvolvimento do setor de mineração e sua importância para a economia do País, além dos aspectos gerais do processo de extração de minério de ferro. De forma mais aprofundada foi estudado o balanço de massa e os medidores de vazão comumente utilizados no processo que indica o percentual de ar incorporado no fluido e os resultados obtidos na utilização do equipamento frente ao medidor mais utilizado atualmente, o eletromagnético.

Através da revisão de bibliográfica, fundamentou-se a reflexão acerca sobre o assunto. Foi utilizado material que incluiu obras de autores que tratam do tema em pauta, artigos e periódicos pertinentes, publicações da empresa que patenteou a tecnologia sonar para medição de vazão e notícias de fontes seguras e idôneas no tocante ao assunto. O levantamento documental também compõe a fonte de pesquisa desse estudo, onde se têm os relatórios das primeiras instalações do equipamento no estado de Minas Gerais. Para complementar esse estudo e permitir uma interpretação sobre a aplicabilidade do medidor de vazão por tecnologia sonar em empresas de mineração, foram realizadas duas entrevistas com um engenheiro especializado em controle de fluidos, especialmente minérios, e então representante do medidor por sonar em Minas Gerais. Com base no material coletado se propõe uma reflexão sobre o tema e apresentam-se as considerações finais.

O crescimento significativo da indústria de mineração e a sua expressividade econômica por si só demonstram a necessidade do estudo. Além disso, é fundamental conhecer a medição correta da vazão de fluídos. Reafirma-se a importância de se conhecer medidor de vazão especificamente que utiliza tecnologia sonar na extração de minério, considerando o diferencial associado ao referido equipamento e a escassez de estudos que tratem do tema.

É extremamente importante para os profissionais que atuam na área, conhecer e analisar as funções a que se propõem o referido equipamento e os possíveis resultados no processo visto se tratar de recente tecnologia. A pesquisa permitirá aos profissionais da área, principalmente de engenharia de minas e também os acadêmicos da área e demais pessoas interessadas no tema, fazer dos conceitos e das considerações expostas nesse estudo, um importante instrumento

de conhecimento e futuras aplicações. Não se pretende de forma alguma esgotar as discussões sobre o assunto, mas, principalmente incitar novos estudos a respeito.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Conceitos básicos da extração de minério**

Para que se compreenda melhor o processo que envolve a questão da extração de minério, é preciso conceituar alguns termos básicos. De acordo com Parejo (2011), o mineral é definido como uma massa formada, em geral, por processos inorgânicos e de composição química predominantemente definida. É encontrado de forma natural na superfície da Terra e quase sempre no estado sólido. Tem-se a divergência que considera a água mineral e o mercúrio minerais que se encontram em estado líquido à temperatura ambiente. Já o minério é considerado mineral ou associação de minerais que são ou podem ser aproveitados economicamente. As substâncias minerais exploradas podem ser caracterizadas como material consolidado e demandam o uso de explosivos, e material friável ou plástico, que possibilitam a exploração manual ou mecanizada.

Para Ribeiro (2006, p. 62) é preciso “observar que a jazida é uma massa individualizada de substâncias minerais provida de valor econômico, e mina, a jazida em lavra, mesmo que suspensa”. Assim, o depósito mineral é a jazida e dada a sua exploração, tem-se a mina e esta, por conseguinte, se explorada é chamada de lavra. A que será considerada nesse estudo é a lavra em grande escala e com métodos modernos, sendo, portanto, compreendida como indústria extrativa mineral ou extração mecanizada.

É fundamental falar da mineração no que se refere aos processos, atividades e indústrias que visam à extração de substâncias minerais a partir de depósitos ou massas minerais, o que contempla também a exploração de petróleo e gás natural e até mesmo de água. Vale para fins desse estudo, somente a mineração industrial, que pode ser entendida como atividade industrial. A mineração de superfície que envolve, entre outras atividades, a drenagem da área e a descarga de águas, a remoção e o armazenamento ou a disposição de grandes volumes de resíduos sólidos e a remoção e o processamento do minério. (FERRAN, 2007)

### **2.2 Sobre extração do minério de ferro e a medição de vazão**



A extração de minério de ferro, nas minas cujo teor encontra-se abaixo de 55%, precisam passar por processos de beneficiamento para aumentar a concentração do mineral. Desta maneira, a elevação do teor de ferro contido no minério exige certo tipo de tecnologia e a construção de usinas que geralmente operam por via úmida, ou seja, utilizando água para transportar o minério (DA SILVA, 2005).

O autor acima, explica ainda que o fato de medir a vazão do minério que está sendo transportado por meio da água nas tubulações dentro da usina é uma das tarefas mais complexas e difíceis de realizar. Os problemas se referem em geral, a alta velocidade para evitar a sedimentação da polpa de minério e também na presença da abrasão são frequentes no processo. Tais fatores reduzem consideravelmente a vida útil dos equipamentos.

Realizando uma reflexão sobre a extração de minério de ferro, pode-se perceber a crescente exaustão de minas com alto teor do referido mineral. O que tem levado as usinas de beneficiamento desse minério a operarem com margens operacionais cada vez mais reduzidas, visto a necessidade de se concentrar minérios com teores mais baixos. A eficiência no processamento, de forma a extrair mais mineral de interesse utilizando-se os mesmos recursos disponíveis (insumos e matéria prima) tem total correlação com os medidores de vazão pois representa uma das formas de se alcançar essa eficiência como emprego adequado de controle de processo.

A importância do medidor de vazão é que, quando escolhido de forma apropriada para cada aplicação, e em especial para a polpa de minério de ferro, pode melhorar extraordinariamente suas operações, além de trazer grandes benefícios. Isto porque a vazão é considerada geralmente a variável mais importante dentro da indústria de extração de minérios, entre eles o minério de ferro. E a medição da vazão está intrinsecamente ligada com a qualidade do minério em questão e não obstante, está correlacionada ao do minério de ferro e ao custo desses produtos, da matéria-prima e outros produtos que serão adicionados numa mesma etapa do processo (REZENDE, 2003).

Para a autora, a necessidade de se compreender a vazão como variável de processo, chega a ser infinita e tem-se que a vazão é a variável mensurada com

maior constância e atenção na indústria de um modo geral e também na indústria de minério de ferro, e sendo a vazão é a variável mais importante, acaba sendo a mais medida. Em geral, sua medição é a que totaliza o maior erro de medição somado, conforme dados internacionais de imprecisão de medição de vazão reunidos em todo o mundo (PERSECHINI *et. al.* 2001).

Os autores explicam que a posição de destaque alcançado por essa variável de processo fez com que atualmente esta seja a variável que dispõe de um maior número de recursos tecnológicos para sua medição, sem esquecer que existe um grande esforço para sua medida em determinadas aplicações, visto que a medição da vazão feita corretamente exige muito conhecimento técnico, além do desenvolvimento das técnicas de medição já existentes em situações distintas de medição.

A medição volumétrica de vazão da polpa de minério de ferro é a mais utilizada e depende do conhecimento, comportamento e estudo de outras variáveis que a influenciam, tais como: velocidade de escoamento do fluido, viscosidade, temperatura, pressão, densidade específica e relativa. Desta forma, em sendo conhecidos os valores dessas variáveis de influência, será possível compensá-los, descartá-los ou ainda selecionar um tipo de medidor específico para tal aplicação (KRAEMER, 2005).

Para fins de melhor compreensão dessa pesquisa, considera-se a importância do medidor de vazão para o balanço de massa – que pode ser interpretado como a medida de fluxo e de concentração em um sistema, ou seja, toda entrada de matéria (qualitativa e quantitativa) deve encontrar uma saída quantificada como produto e resíduos (gás, líquido, sólido).

## 2.3 Beneficiamento de minério de ferro, balanço de massa e recuperação metalúrgica

Como os medidores de vazão são utilizados e aplicados dentro do processo de beneficiamento de minério, e no caso desse estudo, o minério de ferro, é de suma importância compreender tal processo, o balanço de massa e a recuperação metalúrgica.

O processo de beneficiamento dos minérios em geral se dá em diversas etapas. Assim que se obtém o minério de rochas nas minas, este é transformado em britas de tamanhos que variam de acordo com o uso industrial. Posteriormente, concentram-se os metais por meio da flotação, um processo de separação entre sólidos e líquidos com auxílio de bolhas de gás. O que sobra dessa operação é a lama, uma espécie de pó, com partículas muito pequenas (entre 50 e 100 micrômetros ou milionésimos de metro) e, nessa na lama, ainda encontram-se partes dos metais de interesse, dispersas em meio a carbonatos, silicatos e outros minerais (MME, 2011).

Luz & Lins (2001) confirmam:

Tratamento ou Beneficiamento de minérios consiste de operações aplicadas aos bens minerais visando modificar a granulometria, a concentração relativa das espécies minerais presentes ou a forma, sem contudo modificar a identidade química ou física dos minerais. Há, no entanto, autores que defendem um conceito mais amplo para o tratamento, como sendo um processamento no qual os minerais podem sofrer até alterações de ordem química, resultantes de simples decomposição térmica ou mesmo de reações típicas geradas pela presença do calor. A aglomeração (sinterização e pelletização) de minérios finos, ustulação e calcinação são consideradas, dentro desse conceito, como tratamento de minérios; preferimos considerá-las como sendo operações pirometalúrgicas.

O processamento mineral ou tratamento de minérios diz respeito enfim, a uma série de processos que tem o objetivo de separar fisicamente os minerais úteis da ganga (a parte do minério que não tem interesse econômico e que é rejeitada) e a obtenção final de um concentrado, com um teor elevado de minerais úteis. Os métodos utilizados podem ser físicos ou químicos e também divididos quase que sequencialmente em:

- fragmentação primária;
- granulação;
- moagem;

- classificação (pode estar incluída entre os vários tipos de fragmentação e concentração);
- concentração.

Tais etapas podem apresentar nomes diferentes, variando de autor para autor. Porém, o que vale ressaltar é que o resultado da concentração é o produto final da atividade de uma mina, sendo precificado e vendido de acordo principalmente de acordo com o teor de metal que contem.

As etapas do beneficiamento de minério como visto acima, refere-se à obtenção de um minério concentrado<sup>2</sup>, onde é necessário que os minerais estejam fisicamente liberados, que implica em que uma partícula deve apresentar, como ideal esperado, uma única espécie mineralógica. E que para se tenha a liberação do mineral, o minério em questão é submetido a uma operação de redução de tamanho, cominuição, isto é, britagem e/ou moagem, que pode variar de centímetros até micrometros (LUZ; LINS, 2004).

Os autores dizem ainda que tais as operações de redução de tamanho tem um custo elevado (consumo de energia, meio moedor, revestimento etc.), portanto, deve-se fragmentar só o que realmente for necessário para a operação seguinte. Para evitar uma cominuição em excesso, utiliza-se operações de separação por tamanho ou classificação (peneiramento, ciclonação etc.), nos circuitos de cominuição. Contando que o minério sofreu uma redução de tamanho, promovendo a liberação adequada dos seus minerais, estes podem ser submetidos à operação de separação das espécies minerais, obtendo-se, nos procedimentos mais simples, um concentrado e um rejeito.

Quando se fala em concentração, tem-se a necessidade de remover a maior parte da ganga, presente em grande proporção no minério. Já a purificação consiste em remover do minério (ou pré-concentrado) os minerais contaminantes que ocorrem em pequena proporção. Na grande maioria das vezes, as operações de concentração são realizadas a úmido o que significa dizer que antes do produto ser

---

<sup>2</sup> Conforme explicado por Luz e Lins (2004) As operações de concentração e separação seletiva de minerais baseiam-se nas diferenças de propriedades entre o mineral-minério (o mineral de interesse) e os minerais de ganga. Entre estas propriedades se destacam: peso específico (ou densidade), suscetibilidade magnética, condutividade elétrica, propriedades de química de superfície, cor, radioatividade, forma etc. Em muitos casos, também se requer a separação seletiva entre dois ou mais minerais de interesse.

transportado, ou mesmo adequado para a indústria química ou ainda para a obtenção do metal por métodos hidro-pirometalúrgicos (áreas da metalurgia extrativa), é preciso eliminar parte da água do concentrado. Tais operações compreendem desaguamento (espessamento e filtragem) e secagem e, geralmente, na ordem citada. O beneficiamento do minério é demonstrado na figura 1, a seguir:

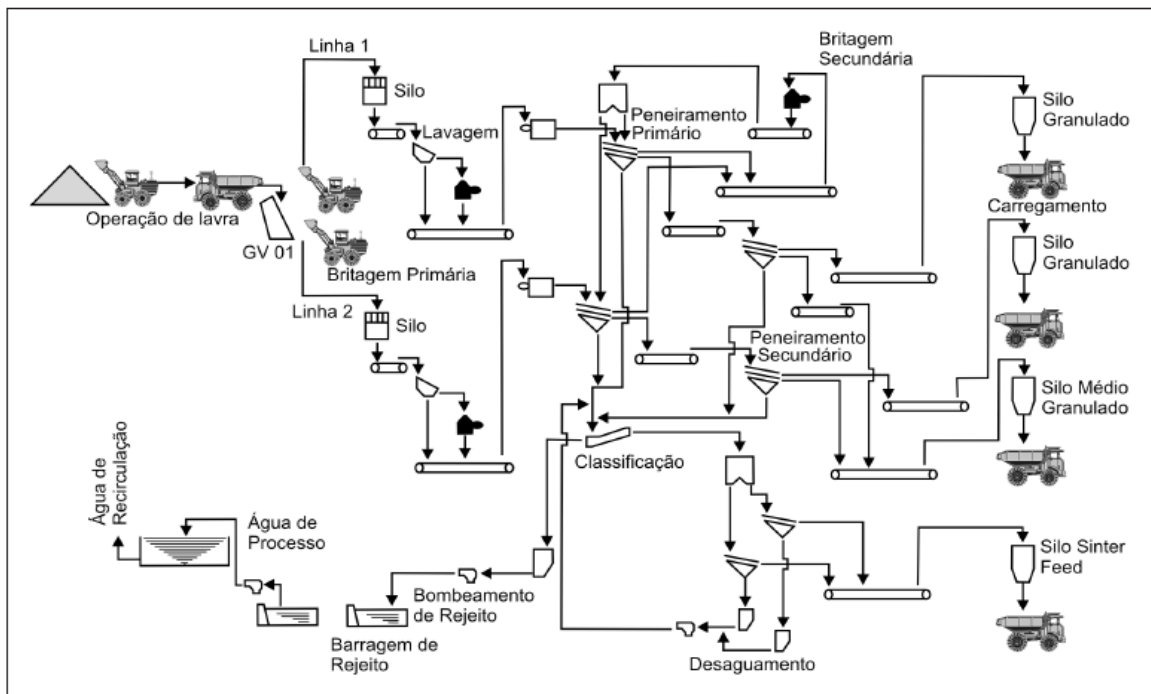


Figura 1 – Beneficiamento de minério.  
Fonte: SAMPAIO & PENA, 2001.

Segundo a NRM 18 - Beneficiamento todo projeto de beneficiamento de minérios deve:

- aperfeiçoar o processo para obter o máximo aproveitamento do minério e dos insumos, observadas as condições de economicidade e de mercado;
- desenvolver a atividade com a observância dos aspectos de segurança, saúde ocupacional e proteção ao meio ambiente; e
- todo projeto de beneficiamento de minério deve fazer parte do Plano de Aproveitamento Econômico (PAE).

Brocchi (2010) explica que para compreender o beneficiamento do minério de ferro, especificamente, entende-se que o minério, normalmente, precisa ser submetido a processos físicos de diferentes formas (fragmentação, moagem,

separação, etc.). Entretanto, existem em alguns casos tais processos podem estar apenas voltados para uma aglomeração das frações mais finas do minério ou para uma separação em frações granulométricas bem definidas da matéria-prima - caso das britas. Nestes casos, o processo físico pode ser entendido como sendo uma etapa de adequação granulométrica e tal situação ocorre no processamento de minério de ferro de alto teor e de alguns minerais industriais.

O autor anteriormente citado, afirma que:

Os minerais industriais podem sofrer algum ajuste granulométrico para serem utilizados, porém alguns minérios de ferro não precisam ser concentrados pois já são constituídos praticamente de um só mineral, que é o de interesse. Estes podem ser subdivididos em 2 grupos, os granulados (já encontrados no tamanho ideal para entrar na etapa química : alto-forno) e os finos ( que precisam ser aglomerados). Mas a maioria dos minérios (inclusive alguns de ferro) precisam passar pela preparação ( liberação do mineral de interesse) e por processos de separação do mineral de interesse (concentração) (BROCCHI, 2010).

Portanto, tratar o minério nada mais é do que processá-lo. Esse processamento tem como objetivo preparar a matéria-prima para os processos químicos.

Luz & Lins (2004, p.15-16) ainda fazem a seguinte afirmação:

É impossível, na prática, obter uma separação completa dos constituintes minerais. Sabe-se, como regra geral, que quanto maior o teor dos concentrados, maiores são as perdas, ou seja, mais baixas são as recuperações. Como a obtenção de teores mais altos e melhores recuperações normalmente implica num aumento de custo do tratamento, para a obtenção de maiores lucros esses vários itens devem ser devidamente balanceados. Deve-se sempre ter em mente que os custos decorrentes de uma etapa adicional de tratamento de um determinado bem mineral não devem ser maiores do que a agregação de valor ao produto assim obtido, salvo em situações especiais (em caso de guerra, por exemplo). O beneficiamento de minério, como toda e qualquer atividade industrial, está dirigido para o lucro. Há porém um conceito social que não pode ser desprezado, qual seja, o princípio da conservação dos recursos minerais, por se tratar de bens não renováveis. As reservas dos bens minerais conhecidos são limitadas e não se deve permitir o seu aproveitamento predatório, pois o maior lucro obtido, em menor prazo possível, dificilmente estará subordinado aos interesses sociais. Diz-se, a respeito, em contraposição à agricultura, que “minério só dá uma safra”.

A concentração é uma das etapas mais importantes do beneficiamento de minério, que ocorre após a liberação satisfatória do mineral de interesse em que é necessário separá-lo do resto do minério, ou seja, concentrá-lo, e a apreciação quantitativa do processo de concentração é o balanço de massa.

### 2.3.1 Balanço de massa e recuperação metalúrgica

O balanço de massa, tem extrema importância na indústria extrativa mineral, isso porque através dele, tem-se entre muitas informações, a quantidade/tonelagem de mineral processado. Por meio do balanço de massa, obtém-se o teor do minério de ferro que refere-se ao percentual do mineral presente no material (BROCCHI, 2010).

O balanço de massa influencia diretamente na recuperação metalúrgica – que é o quanto se recupera, em peso, de uma quantidade disponível de ferro. E tal recuperação pode ser calculada em relação a uma massa total alimentada ou apenas em relação ao peso do mineral de interesse disponível. Pode ser aplicado em relação a uma etapa do processo, sendo assim uma recuperação local, ou em relação ao processo inteiro, sendo então uma recuperação total (BROCCHI, 2010).

A viabilidade do processo exige a obtenção de um concentrado com um alto teor de mineral de interesse acompanhado de uma boa recuperação do mesmo, porém, sabe-se que em geral, quanto maior o teor do concentrado, menor a recuperação do mineral de interesse. O balanço de massa é usado para se avaliar quantitativamente os processos de concentração.

As operações de tratamento de minérios seguem requisitos peculiares de quantificação de parâmetros que levam em conta o teor do material, a quantidade de água e a quantidade de sólido envolvidos naquele determinado processo, a análise destes parâmetros implica no balanço de massas de um processo.

Segundo Chaves e Peres, o balanço de massas refere-se ao balanceamento da quantidade de material que entra no processo em relação ao que sai dele após diversas operações de tratamento, *“consiste (...) na aplicação pura e simples da Lei de Lavoisier: todas as massas que entram numa operação de tratamento têm que sair em seus produtos – não há geração, nem consumo de massas no Tratamento de Minérios”*. (CHAVES E PERES, 2009, p. 21).

Desta forma, o balanço de massas ou de materiais é um dos instrumentos mais importantes para se dimensionar de forma mais precisa a trajetória de processo de uma usina, por exemplo. No estudo em questão, considera-se o processo de flotação do minério de ferro relacionado à instalação do medidor de

vazão. Onde é fundamental citar a recuperação metalúrgica de um processo de concentração como um parâmetro de extrema importância. Turrer (2007) afirma:

Deve-se sempre procurar maximizá-lo para aumentar a produção de carga metálica por unidade de minério alimentado, tal que seja traduzida em maior lucratividade. Contudo, isso deve ser feito com o devido planejamento para que não haja perda de qualidade do produto final. Outra importante consequência do aumento da recuperação metalúrgica é a diminuição do volume de material descartado como rejeito. O rejeito é descartado em bacias que possuem elevado custo de capital e operacional. Essas bacias, normalmente, possuem vida útil de muitos anos, logo, reduções na produção de rejeito são altamente significativas a longo prazo.

E este autor cita ainda que na flotação catiônica reversa de minério de ferro utiliza-se reagentes no processo e estes impactam fortemente a recuperação metalúrgica do processo, onde *“a qualidade final do concentrado é, sem dúvida, o parâmetro mais importante no tratamento mineral”*.

## 2.4 Flotação

A flotação foi considerada nesse estudo por se tratar de uma estratégia de controle comumente utilizada numa planta de beneficiamento de minério de ferro, caracterizando, a via úmida de uma planta comumente encontrada. O processo de flotação é uma técnica presente em quase todas as instalações de produção de concentrados de ferro e é um processo de separação que utiliza as diversas características de superfície dos minerais, que atualmente no Brasil são utilizadas no tratamento de minerais de ferro, fosfato, nióbio, ouro, cobre, zinco oxidado, chumbo-zinco, grafita, carvão, potássio, níquel, fluorita, magnesita, feldspato, barita, talco, tungstênio e resíduo hidrometalúrgico contendo prata (ARAÚJO, 2010).

Araújo afirma ainda que a seletividade do processo se baseia no fato de que a superfície de diferentes espécies minerais pode apresentar diferentes graus de hidrofobicidade, estando este conceito associado à sua “molhabilidade” pela água. Assim, partículas mais hidrofóbicas são menos ávidas por água. E explica, especificamente o funcionamento da coluna de flotação:

“Para o caso de flotação em coluna, a polpa que alimenta a coluna deve ser condicionada de maneira prévia, sendo que esse material alimenta a coluna



aproximadamente dois terços de sua altura. A polpa, ao entrar em contato com o ar ascendente, tem suas partículas hidrofóbicas carregadas para a espuma, formando, dessa forma, o flotado que transborda. Água de lavagem é adicionada no topo da coluna com o objetivo de estabilizar a espuma e substituir a polpa hidrofílica intersticial na fração flotada. O material não flotado (ou afundado) é retirado pelo fundo da coluna. O sistema da coluna de flotação é comumente dividido em três fases: polpa aerada, interface polpa/espuma e espuma. A região acima da interface é denominada zona de limpeza, enquanto a região entre o ponto de introdução do ar até a interface é denominada zona de coleta ou de recuperação". (PERSECHINI, 2004; OLIVEIRA *et. al*, 2004 apud ARAÚJO, 2010).

A separação entre partículas naturalmente hidrofóbicas é teoricamente possível fazendo-se passar um fluxo de ar através de uma suspensão aquosa contendo as duas espécies. As partículas hidrofóbicas são carregadas pelo ar e aquelas hidrofílicas permanecem em suspensão. Este processo requer a produção de espuma, de modo que seja criada uma interface ar-líquido de grande área que deve ser estável. Logo, para alcançar resultados satisfatórios utilizam-se espumantes e outros aditivos com finalidades diversas. Ainda de acordo com o MME, a flotação é:

"(...) o processo dominante no tratamento de quase todos os tipos de minérios, devido à sua grande versatilidade e seletividade. Permite a obtenção de concentrados com elevados teores e expressivas recuperações. É aplicado no beneficiamento de minérios com baixo teor e granulometria fina. O processo se baseia no comportamento físico-químico das superfícies das partículas minerais presentes numa suspensão aquosa. A utilização de reagentes específicos, denominados coletores, depressores e modificadores, permite a recuperação seletiva dos minerais de interesse por adsorção em bolhas de ar. Os equipamentos tradicionalmente adotados se dividem em 2 classes, mecânicos e pneumáticos, dependendo do dispositivo utilizado para efetivar a separação. A flotação é adotada na produção de areias quartzosas de elevada pureza, cloretos, feldspatos, fluorita, fosfatos, magnesita, sulfetos, talco, mica, berilo, etc". ( MME, 2011)

Importante citar os reagentes de flotação, que são compostos orgânicos e inorgânicos adicionados com o objetivo de controle das características das interfaces envolvidas no processo. De acordo com sua função específica, os reagentes podem ser divididos em coletores, espumantes e modificadores/reguladores ou depressores. e mesmo que se tenha uma crescente utilização de automação nos processos de flotação, apenas algumas poucas unidades são totalmente automatizadas, no sentido de operarem por longos períodos sem auxílio humano, mesmo com instrumentos cada vez maiores e resistentes (ARAÚJO, 2010).

O referido autor, explica que existe, portanto, a necessidade de medidores de vazão que auxiliem na solução dos grandes problemas do beneficiamento e do processo de flotação de minérios, em especial o minério de ferro: a estabilização de um processo complexo, e a possibilidade de se ajustar as variáveis – ou, conforme termo em inglês - set points e dos limites para a acomodação de mudanças no tipo do minério, a composição mineral do mesmo, a textura e a contaminação da alimentação, que é muito comum nesse tipo de processo.

Ainda segundo Araújo a atuação do medidor de vazão considera que *“outra limitação significativa é a forte necessidade de uma manutenção adequada dos instrumentos de campo, constantemente sujeitos às intempéries do processo, como polpa, incrustações, corrosão e depósito de poeira do minério”*.

#### 2.4.1 Flotação do minério de ferro e os medidores de vazão

A concentração de minérios de ferro por flotação é uma técnica já mundialmente consolidada para partículas minerais na faixa de 10 a 250  $\mu\text{m}$ . No Brasil, todas as indústrias que trabalham com minério de ferro utilizam a flotação reversa, onde o rejeito é constituído predominantemente de quartzo e o concentrado de óxidos e hidróxidos de ferro. Os reagentes mais utilizados são amina e amido de milho, que atuam, respectivamente, como coletor/espumante e depressor (TURRER, 2007).

As colunas de flotação são empregadas em combinação com células convencionais ou de forma isolada e recentemente células tanque, com capacidade para 160m<sup>3</sup>. Os três fatores que contribuem para o sucesso da flotação na concentração de minérios de ferro são: o melhor desempenho na concentração de minérios oxidados de baixos teores; a redução dos teores em sílica de concentrados magnetíticos obtidos por separação magnética e por ser o processo mais indicado para a produção de concentrados destinados aos processos metalúrgicos de redução direta (IWASAKI, 1983 *apud* TURRER, 2007).

O referido autor, explica ainda que a flotação direta dos óxidos de ferro apresenta um potencial de aplicação em minérios de baixo teor, minérios marginais que devem ser flotados para diminuir a relação estéril/minério, e na recuperação de

material sedimentado em barragens. Importante ressaltar que a menor recuperação do elemento útil está normalmente associada à presença de partículas de menor granulometria no sistema de flotação.

Araújo (2010) explica a necessidade de um sistema de controle e a grande dificuldade no processo de flotação, no caso do minério de ferro:

O objetivo principal de um sistema de controle para a flotação é a otimização da eficiência metalúrgica, isto é, produzir a melhor curva teor versus rendimento e estabilizar o teor no ponto onde ocorre o melhor desempenho econômico do processo, em contrapartida às variações de entrada no circuito. Com controle adequado das variáveis teor e rendimento, garante-se a qualidade e a produtividade da usina, respectivamente. Esse objetivo, entretanto, ainda não foi atingido pelos sistemas de controle atuais (...) até porque a medição em tempo real desses índices requer um grande esforço de manutenção e calibração de analisadores em linha (on-line), de forma a trazer disponibilidade e precisão aceitáveis.

Em resumo, pode-se dizer que a flotação é um processo de separação de misturas líquido-sólido e atualmente é utilizado na indústria utiliza a flotação em inúmeros processos em especial para a separação de minérios. O que se objetiva com o medidor de vazão, é remover partículas indesejadas na via úmida adicionando-se produtos químicos para que se agreguem às partículas e estas se tornem hidrofóbicas. Por meio de um processo de borbulhamento e da própria diferença de densidades na mistura, elas são carregadas pelas bolhas de ar, chegando à superfície do líquido em forma de espuma. (Informação verbal)<sup>3</sup>

Os medidores de vazão são instalados nas colunas de flotação, e, por isso menciona-se o seu funcionamento. Na coluna de flotação geralmente se utilizam medidores eletromagnéticos, geralmente localizado na balança de alimentação do depressor e o medidor de vazão da soda e também são utilizados medidores de vazão para água de diluição. No que se refere as informações dadas por esse tipo de instrumento, percebe-se que onde a vazão mássica é dada em cada circuito – é necessário instalar na alimentação de cada circuito de flotação um medidor de vazão e um densímetro (informação verbal)<sup>4</sup>.

---

<sup>3</sup> Conforme entrevistas gravadas em vídeo realizadas em 2 e 3 de jan 2016 com o Engenheiro Mecânico especialista em fluidos Denílson Faria Oliveira na empresa Tattva -Flow Tek controle de fluxos e engenharia, situada em Belo Horizonte Minas Gerais. A empresa atua no setor de medidores de vazão para diversas indústrias, e especificamente para mineração, desde 1990 - antiga Qualit Flux.

<sup>4</sup> Ibidem.

Antes de se falar especificamente dos medidores de vazão utilizados na indústria de minério de ferro, expõe-se a seguir, conceitos base sobre os medidores de vazão.

## 2.5 Medidores de Vazão

É fundamental abordar a medição de vazão em fluidos de forma a esclarecer uma confusão existente no Brasil sobre a terminologia empregada na área de dinâmica de fluidos. Os textos que em geral são em inglês, utilizam o termo flow para nomear escoamento e equivocadamente as traduções brasileiras usam a palavra fluxo como correspondente. Schneider diz:

“A definição de fluxo está ligada a uma grandeza por unidade de comprimento, área ou volume, como por exemplo W/m (potência por unidade de comprimento), W/m<sup>2</sup> (potência por unidade de área) ou ainda W/m<sup>3</sup> (potência por unidade de volume). Nesse exemplo, a grandeza que representa a potência, em watts, é uma taxa de calor ou de energia mecânica, pois representa energia por unidade de tempo (J/s). O fluxo corresponde em inglês ao termo flux. Já a terminologia correta para flow em português é escoamento, assim como o *mass flow* corresponde à vazão ou descarga, que podem representar taxas de massa ou de volume por unidade de tempo” (SCHNEIDER, 2007).

O autor explica ainda que as grandezas associadas à medição do escoamento em fluidos são o taxa de massa por unidade de tempo ( $\dot{m}$ ) e de volume por unidade de tempo ( $Q$ ). A taxa ou vazão volumétrica é dado por :

$$Q = V A$$

onde  $V$  é a velocidade, em m/s, e  $A$  é a área, em m<sup>2</sup>. A vazão volumétrica é expressa no SI em m<sup>3</sup>/s, e é comum encontrar l/s, l/h, cm<sup>3</sup>/min, etc. As unidades inglesas mais comuns são ft<sup>3</sup>/min, in<sup>3</sup>/s, gal/h, entre várias outras. A taxa de massa ou vazão mássica é dada por:

$$\dot{m} = \rho V A$$

Onde  $\rho$  é a massa específica, em  $\text{kg/m}^3$ . A unidade no SI para a vazão mássica é  $\text{kg/s}$ , mas também encontramos seus múltiplos e submúltiplos, como  $\text{g/s}$ ,  $\text{ton/h}$  ou  $\text{kg/min}$ . As unidades inglesas mais comuns são  $\text{lb/ft}^3$ ,  $\text{lb/in}^3$ , entre várias outras.

A caracterização de escoamentos passa pela medição de propriedades locais, integradas e globais, onde as propriedades locais podem ser termodinâmicas, como pressão, temperatura, massa específica, etc., que definem o estado do fluido, além de sua velocidade; as propriedades integradas são as vazões em massa e volumétrica, já as propriedades globais são aquelas relativas à visualização de todo campo de escoamento (SCHNEIDER, 2007).

### *2.5.1 Conceito*

Medidor de vazão pode ser compreendido como todo dispositivo que possibilita, ainda que indiretamente, determinar o volume de fluido que passa através de uma dada seção de escoamento por unidade de tempo. O princípio de funcionamento de um medidor de vazão pode ser baseado em um dos seguintes fundamentos:

- pesagem;
- efeito da força de arrasto; e
- equação da Energia.

### *2.5.2 Funcionamento*

Kurcgan demonstra a grande variedade de tecnologias usadas na medição de vazão e nível de processos e, como parte fundamental dessa pesquisa, é preciso entender as dificuldades da medida a vazão de fluidos. O autor assim sintetiza:

A medição correta da Vazão de Fluidos (líquidos, vapores e gases) é uma tarefa complexa, pois depende de fatores como: presença de sólidos em suspensão, presença de bolhas de gás ou vapor, temperatura do fluido, pressão estática, densidade, viscosidade, corrosão, tipo de escoamento,

condutividade, precisão requerida, rangeabilidade, trecho reto requerido, etc., tendo gerado assim a necessidade do desenvolvimento de instrumentos com diversos tipos de tecnologias, cada qual mais adequado a uma medição em particular. (KURCGANT, 2009)

O autor ainda ressalta que a medição de nível do fluido também requer cuidados especiais devido a fatores como presença de sólidos ou componentes que podem se solidificar, temperaturas, pressões, densidade e sua variação, corrosão e principalmente precisão requerida quando se trata de grandes tanques reservatórios usados nas indústrias química, petroquímica e de óleo e gás.

A medição de vazão consiste basicamente da determinação da quantidade de líquidos, gases e sólidos que passa por um determinado local na unidade de tempo, podendo também ser incluídos os instrumentos que indicam a quantidade total movimentada, num intervalo de tempo. A quantidade total movimentada pode ser medida em unidades de volume ou em unidades de massa. A vazão instantânea é dada em unidades de volume ou em unidades de massa dividida por uma unidade de tempo. Quando se mede a vazão em unidades de volume, devem ser especificadas as "condições base" consideradas. Assim no caso de líquidos, é importante indicar que a vazão se considera "nas condições de operação", ou no intervalo de 0 °C a 20 °C, ou a outra temperatura qualquer.

Para determinar a aplicação correta de um medidor de vazão é necessário conhecer as características do fluido, instalação e condições de operação. Devido a uma enorme oferta de medidores de vazão com aplicações e tecnologias das mais diversificadas, a escolha do medidor apropriado é relativamente simples nas aplicações clássicas, porém o principal fator que dificulta esse processo é a constante evolução dos medidores, influenciando diretamente na performance e custos do equipamento.

### *2.5.3 Tipos*

Como o interesse desse estudo é a medição de vazões, estão aqui expostos os medidores de vazão mais comuns no mercado e os medidores utilizados na indústria do minério de ferro. estes equipamentos são medidores

especiais, que têm em comum o fato de introduzirem importantes modificações no escoamento, gerando perdas de carga excessivas (placas de orifício) ou interferências no padrão do escoamento não desejadas. Os próximos sensores se caracterizam por tentar evitar esses efeitos, ou apenas mitiga-los.

Esta seção cita os medidores não intrusivos como os eletromagnéticos, usados comumente para medir a polpa de minério de ferro como bons exemplos de não interferência, mas ainda são apresentados os medidores ultrassônico, Coriolis e outros. Entre as inúmeras tecnologias usadas na medição de vazão tem-se segundo Kurcgant (2009):

- Transmissores de pressão e pressão diferencial: De todos os tipos de instrumentos usados em medições de vazão e de nível de fluídos, a tecnologia que prevalece em quantidade (e em valores) é a dos medidores de pressão diferencial. Esses mesmos medidores de pressão diferencial têm aplicação em medição de nível de líquidos onde são amplamente utilizados. A figura 2 mostra um exemplo do referido equipamento:

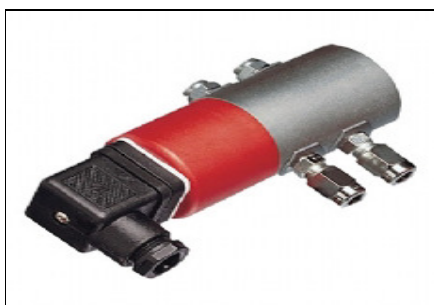


Figura 2: Transmissores de Pressão.  
Fonte: NOVUS (2008).

- Transmissores multivariáveis também vem se destacando e ganhando espaço. Esses medidores permitem a medição simultânea da pressão diferencial, da pressão (P) absoluta e da temperatura (T), podendo ser então usados para compensação dos efeitos de P e T sobre a vazão, ou compensando variações de densidade do fluído na medição de nível. Com o cálculo contínuo de vazão mássica no próprio transmissor, inclusive todos os

parâmetros de uma equação de cálculo de vazão, o modelo permite medições de pressão diferencial de 0 a 25 mH<sub>2</sub>O, pressão estática absoluta de 0,025 a 250 bar ou relativa de 0 a 250 bar e de temperatura. A figura 3 mostra um desses transmissores:



Figura 3: Transmissor multivariável  
Fonte: NEI (2010).

- Os transmissores ultrassônicos de vazão é outra tecnologia que tem crescido muito nos últimos anos se tornaram os de crescimento mais rápido, particularmente na indústria de hidrocarbonetos. Este instrumento é utilizado na medição contínua e precisa do nível de produtos líquidos ou sólidos armazenados em tanques, reservatórios ou silos. Não possui qualquer parte mecânica em contato com o processo uma vez que seu funcionamento é totalmente baseado na emissão de pulsos de ultrassom por um sensor instalado no tanque/silo que são refletidos pelo material que está sendo monitorando. A figura 4 representa o citado equipamento:





Figura 4: Transmissor ultrassônico.  
Fonte: NIVETEC (2015).

- Transmissores de vazão tipo vortex tem como grande vantagem sua alta precisão e grande rangeabilidade em medição de fluídos limpos, de baixa viscosidade, até altas temperaturas, sendo muito usados em utilidades (água, vapor, gás). Um canal de vortex de Karman é formado atrás da haste geradora de vortex, por exemplo : o vazão do fluído gera vortexes que são formados em ambos os lados. A formação de vortex é proporcional à velocidade do fluído. Cada vortex cria uma pequena pressão negativa, que é detectada por um sensor de pressão capacitivo, e convertido em pulso elétrico. Um transmissor converte o sinal de pulso para um sinal de saída padrão. O sensor foi desenvolvido para causar vibrações na tubulação (<math><1g</math> a 500 Hz) que são eliminadas através de uma compensação primária. Isto significa que nenhum ajuste do instrumento ou mesmo ajuste de zero é necessário. A figura 5 exemplifica um transmissor de vazão tipo vortex.

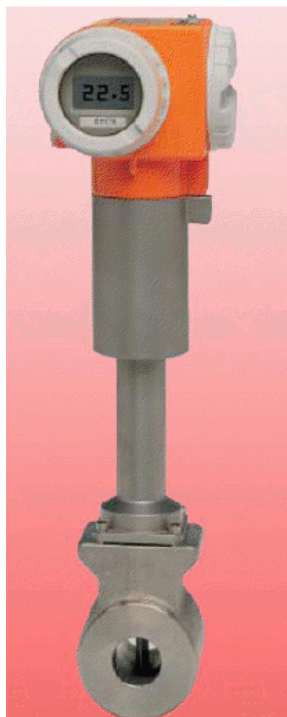


Figura 5: Transmissor tipo vortex.  
Fonte: DIGIFLOW (2010).

- Os medidores magnéticos de vazão são os medidores por excelência para usos com fluidos condutores elétricos que tenham sólidos em suspensão como fibras de celulose, lamas de minérios ou em aplicações em águas e efluentes. Os medidores magnéticos passaram a enfrentar a forte concorrência de dos medidores Coriolis e Ultrassônicos, que têm feito incursões significativas no mercado global de vazão. O equipamento é utilizado para medições limpas, exatas e confiáveis, em que sólidos e aditivos geram ruídos com volume inaceitável, destina-se a aditivos químicos, lamas e linhas com fluidos de alta consistência e/ou intermitentes, operando com fluxos à velocidade desde 0,01 até 10 m/s. Com excitação por corrente contínua, compreende tubo medidor magnético de vazão com corpo flangeado, ou do tipo wafer, para montagem entre flanges, ou tubo sanitário acoplado com transmissor de vazão. Oferece detecção automática/manual de tubulação vazia, medição bidirecional, entradas de contato para operação remota e saídas de relé para funções de alarme. A figura 6 é um exemplo do citado equipamento.



Figura 6: Transmissor magnético  
FONTE: NEI (2006).

- Já os transmissores de vazão tipo Coriolis se diferenciam de todos os demais por medirem vazão mássica enquanto os demais medem vazão volumétrica. São os medidores ideais quando há necessidade de alta precisão, alta repetibilidade e alta rangeabilidade. O princípio envolve dois tubos paralelos têm rotação em sua frequência ressonante por meio de bobinas. Qualquer vazão mássica passando pelos tubos gerará forças Coriolis que aparecem sempre que uma massa se move radialmente num sistema de vibração. As forças têm efeitos opostos nos lados de entrada e saída, deformando os tubos. A excursão dos tubos é detectada por sensores no lado de entrada e saída. A alternância de fases entre as frequências de vibração de ambos os tubos é proporcional à taxa de vazão mássica. A figura 7 é um exemplo do transmissor em questão.

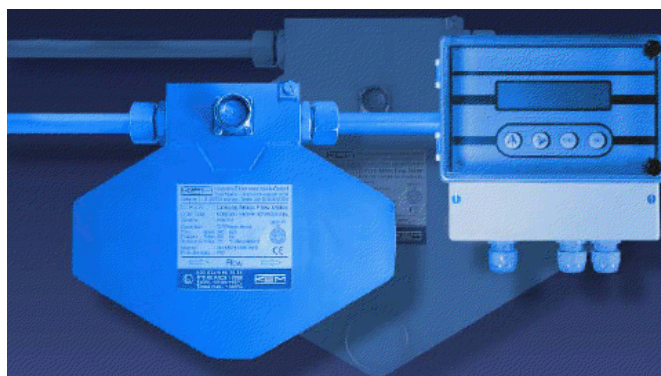


Figura 7: Transmissor Coriolis.  
Fonte: MSINSTRUMENTACAO (2010).

- Os transmissores de nível tipo radar representa a medição de nível com tecnologia por radar tem avançado significativamente, e é mais amplamente aplicável em aplicações de difícil mensuração, tais como fluídos em altas temperaturas, impossibilidade de tomada de acesso na parte inferior do tanque, fluídos com espumas e sólidos a granel. Este instrumento pode ser utilizado na medição de nível tanto de produtos líquidos como sólidos em tanques ou reservatórios de diferentes formatos ou dimensões onde é necessário elevada precisão. o transmissor em questão não possui qualquer tipo de parte móvel em contato com o processo. O único componente que estará permanentemente em contato com o meio é um cabo ou haste e que será responsável pela medição do nível. Um circuito eletrônico emite pulsos que viajam pelo cabo em alta velocidade até encontrar o produto. Neste instante, o pulso acaba sendo refletido em direção ao topo onde está o circuito. A partir do tempo decorrido entre a emissão e a reflexão deste pulso é possível determinar o nível do produto uma vez que a velocidade de propagação é constante e conhecida. A figura 8 representa o equipamento mencionado.



Figura 8: Transmissor por radar  
Fonte: NIVETEC (2006).

Na seção seguinte são abordados os dois principais medidores de vazão utilizados nas indústrias de minério de ferro. Compreende-se que as medidas de

vazão em si é umas das principais variáveis do processo da indústria de mineração devido a variedades de processos e produtos, haverá sempre um medidor mais indicado para uma determinada aplicação.

## 2.6 Medidor de vazão para minério de ferro

Segundo Oliveira (2016) em relação aos medidores de vazão, se comparado o mercado brasileiro com mercados como o do Chile ou da Austrália, *“a indústria da mineração no Brasil é extremamente defasada. Tecnologias disponíveis no mercado há 10 anos ainda não são utilizadas”* (informação verbal).

Da Silva (2005) enfatiza que a escolha dos medidores de vazão para o minério de ferro deve considerar a presença de água nas tubulações, a alta velocidade para evitar a sedimentação da polpa de minério e a presença da abrasão reduzem significativamente a vida útil dos medidores.

Para que se escolha um correto medidor de vazão para o minério de ferro, considera-se alguns pontos críticos nos processos da mineração em geral. Há situações em que o circuito de cominuição opera dentro do esperado e não são encontradas variações significativas na granulometria do minério, assim como na densidade da polpa e na variação da taxa de alimentação. Sendo assim, a função primordial medidor de vazão na flotação é controlar a variação da mineralogia e a flotabilidade do minério (ARAÚJO, 2010).

O referido autor explica que as variáveis manipuladas são vazão mássica de entrada, adição de ar e de reagentes, nível da polpa e da camada de espuma e pH, o que é considerado como objetivos secundários de controle. O ideal é que os objetivos primários possam ser mensurados, controlando-se, assim, a variável apreensão dinâmica de gás na polpa aerada (hold up)- fração volumétrica da fase gasosa na polpa, o viés (bias) - fração de água de lavagem que, passando pela zona de limpeza, se reporta ao fluxo do não flotado. Não sendo possível mensurar tais variáveis, situação recorrente, o maior problema é estabelecer uma relação entre estas com a recuperação e o teor do concentrado.

Os medidores de vazão tem o papel de mensurar os objetivos secundários de controle, pelo menos, a medição on-line da água de lavagem, vazão de ar e

camada de espuma e também as variáveis tais como o rejeito, ar e água de lavagem e em alguns circuitos, existe também o controle de pH e de dosagem de reagentes químicos, e, esse controle é conhecido como estratégia estabilizadora. Existe uma grande dificuldade em adequar medidores de vazão no processo de flotação do minério, onde cita-se:

“A falta de instrumentos precisos, dinâmica não linear e alta interação entre variáveis são os principais problemas identificados por essa estratégia, sendo que essas características vêm trazendo alta taxa de variabilidade nas taxas de concentrado e no teor do minério em diversos processos de flotação no mundo” (BERGH & YIANATOS, 2003).

A variabilidade é resultado do caráter volátil da alimentação da polpa na coluna, demonstrando a condição dos processos anteriores, e também por problemas pontuais, tais como *“na alimentação de água a ar, na instrumentação oriundas da calibração, manutenção e falhas e, principalmente, a falta de uma ação coordenada entre os recursos, como nível da camada de polpa, taxa de alimentação de ar e de água”*(ARAÚJO, 2010).

Para Oliveira (2016), o mercado consagrou o medidor de vazão eletromagnético como o mais adequado para a indústria de mineração. E como o medidor por sonar é uma tecnologia recente no Brasil, faz-se necessário conhecer as características de cada um.

### 2.6.1 Medidor de vazão eletromagnético

Somente são aplicáveis a fluidos condutores elétricos e trazem duas grandes vantagens:

- não interferem no escoamento; e
- independem do conhecimento de propriedades do fluido, quer sejam termo físicas (viscosidade) ou termodinâmicas (massa específica, temperatura, pressão).

Seu princípio de funcionamento é baseado no fato do fluido se comportar como um condutor elétrico em movimento, provocando uma alteração na densidade de fluxo eletromagnético (B), em weber/m<sup>2</sup>, criada na seção de teste. Para um

escoamento com velocidade média ( $V_m$ ), em m/s, transversal a eletrodos instalados a uma distância ( $D$ ), em m, haverá a geração de uma força de campo ( $E$ ), em volts, igual a:

$$E = B D V$$

Como a vazão volumétrica ( $Q$ ), em  $m^3/s$ , é dada pelo produto dessa mesma velocidade ( $V_m$ ) pela área normal à passagem do escoamento, tem-se uma relação direta da vazão com a modificação do campo eletromagnético. O medidor pode ser visto esquematicamente na figura 9.

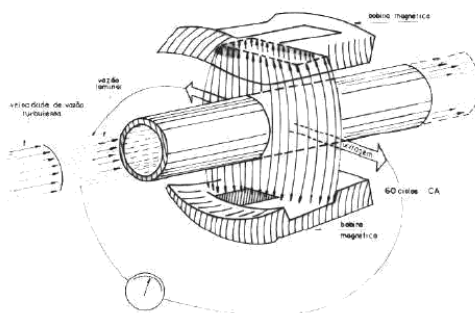


Figura 9 - Visão esquemática de um medidor de vazão tipo eletromagnético.  
Fonte: ARAÚJO, 2010.

Da Silva (2005) afirma ainda que um dos equipamentos mais utilizados para medição de polpa de minérios bombeada com o auxílio de água em tubulações é o medidor de vazão eletromagnético e explica que é preciso considerar quatro principais influências nesta aplicação a serem consideradas:

- o teor de sólidos;
- as propriedades dos sólidos no fluido;
- a composição química do fluido; e
- a velocidade de fluxo e perfil.

E afirma que “ o conjunto combinado dos quatro fatores acima no desempenho e na vida útil de um transmissor de vazão eletromagnético”. Para o autor a combinação determina por exemplo “a escolha do revestimento interno a ser utilizado e o modelo de campo magnético praticado pelo transmissor eletrônico” (DA SILVA, 2005).

O autor diz ainda que:

Dependendo do processo, a quantidade de sólidos presente no fluido pode variar de uma pequena percentagem até mais de 80 % em massa. Se o tamanho do grão de minério e a quantidade presente no fluido é pequena, o revestimento interno aplicado não requer grande atenção e a escolha pode ser baseada nos tipos mais comuns encontrados no mercado para este tipo de equipamento. Geralmente, estes revestimentos também estão presentes nas tubulações que transportam a polpa de minério com o objetivo de prolongar a vida útil da mesma (DA SILVA, 2005).

Não é somente o teor de sólidos não é o único fator que determina a aplicabilidade do medidor de vazão eletromagnético. Quando a polpa de minério contém sólidos de pequena granulometria, revestimentos comuns como poliuretano ou teflon podem ser aplicados o que não ocorre quando a polpa contém sólidos grosseiros, aí é preciso selecionar um equipamento com revestimento de borracha, normalmente de maior espessura. Considerando situações onde a polpa de minério não é muito abrasiva, tem-se uma situação totalmente atípica pois não há dificuldades no bombeamento de sólidos finos, ou seja, nas partículas com tamanho inferior a 0,5 mm, às quais não são consideradas críticas para medição. *“A única exceção é se o formato das mesmas for parecido com lâminas ou pontiagudas ao contrário das arredondas. Neste caso, a abrasão pode ser bastante severa”* (DA SILVA, 2005).

Oliveira (2016) explica que o medidor de vazão eletromagnético é um equipamento para a medição de vazão de líquidos em tubulações fechadas e não possui qualquer parte móvel, portanto, utiliza montagem por inserção, facilitando sua instalação em campo. A medição da vazão é baseada no princípio de indução eletromagnética (Lei de Faraday), o que significa dizer que este princípio determina a velocidade de escoamento do fluido no interior do tubo. Desta forma, conhecendo-se a seção transversal e a velocidade, a vazão é determinada por um circuito eletrônico microprocessado.

O medidor de vazão eletromagnético<sup>5</sup> consiste de um elemento primário, que é instalado na linha de dutos, e um conversor de sinais. O projeto compacto tem um conversor de sinais montado diretamente no elemento primário. Para sistemas

---

<sup>5</sup> Informações retiradas do site [www.conaut.com](http://www.conaut.com), apontado por ARAÚJO (2010) e Oliveira (2016) como medidor eletromagnético que compete diretamente com medidor de vazão por tecnologia sonar, podendo ser utilizado nos mesmos pontos da coluna de flotação de minério de ferro.



com campo D.C. pulsante, as bobinas de campo do elemento primário que geram o campo magnético são energizadas por uma corrente contínua pulsante de um conversor de sinais. O sinal de medição é uma tensão de onda quadrada de mesma frequência. Estes sistemas produzem erros de medição extremamente pequenos. A figura 10 representa um modelo do medidor de vazão eletromagnético utilizado para polpas de minério:



Figura 10: Medidor de vazão eletromagnético.  
Fonte: CONAUT (2010).

### *2.6.2 Medidor de vazão por sonar*

Ao se pesquisar o medidor de vazão do tipo sonar, encontrou-se o registro somente um modelo. Trata-se de um equipamento de alta tecnologia para medição de vazão por tecnologia sonar que utiliza princípios de medição que difere das tecnologias convencionais e já citadas na seção anterior. Apoia-se em realizar medições não intrusivas, de forma bastante precisa considerando a gama de vazões monofásicas e multifásicas. O referido equipamento funciona da seguinte forma por sensores, dispostos na figura 11:

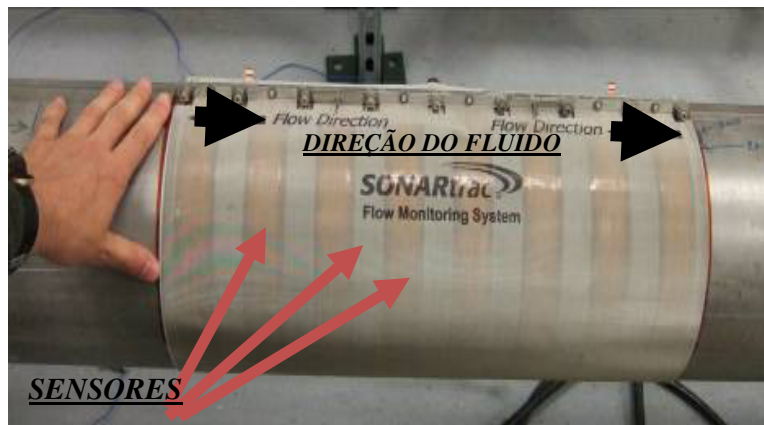


Figura 11 – Funcionamento do medidor por tecnologia sonar.  
Fonte: CIDRA (2010).

A referida tecnologia além de proporcionar um instrumento não intrusivo, aplicável a qualquer tipo de tubulação, permite a medição de vazão volumétrica e também do percentual de gás incorporado no fluido apresentando-se como uma solução para a medição de processos complexos com fluidos multifásicos (líquido, gás e sólidos).

No funcionamento do medidor de vazão por sonar, os fluxos turbulentos criam estruturas de vórtices viajando em correntes de convecção com o fluxo do fluido. Os vórtices criam pequenas variações de pressão dentro da tubulação. Estas pequenas variações de pressão causadas pela passagem dos vórtices provocam tensões na parede da tubulação. O VF-100 detecta o sinal característico destas tensões na parede da tubulação e mede a velocidade com que elas passam logo abaixo do conjunto sensor.

O princípio de funcionamento do equipamento está representado nas figuras 12 e 13 a seguir:

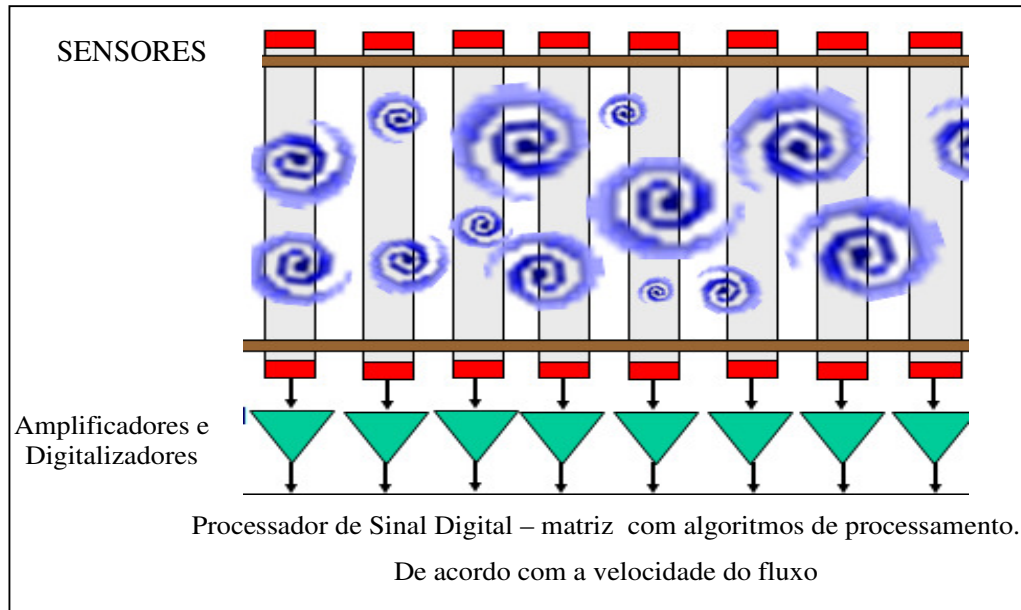


Figura 12: Estruturas de vórtices nas correntes de convecção com o fluxo do fluido.

Fonte: OLIVEIRA (2016).

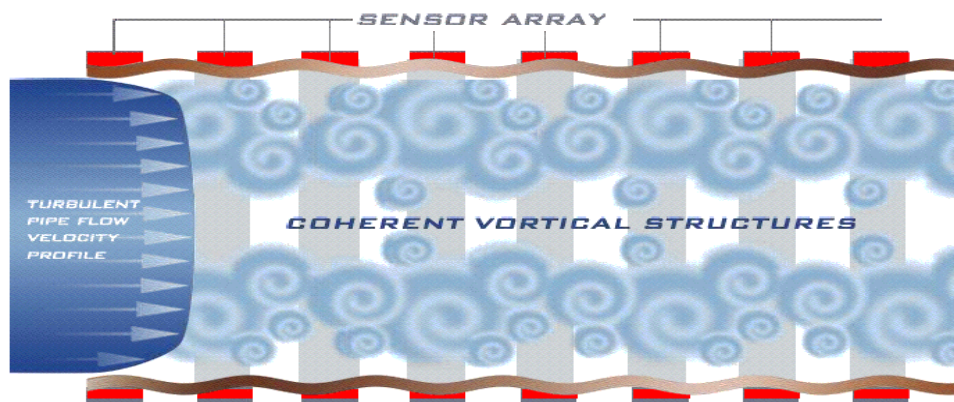


Figura 13: Corrente de vórtices.

Fonte: OLIVEIRA (2016).

O sistema de medição e monitoramento de gás incorporado do medidor de vazão por sonar utiliza um conjunto de sensores que são instalados externamente a tubulação por meio de uma manta. A vazão e a quantidade de ar e gás incorporado ao fluido pode ser medido utilizando-se técnicas próprias de processamento que permitem a disponibilização de saídas de sinal proporcionais à vazão e total percentual de gás incorporado, etc. A vazão da polpa de minério de ferro, exemplo dessa pesquisa, é medida através da análise das frequências do ruídos gerados pelo fluxo turbulento da vazão enquanto a análise das ondas sonoras que viajam imersas no fluido e usada para determinado percentual de ar e gás incorporado. As figuras 14 e 15 representam o sistema para a medição de vazão por tecnologia sonar e a sua instalação:



Figura 14: Transmissor com Software de Processamento de dados.  
Fonte: CIDRA (2010).



Figura 15: Conjunto de sensores montados externamente sobre a tubulação.  
Fonte: CIDRA (2010).

## 2.7 Soluções da tecnologia sonar para a indústria de mineração<sup>6</sup>

Em se tratando das soluções propostas pelo medidor por sonar para a indústria de mineração, este equipamento permite enfrentar o processo da lixiviação, pois ao se utilizar o medidor de fluxo magnético, medição de fluxo volumétrico para medidas ultrassônica não invasivas e braçadeiras em linhas de PLS, podem ocorrer problemas com corrosão e sensibilidade à incrustação dos eletrodos e em tubos de fluxo, isto poderá afetar a repetibilidade da medida, aumentar manutenção, e custo do processo.

Com o medidor por sonar, a braçadeira dos medidores de fluxo vão em turno da tubulação existente, evitando a corrosão e incrustação, problemas estes que afetam os medidores de fluxo magnético sem parada programada do processo, fornecendo uma medição mais resolvida e de maior confiança. Possibilita-se então, resultados positivos no controle e eficiência melhorada do processo, manutenção extremamente reduzida e vida muito mais longa do medidor de fluxo tendo por resultado o custo total significativamente mais baixo da aparelhagem adquirida.

Os problemas causados no concentrador se dá quando é utilizado medidor de fluxo magnético para medir o fluxo volumétrico em circuitos de moagem, onde há desgaste abrasivo do tubo de fluxo e dos elétrodos podendo causar variações inaceitáveis do desempenho, o desgaste rápido, e apresentar falhas mais cedo. Em circuitos de flutuação, uma incrustação grave pode inclusive acarretar problemas de desempenho, requerendo a manutenção e a limpeza regular, e reposição eventualmente mais cedo. Considerando que o preço dos metais básicos serem elevados, assim como são elevados seu custo e manutenção, o custo indireto da manutenção ficam também elevados e portanto, indesejáveis.

Utilizando o referido medidor por sonar, as braçadeiras de fluxo para tubulações de aço com e sem forros, contando que não tenham nenhuma peça úmida, não podem ser afetadas pela incrustação e assim, podem fornecer com precisão. É preciso apenas que o desempenho não degrade devido ao desgaste abrasivo, e a incrustação se acumule nos elétrodos e no tubo de fluxo. A

---

<sup>6</sup> Informações retiradas do site [www.cidra.com](http://www.cidra.com), que detém os direitos comerciais do medidor de vazão por sonar: SONARtrac é a marca registrada da CIDRA.

repetibilidade da medida é melhorada também eliminando a recolocação do tubo de fluxo e do eletrodo. Como aplicações típicas tem-se a alimentação e descarga do ciclone, correção da densidade para o ar aprisionado, e refugos. As figuras 16, 17 representam o equipamento já instalado e as figuras 18, 19 e 20 representam as fases de instalação do mesmo:



Figura 16: Medidor por sonar já instalado.  
Fonte: CIDRA (2016).



Figura 17: Medidores por sonar instalados 2.  
Fonte: CIDRA (2016).



Figuras 18: Preparação da tubulação.  
Fonte: OLIVEIRA (2016).



Figuras 19: Instalação do sensor.  
Fonte: OLIVEIRA (2016).



Figuras 20: Instalação da cobertura e conexões de cabos.  
Fonte: OLIVEIRA (2016).

O conjunto do sistema de monitoramento do medidor de vazão por sonar emprega técnicas de processamento sonar de forma a escutar e interpretar os ruídos provenientes do fluxo turbulento da vazão e os sons presente nas tubulação provenientes de ruídos de instrumentos de campo associados à linha do fluxo tais como bombas e válvulas. Existe um leitor que faz a interpretação destes sons de forma passiva e que resulta na medição da vazão e da quantidade de ar e gás incorporado com um alto grau de precisão.

Dessa forma, percebe-se que os grampos de fluxômetro do medidor por sonar sobre o tubo existente e não é afetado por tubos condutores, dimensionamento ou propriedades magnéticas do chorume. Em muitos dos processamentos de minerais e mineração, como próprio processamento do minério de ferro, o medidor de vazão é apontado *“a única tecnologia capaz de fornecer uma medição de caudal fiável”*(OLIVEIRA, 2016).

O medidor de vazão por sonar não é específico para um determinado tipo de mineral, mas para os processos que envolvam dosagens de reagentes e insumos que dependam do balanço de massa, como a flotação por exemplo. A figura 21 é uma demonstração de onde pode ser instalado o medidor de sonar na coluna de flotação:

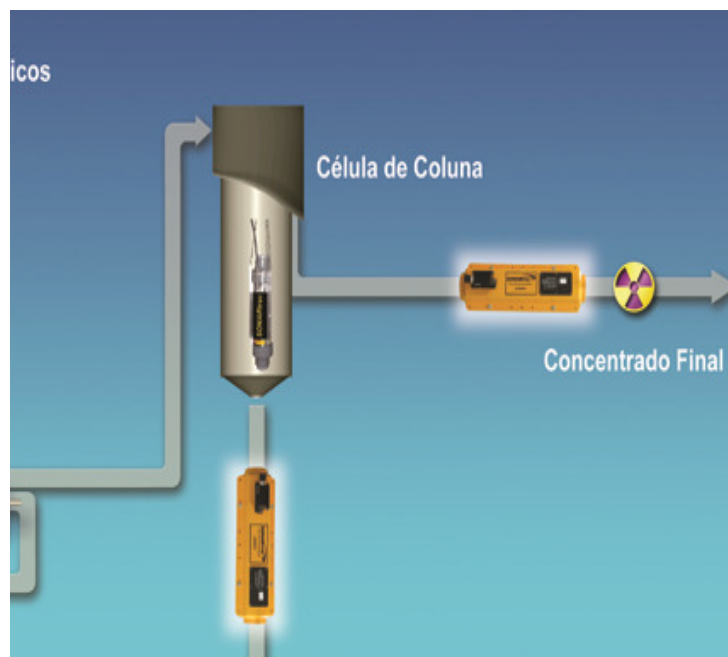


Figura 21: Medidor por sonar na coluna de flotação.  
Fonte: CIDRA (2015).

Como já citado, trata-se de uma tecnologia que busca a melhoria de desempenho e maior controle sobre estes processos, e que não sofre com a abrasão, com os efeitos causados pela interferência eletromagnética e a presença de ar, o que é comum aos medidores atuais, resultando na perda de exatidão na medição. Assim, vale ressaltar que o medidor por sonar além de não ser afetado por estes problemas ele ainda pode ser configurado para indicar o percentual de ar incorporado no fluido; tal característica é fundamental para que se faça um correto balanço de massa do processo.



Oliveira (2016) afirma que “*como medidor de vazão de polpa de minério que não é susceptível a variâncias, ele permite o controle do balanço de massa que é fundamental para a otimização do processo, quanto recuperação metalúrgica e consumo de reagentes*”. Abaixo uma representação do medidor para um correto balanço de massa:

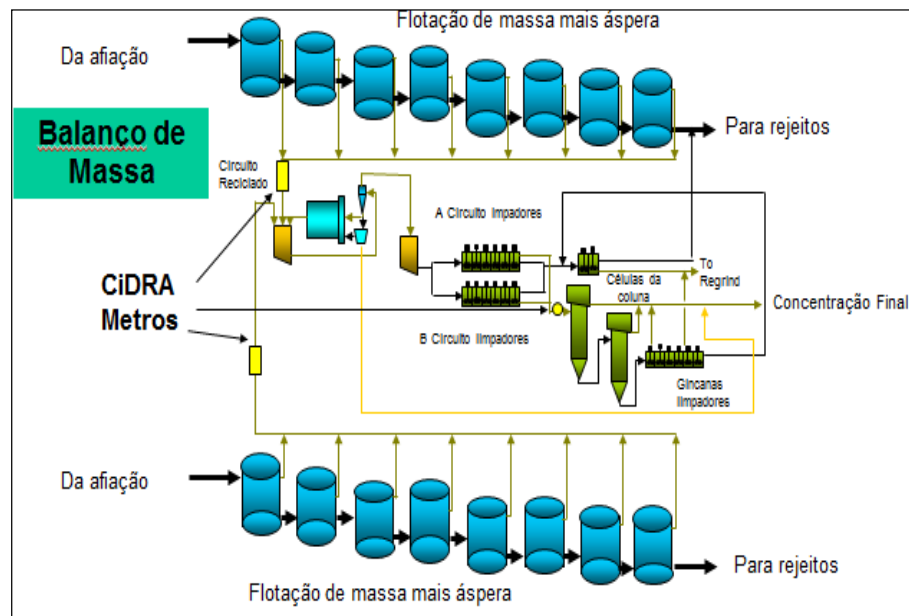


Figura 22: Balanço de Massa – Flotação – Medidores.  
Fonte: CIDRA (2015) (tradução nossa).

### 3 ANÁLISES DE DADOS

#### 3.1 Medidores por Sonar X Medidores De Vazão Eletromagnéticos

Na elaboração dessa pesquisa, os medidores eletromagnéticos só apresentam vantagens quando comparados a outros tipos de medidores de vazão que não seja o medidor por sonar.

Para Oliveira (2016) a proposição de valor considera que medidores magnéticos deterioram depois de três anos devido à incrustação causada pelo fluxo de lama/sólidos, causando problemas no controle de hydrocyclone. Medidor por sonar não deteriora com o fluxo de lama/sólidos, não sofre interferências devido as bolhas de ar no fluido e mede o percentual de bolhas de ar para correção de densidade. O medidor magnético falha depois de seis meses devido ao fluxo lama/sólidos, apresenta falsas medidas e introduz problemas no controle do hidrociclone.



Figura 23: Medidor por sonar sem deterioração.  
Fonte: CIDRA (2015).

O especialista ressalta ainda que o custo do equipamento sonar é até 10 vezes mais caro que o eletromagnético, porém o custo de instalação é bem mais barato. Mas o argumento mais significativo, deve-se aos resultados que o medidor por sonar apresenta. “como medidor de vazão de polpa de minério que não é susceptível a variâncias, ele permite o controle do balanço de massa o que é fundamental para a otimização do processo, quanto recuperação metalúrgica e consumo de reagentes”. Em um contexto de mineração, afirma:

Não somente para o minério de ferro, mas para qualquer mineral, especialmente em processos que envolvam dosagens de reagentes e insumos que dependam do balanço de massa, como a flotação por exemplo. Como medidor de gás *hold up*, também pode contribuir na performance da flotação garantindo melhores resultados na concentração. A principal dificuldade é a visão do custo do equipamento e falta de visão do benefício. O que precisa ser feito é conscientizar os profissionais da área sobre os benefícios auferidos que pagam o investimento em poucos dias de produção. Em indústria que instalaram o medidor por sonar, foi possível corrigir o erro do balanço de massa e aceitar as dosagens de reagentes em função desta correção. E conseqüentemente incrementar a recuperação metalúrgica devido ao acerto nas dosagens (OLIVEIRA, 2016).

A Tabela 1 mostra a comparação entre os medidores eletromagnéticos e o medidor por sonar:

**Tabela 1- Comparação: medidor eletromagnético e medidor por sonar**

<b>MEDIDOR ELETROMAGNÉTICO</b>	<b>MEDIDOR POR SONAR</b>
<b>LIXIVIAÇÃO</b>	
Se você usa medidor de fluxo magnético, medição de fluxo volumétrico para medidas ultrassônica não invasivas e braçadeiras em linhas de PLS, problemas com corrosão e sensibilidade à incrustação dos eletrodos e em tubos de fluxo, isto poderá afetar a repetibilidade da medida, aumentar	A braçadeira dos medidores de fluxo da SONARtrac vão em torno da tubulação existente, evitando a corrosão e incrustação, problemas estes que afetam os medidores de fluxo magnético sem parada programada do processo, fornecendo uma medição mais resolúta e de maior confiança. Resultados:

manutenção, e custo do processo.	controle e eficiência melhorada do processo, manutenção extremamente reduzida e vida muito mais longa do medidor de fluxo tendo por resultado o custo total significativamente mais baixo da aparelhagem adquirida.
----------------------------------	---

### **CONCENTRADOR**

<p>Se você usar um medidor de fluxo magnético para medir o fluxo volumétrico em circuitos de moagem, o desgaste abrasivo do tubo de fluxo e dos eletrodos podem causar variações inaceitáveis do desempenho, o desgaste rápido, e apresentar falhas mais cedo. Em circuitos da flutuação, uma incrustação grave pode causar problemas de desempenho, requerendo a manutenção e a limpeza regular, e reposição eventualmente mais cedo. Dado o preço dos metais básicos serem elevados, assim como são elevados seu custo e manutenção, o custo indireto da manutenção são altamente indesejáveis.</p>	<p>As braçadeiras de fluxo SONARtrac para tubulações de aço com e sem forros, que não tenham nenhuma peça úmida, podem ser afetadas pela incrustação. Fornecem uma exatidão garantida contra medidores de fluxo magnético desde que o desempenho não degrade devido ao desgaste abrasivo, e a incrustação se acumule nos eletrodos e no tubo de fluxo. A repetibilidade da medida é melhorada também eliminando a recolocação do tubo de fluxo e do eletrodo. Aplicações típicas: alimentação e descarga do ciclone, correção da densidade para o ar aprisionado, e refugos.</p>
---	--

### **FUSÃO DE MINÉRIOS**

<p>Se você estiver usando um medidor de fluxo magnético para medir o fluxo volumétrico em processo metalúrgico, a natureza corrosiva do ácido de alta temperatura faz com que os medidores de fluxo magnético corroam-se e escapem eventualmente; mesmo os</p>	<p>As braçadeiras dos fluxômetros SONARtrac existente nas tubulações em Teflon alinhadas não possuem nenhuma peça úmida. Mantêm a integridade do sistema completo, eliminando a possibilidade de escapamento. Os fluxômetros da SONARtrac, fornecem</p>
--	---

<p>medidores de fluxo magnético alinhados com Teflon® os elétrodos especialmente revestidos eventualmente escaparão. A manutenção preventiva envolve a recolocação programada dos medidores de fluxo magnético, a fim de reduzir a possibilidade de escape.</p>	<p>uma recuperação de investimento em 2 anos, baseado apenas no custo do hardware, mais os benefícios financeiros e operacionais associados com o tempo de produção aumentado. Aplicações típicas: alimentação da água do depurador de gás, água recuperada e linhas do ácido.</p>
---	--

### **MAGNETITA**

<p>A leitura do fluxo da pasta fornecida pelo medidor de fluxo magnético compensado pode mostrar a variabilidade e o compensamento significativos em que a magnetita está presente no minério. Os medidores de fluxo magnéticos com compensação de magnetita experimentam a variabilidade devido à variação da concentração de magnetita, a homogeneidade interna da pasta, e à orientação do medidor. A variabilidade é registrada na taxa de fluxo, podendo causar dificuldades no controle automático e inabilidade para otimizar as taxas de produção.</p>	<p>As braçadeiras do fluxômetro da SONARtrac na tubulação existente não são afetadas pelas propriedades magnéticas da pasta. Em tais aplicações da pasta, o fluxômetro da SONARtrac é a única tecnologia capaz de fornecer uma medida de confiança do fluxo completamente não afetada pela presença da magnetita. Aplicações típicas: plantas de pelletização, alimentação e descarga de ciclone, transporte da tubulação.</p>
--	--

Fonte: Adaptado de CIDRA (2010) (tradução nossa).

Para demonstrar essa diferença em uma aplicação prática, segundo Longo (2015) tem-se o caso da Kinross – Rio Paracatu Mineração, localizada em Minas Gerais, primeira a utilizar esta inovação no Brasil numa linha de minério, trata-se de equipamento de 30”. O resultado foi bastante positivo; o medidor não intrusivo, ou seja, instalado por fora da tubulação teve um tempo de instalação do instrumento como este numa linha de 40” não excedendo 4 horas. Não foi preciso cortar a linha,

não parou o processo, e foi possível corrigir o erro do balanço de massa e acetar as dosagens de reagentes em função desta correção. E conseqüentemente incrementar a recuperação metalúrgica devido ao acerto nas dosagens. A Tabela 2 revela um dos resultados obtidos com o tecnologia:

**Tabela 2 - Recuperação mássica – Fe alimentação, concentrado e rejeito.**

Estatística	Recuperação Mássica		Fe Alimentação		Fe Concentrado		Fe Rejeito	
	Eletrom.	Sonartrac	Eletrom.	Sonartrac	Eletrom.	Sonartrac	Eletrom.	Sonartrac
Média	71,48%	74,07%	53,72	55,24	68,27	68,34	17,25	17,81
Mediana	72,05%	73,35%	53,64	55,17	68,20	68,32	16,81	17,90
Desvio padrão	3,23%	2,71%	1,24	1,34	0,16	0,19	3,25	2,62
Variância da amostra	0,10%	0,07%	1,54	1,80	0,03	0,03	10,57	6,87
Mínimo	64,51%	68,39%	50,86	51,96	68,02	68,04	12,79	14,11
Máximo	77,31%	79,37%	56,23	57,90	68,68	68,74	25,45	26,43

Fonte: OLIVEIRA (2016).

Onde:

Eletrom = Medidor Eletromagnético

Sonartrac = Medidor por sonar

Longo (2015) ressalta que em termos de assistência técnica, a tecnologia se apresenta de forma bastante inovadora nesse sentido, pois possui uma função de alto diagnóstico que pode ser coletada num *pendrive* convencional e o arquivo pode ser enviado à empresa fabricante do medidor e qualquer necessidade de ajustes de parâmetros e/ou configuração é avaliada pela mesma que retorna o arquivo que será reinstalado no medidor alterando as configurações e/ou parâmetros de maneira extremamente simples. O equipamento não possui partes móveis e não requer calibração depois de instalado, pois, seu desgaste é zero.

## 4 CONCLUSÕES

Este estudo possibilitou a compreensão, primeiramente, da importância do setor mineral visto a sua significativa participação no PIB brasileiro, em especial o setor de metalurgia mostrando as constantes buscas por inovações e tecnologias que visam à extração e o beneficiamento de minério de forma mais eficiente possível.

Percebe-se que não condiz a posição que o Brasil ocupa no cenário de produção mineral e as tecnologias utilizadas para tal atividade. Visto que países como Chile e Austrália, já utilizam há algum tempo, medidores que agora estão sendo utilizados no Brasil.

Foi possível compreender que apesar de se terem muitas variedades dos processos e produtos existentes, na mineração, em se tratando de Brasil, o medidor de vazão mais utilizado é o eletromagnético. É de suma importância conceber que o projeto de beneficiamento de minério está relacionado ao aproveitamento econômico máximo do minério de ferro, no caso desse estudo e definir o medidor de vazão mais apropriado impacta diretamente no controle do balanço de massa e portanto, na recuperação metalúrgica.

Os medidores eletromagnéticos até então, eram tidos como modelo de medidor mais adequado para a medição do fluxo em linhas de alimentação de ciclones com altos teores de sólidos, como o caso do minério de ferro. Mas para o setor de mineração devem ser consideradas o teor de partículas grosseiras e abrasivas da pasta de alimentação de ciclones que causam o desgaste rápido dos eletrodos e dos tubos de fluxo desses medidores magnéticos convencionais. Tal fato causa uma degradação gradual do desempenho do fluxômetro que inibe a capacidade do operador de otimizar o desempenho do ciclone e de maximizar a produtividade. Percebe-se então que, eventualmente, podem ocorrer falhas de medição do medidor eletromagnéticos e/ou vazamentos, requerendo a reposição desgastante do medidor em intervalos regulares.

Compreende-se que o medidor de vazão por sonar se apresenta como uma nova opção tecnológica, funcionando por meio de sensores sensíveis a perturbações provocadas por vórtices formados no fluxo dentro da tubulação. Operadores de instalações concentradoras têm substituído medidores

eletromagnéticos tradicionais pelo sistema de monitoramento de fluxo da tecnologia sonar.

Foi possível entender que tais medidores podem ser montados na tubulação já existente e não são afetados por desgaste abrasivo ou por características variáveis do minério. Essa principal característica resulta em uma medição de fluxo mais precisa e também repetível, desta maneira é possível que se faça o uso mais eficiente do sistema de controle automático no beneficiamento do minério.

O medidor por sonar mensura o ar preso na tubulação e assim aumenta a precisão das medições de fluxos de massa, e sendo necessária à reposição da tubulação em razão do desgaste abrasivo da tubulação/linha, a simples remoção e reinstalação do medidor por sonar significa uma sensível redução de manutenção e também de custos, a necessidade de compra e estocagem de um medidor amplo e robusto, não acontece mais.

Conclui-se então que essa inovação pode representar como medidor de vazão de polpa de minério que não é susceptível a variâncias, que permite o controle do balanço de massa e assim torna-se de suma importância para a otimização do processo, quanto recuperação metalúrgica e consumo de reagentes, não esquecendo que como medidor de gás *hold up*, também pode contribuir na performance da flotação garantindo significativos resultados na concentração.

A dificuldade de inserir essa tecnologia no mercado se dá em função do custo do equipamento e falta de visão do custo benefício do equipamento, e nem é a longo prazo. Pode ser em curto, isso varia de acordo com o porte da indústria em questão. Sugere-se que estudos práticos sejam feitos de modo que se evidencie os benefícios auferidos que compensem o investimento.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, Leandro Russo de. **Malhas de Controle Típicas no Beneficiamento a Úmido de Minério de Ferro** - Universidade Federal de Ouro Preto - Departamento de Minas. 2010. Disponível em <[http://www.ufop.br/demin/arquivos/beneficiamento\\_mineral/Malhas%20de%20Controle%20Tipicas%20no%20Beneficiamento%20a%20Umido%20de%20Minerio%20de%20Ferro.pdf](http://www.ufop.br/demin/arquivos/beneficiamento_mineral/Malhas%20de%20Controle%20Tipicas%20no%20Beneficiamento%20a%20Umido%20de%20Minerio%20de%20Ferro.pdf)>. Acessado em 09 de dez. de 2015.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. **Beneficiamento de Minérios**. Disponível em: <[www.pormin.gov.br/biblioteca/.../beneficiamento\\_de\\_minerio.pdf](http://www.pormin.gov.br/biblioteca/.../beneficiamento_de_minerio.pdf)> Acessado em 05 de dez. de 2015.

\_\_\_\_\_. **Plano Nacional de Mineração**. 2010. Disponível em <[ww.mme.gov.br/.../plano.../Plano\\_Nacional\\_de\\_Minerao\\_2030\\_consulta\\_Publica\\_10\\_NOV.pdf](http://www.mme.gov.br/.../plano.../Plano_Nacional_de_Minerao_2030_consulta_Publica_10_NOV.pdf)>. Acessado em 29 de dez de 2015.

BROCCHI, Eduardo. Metalúrgica – IEM . **Introdução à engenharia**. 2010. Disponível em: < [www.dema.puc-rio.br/download/Apostila%20-%20IEM%2001.doc](http://www.dema.puc-rio.br/download/Apostila%20-%20IEM%2001.doc)>. Acesso em 12 de nov. de 2015.

BERGH, L.G. & YIANATOS, J. B. **Flotation column automation: state of the art**. Control Engineering Practice, V. 11 (2003), pp: 67–72.

CIDRA. **SONARtrac Non-intrusive Flow Meters-Trade Shows**. Tradutor on line. Disponível em: < [www.cidra.com/news/past\\_events.html](http://www.cidra.com/news/past_events.html)>. Acesso em 12 de nov. de 2015.

CHAVES, Arthur Pinto; PERES, Antônio Eduardo Clark. **Teoria e Prática do Tratamento de Minérios: Britagem, Peneiramento e Moagem**. v. 3. 4. ed. São Paulo: Signus Editora, 2009.

CONAUT. **Medidor eletromagnético**. 2010. Disponível em: < [www.conaut.com.br/medidor-magnetico.html](http://www.conaut.com.br/medidor-magnetico.html)>. Acessado em 19 de nov. de 2015.

COSTA, Horácio Maia e. **Os Escoriais de Moncorvo**. C.Tecn. Mat. 2009, vol. 21, no .3-4 p. 58-67. Disponível em: <[http://www.scielo.oces.mctes.pt/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0870-83122009000200010&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.oces.mctes.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0870-83122009000200010&lng=pt&nrm=iso)>. ISSN 0870-8312. Acessado em 11 de nov. de 2015.

DA SILVA, Anderson Luiz. **Tecnologia para medição de polpa de minério transportado**. Revista MINÉRIOS & MINERALES. 2005. Disponível em: <<http://www.minerios.com.br/index.php?page=materia.php&id=2832>>. Acesso em 05 de dez. de 2015.

DAVIS, M. M., AQUILANO, N. J., CHASE, R. B. (2001). **Fundamentos da administração da produção**. Porto Alegre: Bookman.

DIGIFLOW. **Transmissor tipo vortex**. 2010. Disponível em: <[www.digiflow.com.br/adm/imagens/s5pt\\_pwl.pdf](http://www.digiflow.com.br/adm/imagens/s5pt_pwl.pdf)>. Acesso em 12 de nov. de 2015.

FERRAN, Axel Paul Noël de. **A mineração e a flotação no Brasil: uma perspectiva histórica**. 2007. DNPM. Beneficiamento de Minérios Disponível em: <[http://www.pormin.gov.br/biblioteca/arquivo/beneficiamento\\_de\\_minerio.pdf](http://www.pormin.gov.br/biblioteca/arquivo/beneficiamento_de_minerio.pdf) - 2011>. Acesso em 12 de nov. de 2015.

FERRAZ, J. C., KUPFER, D., HAGUENAUER, L. (1995). **Made in Brazil: desafios competitivos para a indústria**. São Paulo: Campus.

GIL, A.C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 1999.

IBRAM. Instituto Brasileiro de Mineração. **Indústria da Mineração - Informativo do Instituto Brasileiro de Mineração**. 2015. Disponível em <[www.ibram.org.br](http://www.ibram.org.br)>. Acesso em 12 de nov. de 2015.

KRAEMER, Maria Elisabeth Pereir. **Resíduos industriais e a questão ambiental associada à contabilidade aplicada ao ambiente natural**. 2005. Tese de mestrado apresentada a UNIVALI. Itajaí – SC. Disponível em: <[www.gestaoambiental.com.br/articles.php?id=62](http://www.gestaoambiental.com.br/articles.php?id=62)>. Acesso em 12 de nov. de 2015.

KURCGANT, Mauricio. **O mercado mundial de transmissores de vazão e de nível**. Revista Controle & Instrumentação – Edição nº 145 – 2009.

PORTAL BRASIL. 2010. **Potencial de exploração** . Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/sobre/geografia/terra/potencial-de-exploracao>>. Acessado em 15 de dez. 2015.

LONGO, Paulo. Inovação Metroval – **Medidor de vazão Sonartrac**. Disponível em: < [www.metroval.com.br/downloads/Metroval%20News%2015.pdf](http://www.metroval.com.br/downloads/Metroval%20News%2015.pdf)>. Acessado em 05 de jan. de 2016.

LUZ, Adão Benvindo da.; LINS, Fernando A. Freitas. **Introdução ao tratamento de minérios**. Cap. 1. Edição do Livro de Tratamento de Minérios Pág. 3 a 16. Rio de Janeiro: 2004.

LUZ, A. B., LINS, F. F. **Usinas de Beneficiamento de Minérios do Brasil**. 2001. p. 93-102 SCLiar, Cláudio. Política Governamental Brasileira de Fomento à Exploração Mineral e Propostas de Aprimoramento. 2010. SGM/Ministério de Minas e Energia – MME. Disponível em: < [www.mme.gov.br](http://www.mme.gov.br)>. Acessado em 11 de jan. de 2016.

METROVAL. **SONARTRAC - Metroval - Controle de Flúidos**. 2011. Disponível em: < [www.metroval.com.br/downloads/sonartrac.pdf](http://www.metroval.com.br/downloads/sonartrac.pdf)>. Acesso em 05 de jan. de 2016.

MSINSTRUMENTAÇÃO. **Transmissor Coriolis**. Disponível em: < [www.msinstrumentacao.com.br/.../Catalogo-c-flow-mass-coriolis-brochure-medidor.pdf](http://www.msinstrumentacao.com.br/.../Catalogo-c-flow-mass-coriolis-brochure-medidor.pdf) >. Acessado em 05 de jan de 2016.

NEI. **Transmissor magnético**. 2006. Disponível em: < <http://www.nei.com.br/guia/resultado.aspx?o=h&w=212000&wBusca=Medidores%20de%20fluxo%20magn%E9tico&area=produtos>>. Acessado em 29 de dez de 2015.

\_\_\_\_\_. **Transmissor multivariável**. 2010. Disponível em: < <http://www.nei.com.br/guia/resultado.aspx?o=h&w=212000&wBusca=Medidores%20de%20fluxo%20magn%E9tico&area=produtos>>. Acessado 29 de dez de 2015.

NIVETEC. **Transmissor por radar**. Disponível em: < [www.nivetec.com.br/.../ctransnivelradarondaguiaada.htm](http://www.nivetec.com.br/.../ctransnivelradarondaguiaada.htm)>. Acessado em 29 de dez de 2015.

\_\_\_\_\_. **Transmissor ultrassônico**. Disponível em: < [www.nivetec.com.br/.../ctransnivelultrasonico.htm](http://www.nivetec.com.br/.../ctransnivelultrasonico.htm)>. Acessado em 29 de dez de 2015.

NOVUS. **Transmissores de Pressão**. Disponível em: < [www.novus.com.br/catálogos/go.asp?ProdutoID](http://www.novus.com.br/catálogos/go.asp?ProdutoID)>. Acessado em 29 de dez de 2015.

OLIVEIRA, Denílson Faria Oliveira. **Relatório de resultados Sonartrac em teste na Kinross – Rio Paracatu**. 2016.

\_\_\_\_\_. **Funcionamento e Aplicação Sonartrac.**: CIDRA, 2016. 46 slides: coloridos. Acompanha Texto.

\_\_\_\_\_. **Instalação Sonartrac.** Belo Horizonte. 2016. 1 álbum (18 fot.): color.; 17,5 x 13 cm.

\_\_\_\_\_. **Medidores de vazão para mineração.** Entrevista gravada em 2 de janeiro de 2016. Belo Horizonte. Entrevista concedida ao autor.

\_\_\_\_\_. **Tecnologia Sonar para Minério de Ferro.** Balanço de massa e flotação. Entrevista em 3 de janeiro de 2016. Belo Horizonte. Entrevista concedida ao autor.

\_\_\_\_\_. **Medidor eletromagnético versus Medidor Sonartrac.** Entrevista concedida ao autor. Belo Horizonte, 2016.

OLIVEIRA, M. L. M. de et alii. Capítulo 11: **Flotação em Coluna.** In: LUZ, A. B. et alii (ed.). Tratamento de Minérios (4<sup>a</sup>. Edição). Rio de Janeiro: Cetem, 2004. 885 P.

PAREJO, Luiz Carlos. Extração mineral: **Atividade tende a aumentar com crescimento econômico mundial.** Disponível em:  
<<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:QrklGlpj2o8J:educacao.uol.com.br/geografia/extracaomineral.jhtm+O+processo+de+extra%C3%A7%C3%A3o+de+min%C3%A9rio&cd=2&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br&source=www.google.com.br>>. Acesso em 29 de dez de 2015.

PERSECHINI, M. A. M. **Instrumentação de uma coluna de flotação Piloto para desenvolvimento de técnicas de controle avançadas.** 2001. Tese (Doutorado em Tecnologia Mineral). Belo Horizonte: Escola de Engenharia, UFMG, 2004.

PERSECHINI, Maria Auxiliadora Muanis et al. **Instrumentação de uma coluna de flotação piloto para desenvolvimento de técnicas de controle avançadas.** Série Tecnologia Mineral, 80. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001.

REZENDE, Solange Oliveira. **Sistemas Inteligentes: Fundamentos e aplicações.** Rio de Janeiro: Editora Manole Ltda, 2003.

RIBEIRO, Carlos Luiz. **Direito minerário escrito e aplicado.** Belo Horizonte: Del Rei 2006.

SAMPAIO, J. A., PENNA, M.T.M. CVRD/Mina do Azul. In: SAMPAIO, J.A., LUZ, A. B., LINS, F. F. **Usinas de Beneficiamento de Minérios do Brasil**. 2001. p.93-102.

SCHNEIDER, Paulo, 2007. **Medição de Velocidade e Vazão de Fluidos** – Apostila da Escola de Engenharia– UFRGS.

SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Estera Muszkat. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação** . 3. ed. Ver. Atual. Florianópolis: Laboratórios de Ensino a Distância da UFSC, 2001.

TERRA, Lygia; COELHO, Amorim Marcos de. **Geografia Geral e Geografia do Brasil - Espaço natural e socioeconômico**. 2009. Capítulo 11: Minerais e Rochas: panorama mundial. Disponível em: < [www.moderna.com.br/pnlem2009/fazendo/.../aula\\_geo\\_ligia.ppt](http://www.moderna.com.br/pnlem2009/fazendo/.../aula_geo_ligia.ppt)>. Acessado em 29 de dez de 2015.

TURRER, Henrique Dias Gatti. **Polímeros depressoires na flotação de minério de ferro**. Tese de doutorado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas. Universidade Federal de Minas Gerais. 2007. Disponível em: < [http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/1843/MAPO-7REKBC/1/henrique\\_gatti.pdf](http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/1843/MAPO-7REKBC/1/henrique_gatti.pdf) >. Acessado em 29 de dez de 2015.

## APÊNDICES

### Apêndice A – Cópia entrevista Paulo Longo.

## TECNOLOGIA INOVADORA

**SONARtrac®** - Confira as novidades com Paulo Longo:

Com Paulo Longo:

Metroval: Paulo, qual a importância para Metroval de trazer novas tecnologias e soluções para seus clientes e o que o SONARtrac® agrega de inovação?

Paulo: Este é o perfil da Metroval que sempre primou pela busca de soluções inovadoras e

que agreguem valor aos seus clientes. A especialidade da Metroval esta focada exatamente em soluções relacionadas à medição de vazão. O SONARtrac® é uma tecnologia nova produzida pela CIDRA nos EUA e que tem sido largamente utilizada na indústria de Mineração no mundo. Atualmente já são mais de 145 Minas Instaladas no mundo, vendas para 22 países em 6 continentes e seus clientes incluem 8 das 10 maiores Mineradoras no mundo.

Qual o diferencial desta tecnologia?

Paulo: Esta tecnologia é uma solução para medição de vazão em processos de alta complexidade e vem de encontro com a busca de melhoria de desempenho e maior controle sobre estes processos. Fluidos com característica multifásica (sólidos, líquido e ar), são extremamente difíceis de medir. Mesmo os modernos medidores eletromagnéticos sofrem muito com a abrasão e os efeitos causados pela interferência eletromagnética e a presença de ar que faz com que estes instrumentos percam exatidão na medição. Outro ponto importante é que o SONARtrac®, além de não ser afetado por estes problemas ele ainda pode ser configurado para indicar o percentual de ar incorporado no fluido. Esta característica é importantíssima para quem deseja fazer um correto Balanço de Massa do processo.

Metroval: Você comentou que todas as principais empresas de Mineração no mundo já utilizam este equipamento. No Brasil, já existe alguém trabalhando com ele?

Paulo: Sim, A Kinross – Rio Paracatu Mineração em Minas Gerais foi a primeira a utilizar esta inovação no Brasil numa linha de minério de 30”. O resultado foi tão bom que, de imediato já adquiriram outros dois de 40”. O SONARtrac® é um medidor não intrusivo, ou seja, ele é instalado por fora da tubulação. O tempo de instalação de um instrumento como este numa linha de 40” (quarenta polegadas !!) não excede a 4 horas. É incrível! Não há necessidade de cortar a linha, não para o processo, é muito simples!

Metroval: A Cidra presta suporte no Brasil? Como fica a assistência técnica?

Paulo: Sim e a Metroval esta preparada também para prestar atendimento. Porém, o instrumento é tão inovador que possui uma função de alto diagnóstico que pode ser coletada num Pendrive convencional e o arquivo pode ser enviado a Cidra por email. Qualquer necessidade de ajustes de parâmetros e/ou configuração é avaliada pela CIDRA que retorna o arquivo que será reinstalado no Transmissor alterando as configurações e/ou parâmetros de maneira extremamente simples. O equipamento não possui partes móveis e não requer calibração após instalado, pois, seu desgaste é zero!

Metroval: Realmente parece ser uma tecnologia muito inovadora. Algo mais?

Paulo: Sim. A Cidra já está trabalhando em novas features para este instrumento, sendo que algumas já estão em operação em alguns clientes. Como por exemplo: detecção de rochas em pipelines, detecção de interface de transição água /polpa, detecção de ruído de válvulas abrindo e fechando, bombas cavitando... Ou seja, este instrumento será um gerenciador de linha e não só uma solução para vazão. Na parte de comunicação, protocolo Hart, Field bus Foundation e Profibus já estão disponíveis.

Anexo B - Entrevista Denílson Faria Oliveira – Proprietário da Flow Tek – especialista em controle de fluxos.

Qual a sua visão sobre a indústria de mineração no Brasil e a tecnologia no processo de beneficiamento usualmente adotado para o de minério de ferro?

Quando comparamos com mercados como o do Chile ou da Austrália, a indústria da mineração no Brasil é extremamente defasada. Tecnologias disponíveis no mercado há 10 anos ainda não são utilizadas. O nível de automação muito baixo o que resulta em uma necessidade de um contingente operacional muito elevado. O que é um contrassenso, pois está faltando profissional no mercado.

Qual a técnica que o Sonartrac utiliza?

Sensores sensíveis a perturbações provocadas por vórtices formados no fluxo dentro da tubulação.

O que essa inovação pode representar para as indústrias de mineração?

Como medidor de vazão de polpa de minério que não é susceptível a variâncias, ele permite o controle do balanço de massa que é fundamental para a otimização do processo, quanto à recuperação metalúrgica e consumo de reagentes.

Como medidor de gás *hold up*, também pode contribuir na performance da flotação garantindo melhores resultados na concentração.

E especificamente para o minério de ferro?

Não vejo especificidade para um determinado tipo de mineral, mas em processos que envolvam dosagens de reagentes e insumos que dependam do balanço de massa, como a flotação por exemplo.

Qual a dificuldade de se introduzir esse equipamento no mercado e o que se precisa ser feito?



A principal dificuldade é a visão do custo do equipamento e falta de visão do benefício. O que precisa ser feito é conscientizar os profissionais da área sobre os benefícios auferidos que pagam o investimento em poucos dias de produção.

Quais os resultados obtidos por indústrias que instalaram o equipamento ( no que se relaciona ao balanço de massa)?

Foi possível corrigir o erro do balanço de massa e acetar as dosagens de reagentes em função desta correção. E conseqüentemente incrementar a recuperação metalúrgica devido ao acerto nas dosagens.

Trace um comparativo entre o Sonartrac e o medidor eletromagnético:

- Não intrusivo x intrusivo
- Não susceptível x susceptível a interferências magnéticas
- não perde calibração x perde
- Não sofre desgaste x sofre desgaste
- Não tem problemas com incrustações x não consegue ler quando existem incrustações.
- Custo do equipamento mais caro x mais barato
- Custo de instalação mais barato x mais caro