

LARISSA DE MORAES PERES

**AVALIAÇÃO DA ABRASIVIDADE DE MINÉRIOS A PARTIR DO
ENSAIO LCPC COMO ALTERNATIVA AO MÉTODO DE BOND**

Trabalho de Formatura em Engenharia de
Minas do curso de graduação do
Departamento de Engenharia de Minas e
de Petróleo da Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo

Orientador:
Prof. Dr. Maurício Guimarães Bergerman
(Poli/USP)

Co-Orientador:
Dra. Camila Peres Massola
(IPT)

São Paulo

2017

EPMI

TF-2017

P415a

Syno 2881033

H-20176

DEDALUS - Acervo - EPMI



31700010031

Catálogo-na-publicação

Peres, Larissa

Avaliação da abrasividade de minérios a partir do ensaio LCPC como alternativa ao método de Bond / L. Peres -- São Paulo, 2017.
104 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo.

1.Desgaste abrasivo 2.Método de experimentação (estudo comparativo)
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo II.t.

AGRADECIMENTOS

Aos orientadores Mauricio Guimarães Bergerman e Camila Peres Massola por todo o apoio ao longo da realização deste Trabalho de Formatura;

Às empresas parceiras por fornecer as amostras para estudo;

Aos técnicos do Laboratório de Tratamento de Minérios (LTM/Poli-USP) e do Laboratório de Processos Metalúrgicos do Centro de Tecnologia em Metalurgia e Materiais (LPM/CTMM/IPT) pelo auxílio no manuseio e adequação granulométrica das amostras;

Aos laboratórios LTM/Poli-USP e LPM/CTMM/IPT pela realização das análises químicas e mineralógicas das amostras em estudo;

À Eliana Mano e funcionários do Laboratório de Caracterização Tecnológica (LCT/Poli-USP) pelo auxílio na interpretação das análises mineralógicas realizadas;

À Fundação de Apoio ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (FIPT) pela bolsa concedida durante a realização deste projeto.

RESUMO

A abrasividade de rochas e minerais, representada normalmente pelo Índice de Abrasividade de Bond (AI), se refere à capacidade de um material desgastar, polir ou limpar outros materiais. O AI é amplamente utilizado para avaliar o desgaste que determinado minério causará no revestimento dos equipamentos dos processos de beneficiamento. Diversos ensaios podem ser realizados a fim de se determinar a abrasividade, sendo o Método de Bond o mais utilizado na indústria de mineração. Apesar de simples, tal ensaio apresenta algumas limitações em relação à granulometria e quantidade de material necessários, o que muitas vezes dificulta, ou mesmo impossibilita, sua execução com minérios em etapas iniciais de projeto e em estudos de pré-concentração. O ensaio LCPC pode se constituir numa alternativa para a avaliação desses minérios, pois requer menor massa de material com granulometria mais fina. A fim de se avaliar a aplicabilidade do ensaio LCPC, foram realizados ensaios com minerais de diferentes abrasividades utilizando os dois métodos. Além de ser um procedimento mais rápido e com menores fontes de erros, os resultados obtidos apresentaram menor variabilidade em relação àqueles obtidos pelo método de Bond, podendo ser utilizado como alternativa ao método tradicional de determinação de abrasividade de minérios.

PALAVRAS-CHAVE: Abrasividade, AI de Bond, LCPC, pré-concentração.

ABSTRACT

Abrasiveness, usually represented as Bond Abrasion Index (AI), refers to the ability of a material to wear or grind other materials. AI is widely used to evaluate the wear that certain ore will cause in the coating of the equipment used in processing. Several tests can be carried out in order to determine the abrasiveness of a mineral and the Bond method is the most used in the mining industry. Despite being simple, this test has some limitations regarding grain size and quantity of material required, which often makes it difficult to perform with ores in the early stages of the process and in pre-concentration studies. The LCPC test may be an alternative, since it requires less mass with finer grain size. In order to evaluate the applicability of the LCPC, tests were carried out on minerals with different abrasivities using the two mentioned mentioned. Besides requiring a faster experimental procedure with lower source of errors, the results has shown less variability than those obtained by the Bond method,

KEYWORDS: Abrasiveness, Bond Abrasion Index, LCPC, pre-concentration.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. OBJETIVOS DO PROJETO	9
FIGURA 2. MECANISMOS BÁSICOS DE DESGASTE (ADAPTADO DE ZUM GAHR, 1987)	10
FIGURA 3. CLASSIFICAÇÃO DOS TIPOS DE DESGASTE (ADAPTADO DE ZUM GAHR, 1987)	11
FIGURA 4. ÂNGULO DE ATAQUE (STACHOWIAK E BATCHELOR, 2014)	11
FIGURA 5. ESTUDOS INICIAIS MOSTRANDO A RELAÇÃO ENTRE AI DE BOND E O ÍNDICE LCPC (FREITAS, 2014).....	15
FIGURA 6. RESULTADOS DE AI E LCPC OBTIDOS PELA METSO EM DOIS DE SEUS LABORATÓRIOS (METSO, 2008)	16
FIGURA 7. FLUXOGRAMA MOSTRANDO AS ETAPAS REALIZADAS.....	18
FIGURA 8. EQUIPAMENTO LCPC.....	20
FIGURA 9. ESPECIFICAÇÕES DA PLACA (NORMA FRANCESA P18-579,2013)	21
FIGURA 10. EQUIPAMENTO DISPONÍVEL NO IPT UTILIZADO PARA DETERMINAR A DUREZA ROCKWELL B E C	21
FIGURA 11. RESULTADOS DO ENSAIO DE AI DE BOND PARA DIFERENTES GRANULOMETRIAS DA AMOSTRA 1 (CALCÁRIO)	27
FIGURA 12. RESULTADOS DO ENSAIO DE AI DE BOND PARA DIFERENTES GRANULOMETRIAS DA AMOSTRA 2 (ZINCO).....	27
FIGURA 13. RESULTADOS DO ENSAIO DE AI DE BOND PARA DIFERENTES GRANULOMETRIAS DA AMOSTRA 3.	27
FIGURA 14. RESULTADOS DO ENSAIO DE AI DE BOND PARA DIFERENTES GRANULOMETRIAS DA AMOSTRA 5 (FERRO).....	27
FIGURA 15. RESULTADOS DO ENSAIO DE AI DE BOND PARA DIFERENTES GRANULOMETRIAS DA AMOSTRA 6 (DIABÁSIO).....	27
FIGURA 16. CORRELAÇÃO ENTRE AI E LCPC.....	30
FIGURA 17. CORRELAÇÃO ENTRE LCPC E AI DEPOIS DA MANIPULAÇÃO E ADIÇÃO DE DADOS EXTRAS.....	31
FIGURA 18. JUNÇÃO DE VÁRIAS CORRELAÇÕES ENTRE AI DE BOND E LCPC.....	32
FIGURA 19. PLACA DE AI DE BOND EM ORDEM CRESCENTE DE ABRASIVIDADE: PLACA NOVA, BRITA PRA JARDINAGEM, CALCÁRIO, FERRO, ZINCO, DIABÁSIO, ROCHA POTÁSSICA, OURO E AMOSTRA DE FURNAS.....	34
FIGURA 20. PLACAS DO LCPC EM ORDEM CRESCENTE DE ABRASIVIDADE: BRITA PARA JARDINAGEM, CALCÁRIO, ZINCO, FERRO, AMOSTRA DE FURNAS, DIABÁSIO, ROCHA POTÁSSICA E OURO.....	34
FIGURA 21. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS LCPC PARA O MINÉRIO SULFETADO DE COBRE	35
FIGURA 22. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS LCPC PARA O MINÉRIO SILICATADO DE ZINCO.....	37
FIGURA 23. PLACAS UTILIZADAS NOS ENSAIOS LCPC DAS AMOSTRAS DE MINÉRIO SULFETADO DE COBRE (DA ESQUERDA PARA A DIREITA, ALIMENTAÇÃO, CONCENTRADO E REJEITO)	38
FIGURA 24. PLACAS UTILIZADAS NOS ENSAIOS LCPC DAS AMOSTRAS DE MINÉRIO SILICATADO DE ZINCO (DA ESQUERDA PARA A DIREITA, ALIMENTAÇÃO, CONCENTRADO E REJEITO)	38

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE ABRASIVIDADE.....	12
TABELA 2. AMOSTRAS UTILIZADAS NO PROJETO	17
TABELA 3. FASES PREDOMINANTES POR AMOSTRA.	22
TABELA 4. RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICAS REALIZADAS	23
TABELA 5. RESULTADOS DO ENSAIO DE DUREZA ROCKWELL C.....	24
TABELA 6. RESULTADOS DO ENSAIO DE DUREZA ROCKWELL B.	24
TABELA 7. RESULTADOS DE AI EM DIFERENTES GRANULOMETRIAS OBTIDOS NA PRIMEIRA ETAPA DO PROJETO	26
TABELA 8. RESULTADOS DO LCPC PARA AS DIFERENTES AMOSTRAS NA SEGUNDA ETAPA DO PROJETO	29
TABELA 9. RELAÇÃO ENTRE AI DE BOND E LCPC	30
TABELA 10. DADOS EXTRAS.....	31
TABELA 11. RESULTADOS DOS ENSAIOS LCPC PARA AS AMOSTRAS DE MINÉRIO SULFETADO DE COBRE	35
TABELA 12. RESULTADOS DOS ENSAIOS LCPC PARA AS AMOSTRAS DE MINÉRIO SILICATADO DE ZINCO	36

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
1.1	OBJETIVO	8
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	10
2.1	DESGASTE	10
2.2	AVALIAÇÃO DA ABRASIVIDADE DE MATERIAIS	12
2.2.1	LCPC.....	13
2.2.2	Método de Bond	13
2.3	ESCOLHA DOS MÉTODOS PARA ESTUDO	14
3	METODOLOGIA	17
3.1	AMOSTRAGEM	17
3.2	ADEQUAÇÃO DE GRANULOMETRIA	18
3.3	CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	19
3.4	ENSAIOS PARA A DETERMINAÇÃO DA ABRASIVIDADE	19
3.4.1	AI DE BOND.....	19
3.4.2	LCPC.....	19
3.5	AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS PLACAS UTILIZADAS NOS ENSAIOS	20
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
4.1	CARACTERIZAÇÃO DO MINÉRIO	22
4.2	QUALIDADE DAS PLACAS UTILIZADAS	24
4.3	ENSAIOS DE ABRASIVIDADE.....	25
4.3.1	<i>Etapa 1: Ai de Bond em diferentes granulometrias.....</i>	<i>25</i>
4.3.2	<i>Etapa 2: Validação do ensaio LCPC.....</i>	<i>29</i>
4.3.3	<i>Análise visual das placas utilizadas</i>	<i>32</i>
4.3.4	<i>Etapa 3: utilização do método LCPC para avaliar influência da pré-concentração na abrasividade de minérios</i>	<i>35</i>
4.3.5	<i>Análise visual das placas utilizadas</i>	<i>37</i>
5	CONCLUSÕES	39
	REFERÊNCIAS.....	41
	APÊNDICES.....	43
	ANEXOS.....	92

1 INTRODUÇÃO

A abrasividade de rochas e minerais se refere à capacidade de um material desgastar, polir ou limpar outros materiais. Existem diversos ensaios que podem ser realizados a fim de se determinar a abrasividade, como o método de Bond, LCPC, teste *Cerchar*, teste *Gouging*, método *Miller*, entre muitos outros. Dentre eles, o Método de Bond é a referência quando se fala em abrasividade na indústria mineral, sendo o AI (Abrasion Index) muito utilizado para avaliar o desgaste que determinado minério causará no revestimento dos equipamentos dos processos de beneficiamento (MASSOLA, 2015). Apesar de simples, tal ensaio apresenta algumas limitações em relação à granulometria e quantidade de material necessários, o que muitas vezes dificulta, ou mesmo impossibilita, sua execução em etapas iniciais de projeto e em estudos de pré-concentração e geometalurgia, por exemplo.

Sabe-se que a pré-concentração, em geral, resulta em produtos de granulometria menor que $\frac{1}{2}$ ", o que dificulta, ou mesmo impossibilita, a avaliação da abrasividade destes materiais pelo método de Bond. Da mesma forma, a geometalurgia também tem como objeto de trabalho materiais de granulometria menor que $\frac{1}{2}$ ", uma vez que o mais comum é se trabalhar com o pó gerado no momento da perfuração da rocha. Nestes e em outros contextos, o ensaio LCPC se constitui então numa alternativa para a avaliação da abrasividade de minérios.

Segundo BERGSTROM (1985), o minério a ser utilizado no Ensaio de Abrasividade de Bond deve apresentar granulometria entre $\frac{3}{4}$ " e $\frac{1}{2}$ ", e são necessários 1.600 g de minério para a realização de cada teste (400 g para cada uma das quatro vezes que o procedimento é realizado). Observa-se, porém, que a faixa granulométrica do ensaio é muito ampla, o que pode gerar muitas variações nos resultados dos ensaios. Para tentar minimizar tal efeito, a METSO (2008) propõe em seu *Handbook* a realização do ensaio com 50% do material entre $\frac{1}{2}$ " e 16 mm e os outros 50% entre 16 mm e $\frac{3}{4}$ ". PERES (2017) mostra resultados de ensaio utilizando o procedimento proposto pela Metso e também utilizando faixas granulométricas menores, a fim de verificar a validade do ensaio nestas outras condições.

Já o ensaio de abrasividade LCPC foi desenvolvido pelo *Laboratoire Central des Ponts et Chaussées*, na França, na década de 80. O Índice LCPC pode ser usado como uma medida tanto de abrasividade quanto da influência da granulometria do material e os procedimentos deste ensaio são definidos pela Norma Francesa P18-579 (2013).

Pretende-se mostrar, neste trabalho, a aplicabilidade do ensaio LCPC por meio da relação encontrada entre a abrasividade do mesmo minério obtida pelo referido método e pelo método de Bond. Os ensaios foram realizados com amostras de diferentes tipos de minérios com teores de SiO_2 distintos, já que o quartzo é o principal mineral relacionado à abrasividade do minério.

1.1 OBJETIVO

O presente estudo de formatura tem como objetivo geral avaliar a abrasividade de minérios por um método alternativo ao Método de Bond. Para isso, o projeto se ramificou em três diferentes etapas, cada uma com seu respectivo objetivo, conforme é apresentado a seguir.

A primeira etapa consistiu em verificar a relação entre os resultados do ensaio de AI de Bond em diferentes granulometrias, com foco em granulometrias mais finas que a padrão, ou seja, menores que $\frac{1}{2}$ ". Neste caso, o objetivo foi avaliar se este ensaio pode ser realizado com alimentações mais finas, tendo em vista a dificuldade de se obterem amostras com a granulometria requerida pelo ensaio de Bond padrão em circuitos de pré-concentração e trabalhos de geometalurgia. Já na segunda etapa, o objetivo era validar o ensaio LCPC como método para se obter a abrasividade de minérios e isto foi feito por meio da comparação com os resultados obtidos pelo método de AI de Bond, realizado em sua granulometria padrão. Por fim, validado o método LCPC, a terceira etapa consistiu na apresentação de uma das possíveis aplicações desta alternativa e teve como objetivo comparar resultados obtidos com este método para alimentação, concentrado e rejeito de minérios que passaram pelo processo de pré-concentração.

A Figura 1 ilustra as etapas do projeto e seus objetivos.

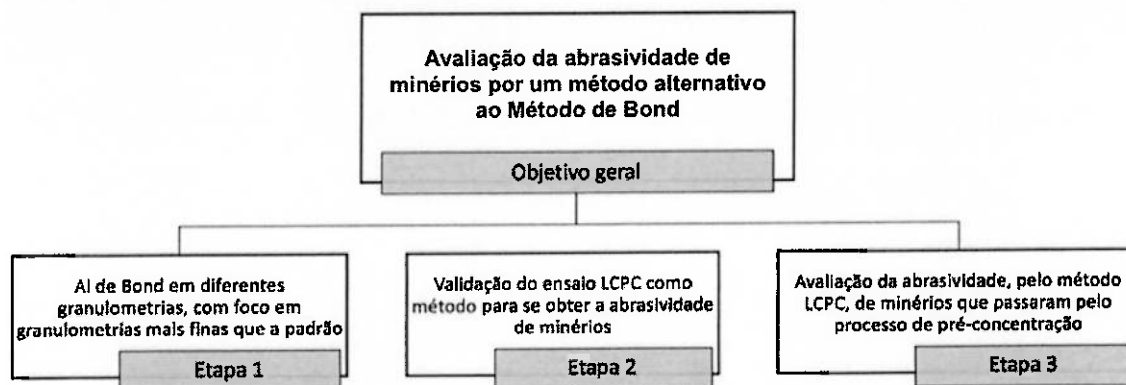


Figura 1. Objetivos do projeto

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 DESGASTE

Segundo a norma DIN 50 320 (SIEGEL E CALLEGARI, 1997), “desgaste é a perda progressiva de substância da superfície de um corpo sólido, causada por ação mecânica, isto é, por contato e movimento relativo de um contra corpo sólido, líquido ou gasoso”.

Nos processos de desgaste, quatro mecanismos básicos estão envolvidos, estes podendo atuar de forma conjunta ou independente (DIN 50 320 *apud* SIEGEL E CALLEGARI, 1997). Tais mecanismos são esquematizados na Figura 2 e descritos a seguir (MASSOLA, 2015).

- Adesão: formação, seguida de ruptura, de união adesiva interfacial, como em junções soldadas a frio;
- Abrasão: remoção de material por riscamento ou sulcamento;
- Fadiga de superfície: fadiga e formação de trincas em regiões da superfície devido a ciclos de tensões que resultam em destacamento de material;
- Reações triboquímicas: formação de produtos de reação química como resultado de interações químicas entre os elementos de um tribossistema, iniciados por ação tribológica.



Figura 2. Mecanismos básicos de desgaste (adaptado de Zum Gahr, 1987)

Também segundo a norma DIN 50 320, há uma outra classificação de acordo com o tipo de desgaste, ou seja, de acordo com a ação tribológica, especialmente cinemática, e a estrutura do sistema, apresentada na Figura 3 (MASSOLA, 2015).

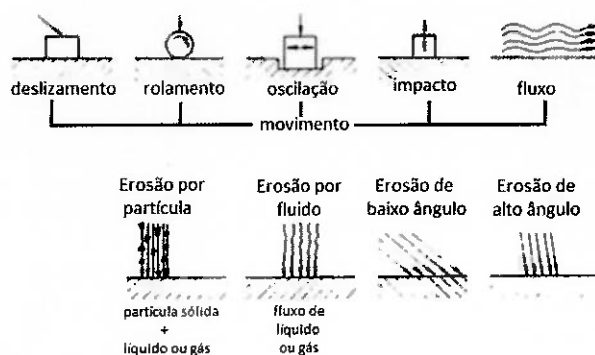


Figura 3. Classificação dos tipos de desgaste (adaptado de Zum Gahr, 1987)

Especificamente sobre o desgaste por erosão, Stachowiak e Batchelor (2014) descrevem que tal desgaste é causado pelo impacto de partículas sólidas ou líquidas contra a superfície de um objeto e envolve diversos mecanismos de desgaste, os quais são controlados pelo ângulo de ataque, pela velocidade de impacto e pelo tamanho das partículas.

O ângulo de impacto é o ângulo entre a superfície erodida e a trajetória da partícula imediatamente antes do impacto, como mostra a Figura 4. Um pequeno ângulo de impacto favorece processos de desgaste semelhantes à abrasão, porque as partículas tendem a deixar marcas sobre a superfície desgastada após o impacto. Já um grande ângulo de impacto gera mecanismos de desgaste típicos da erosão. (Stachowiak e Batchelor, 2014).

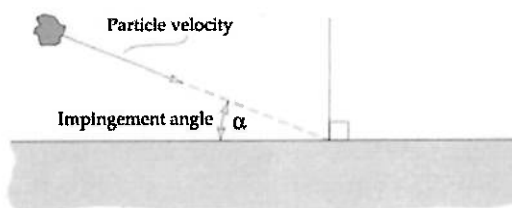


Figura 4. Ângulo de ataque (Stachowiak e Batchelor, 2014)

A velocidade de uma partícula erosiva tem um grande efeito no processo de desgaste. Se a velocidade é muito baixa, as tensões do impacto são insuficientes para causar deformação plástica e o desgaste ocorre por fadiga da superfície. Se a velocidade da partícula aumentar para, por exemplo, 20 m/s, é possível que o material erodido seja deformado plasticamente com o impacto das partículas (Stachowiak e Batchelor, 2014).

2.2 AVALIAÇÃO DA ABRASIVIDADE DE MATERIAIS

O principal conceito em estudo neste projeto é a abrasividade. Esta característica se relaciona à capacidade de um material em desgastar, polir ou limpar outros materiais. Atualmente existem diversos ensaios que podem ser utilizados a fim de avaliar a abrasividade dos materiais, alguns dos quais são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Comparação dos métodos de avaliação de abrasividade

Método	Granulometria	Massa requerida	Material desgastado	Tempo de ensaio	Índice gerado	Origem do ensaio	Aplicação
NTNU's abrasion tests	- 1 mm	400 g	Carbeto de tungstênio	5 min / 1 min	Índice AV/AVS	Departamento de Geologia do NTH (Instituto Norueguês de Tecnologia) - década de 1960	Medida de abrasão da rocha ou a capacidade de induzir desgaste / avaliação da abrasividade de solos
Los Angeles	Diversas	5000 g ou 10000 g	Esferas de aço ou ferro fundido	500 ou 1000 rotações a 30-33 rpm	Índice de Abrasão Los Angeles	NBR NM 51, Agregado graúdo - Ensaio de abrasão "Los Angeles" (ABNT, 2001)	Determinação da resistência ao desgaste de agregados
Gougging Test	Amostra de rocha	Corpo de prova de 100 x 30 x 11 mm	Ponteira cilíndrica	-	Gougging Abrasion Index - Gi	Golovanevskiy e Bearman (2008)	Abrasão por impacto deslizante
Cerchar Test	Amostra de rocha	Corpo de prova em forma de disco ou irregular	Ponta metálica	-	CAI Cerchar Abrasivity Coefficient	Centre d'Etudes et Recherches des Charbonnages de France – década de 70 (ASTM (2012))	Classificar a abrasividade dos materiais rochosos; cálculos da vida útil de ferramentas; e escavações subterrâneas.
Método Miller	Amostra de polpa	-	Liga Ferro-27% Cromo	6 horas (medições a cada 2 horas)	Número de Miller (NM) / Número SAR	Stanley Miller (1967) / norma G75 "Standard Test Method for Determination of Slurry Abrasivity and Slurry Abrasion Response of Materials" (2001)	Avaliar a abrasividade de polpas. Medir a abrasividade relativa de suspensões em geral.
LCPC	- 6,3 mm + 4 mm	500 g	Placa de aço C1015	5 min	LAC LCPC Abrasivity Coefficient	Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (França) - década de 80	Avaliar abrasividade de rochas e solos. Avaliar misturas contendo grãos de diferentes tamanhos.
Bond	-3/4" + 1/2"	4 alíquotas de 400 g	Placa de aço SAE4340	4 vezes de 15 min	AI Abrasion Index	Fred C. Bond (1985)	Avaliação da abrasividade de minérios

No presente projeto, serão empregados os métodos de Bond e o LCPC para avaliação da abrasividade de minérios, os quais são descritos a seguir, e o motivo da escolha é apresentado ao final desta seção.

2.2.1 LCPC

O ensaio de abrasividade LCPC foi desenvolvido pelo *Laboratoire Central des Ponts et Chaussées*, na França, na década de 80. O Coeficiente de Abrasividade LCPC, também chamado de LAC, pode ser usado como uma medida tanto de abrasividade quanto da influência da granulometria do material.

Os procedimentos detalhados deste ensaio são definidos pela Norma Francesa P18-579. De forma simplificada o teste consiste na rotação de uma placa de aço com baixo carbono (C1015) presa num eixo vertical dentro de uma cuba com o material que se pretende determinar a abrasividade. O LCPC *Abrasivity Coefficient* (LAC) é calculado como a perda de massa da placa em 5 minutos de rotação dividido pela massa inicial de amostra (500 g).

No presente projeto, o ensaio de abrasividade pelo método LCPC será utilizado, em um primeiro momento, para verificar a existência de uma correlação entre o valor de abrasividade de minérios obtidos por este método e pelo método de Bond e, posteriormente, para avaliar a abrasividade de minérios que tenham passado por um circuito de pré-concentração.

2.2.2 Método de Bond

O Ensaio de Abrasividade de Bond resulta no Índice de Abrasão de Bond (AI) (BERGSTROM, 1985). Tal índice foi desenvolvido por Fred C. Bond e possibilita o cálculo do desgaste gerado por um minério no revestimento e corpos moedores de equipamentos usados para cominuição em uma usina de beneficiamento, como britadores e moinhos. No caso da britagem, este parâmetro é o mais utilizado para avaliar o desgaste dos equipamentos, já que o ensaio é conduzido a seco.

Na moagem a úmido, por sua vez, ele pode ser um indicativo da resistência da liga ao desgaste por abrasão, com limitações para a prática devido à diferença de solicitações impostas pelos equipamentos industriais. Apesar dessas diferenças, o índice AI é amplamente utilizado como parâmetro indicativo do desgaste pela indústria mineral (MASSOLA, 2015).

O ensaio consiste na rotação de uma placa de aço SAE 4330 presa num eixo, desta vez horizontal, e o material a ser analisado é inserido na cuba cilíndrica, a qual gira por 4 períodos de 15 minutos. Apesar de simples, o ensaio definido por Bond apresenta algumas limitações em relação à granulometria e quantidade de material necessário. O minério a ser utilizado no Ensaio de Abrasividade de Bond deve apresentar granulometria entre $\frac{3}{4}$ " e $\frac{1}{2}$ ", e são necessários 1.600 g de minério para a realização de cada teste (400 g para cada uma das quatro vezes que o procedimento é realizado). Dada a dificuldade de se obter essa quantidade de amostra com tal granulometria, uma vez que muitas vezes é preciso uma grande massa para se chegar em 1.600 g na fração requerida, principalmente em circuitos de pré-concentração, no qual o minério já passou por operações de britagem que resulta em partículas com tamanhos menores que $\frac{1}{2}$ ", o presente projeto visa também avaliar a abrasividade pelo método de Bond adaptado a alimentações com granulometrias menores.

2.3 ESCOLHA DOS MÉTODOS PARA ESTUDO

Neste projeto os métodos em estudo são o AI de Bond e o LCPC. O primeiro deles foi escolhido por ser o mais utilizado pela indústria mineral atualmente. A maioria das mineradoras avalia a abrasividade de seus materiais e adequa sua usina de beneficiamento e equipamentos de cominuição de acordo com esse índice.

Já o método LCPC foi escolhido por ser vastamente utilizado em países da Europa, sendo até regulamentado pela Norma Francesa P18-579, bem como por exigir uma menor massa de material e uma granulometria menor que a requerida pelo método de Bond, ambas restrições existentes neste método e citadas anteriormente como as principais limitações desta técnica para avaliar a abrasividade de minérios pré-concentrados. Além disso, a facilidade em encontrar um fornecedor que fabricasse o equipamento de acordo com as especificações da Norma foi também um fator fundamental que permitiu utilizar o método LCPC para as análises deste projeto.

Vale ressaltar, porém, que a ideia de se trabalhar com o método LCPC não surgiu repentinamente. Um dos orientadores deste projeto, cuja linha de pesquisa é a de pré-concentração, já vinha acompanhando estudos na área e tomou conhecimento de estudos realizados por algumas mineradoras acerca da correlação de resultados obtidos com este ensaio e com o ensaio padrão de Bond. Alguns destes resultados podem ser observados no gráfico da Figura 5.

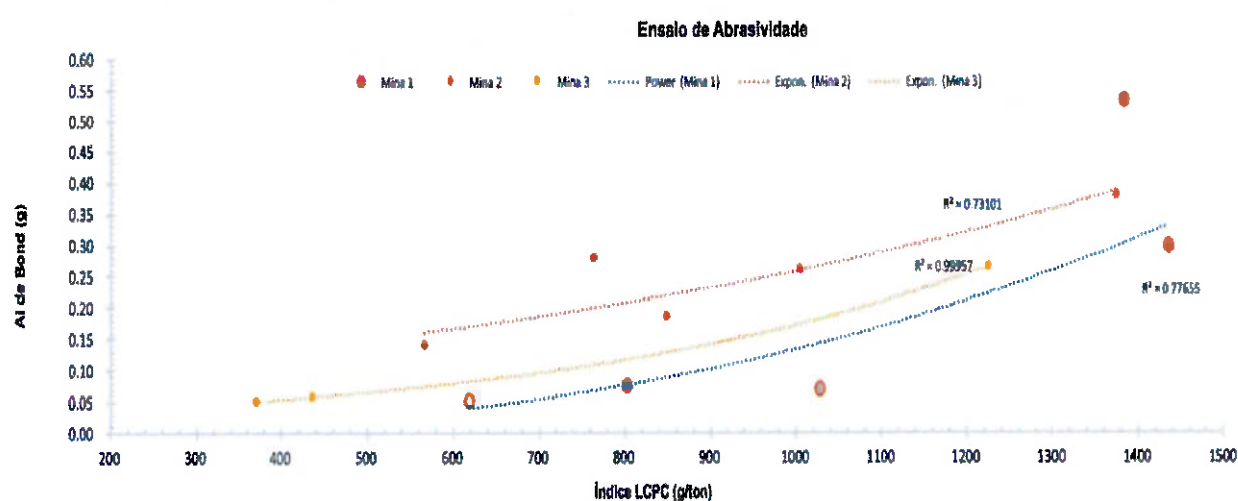


Figura 5. Estudos iniciais mostrando a relação entre AI de Bond e o Índice LCPC (Freitas, 2014)

Além de uma correlação entre os valores de AI de Bond e LCPC, nota-se a presença linhas de tendência paralelas, que variam de acordo com as características do minério em estudo.

A Metso (2008), na terceira edição do *Crushing and Screening Handbook*, também já sugere uma relação entre os dois índices, chamados por eles de Abrasion Index (AI de Bond) e Abrasiveness (índice LCPC). A relação proposta é dada pela expressão:

$$\text{LCPC} = 2000 \times \text{AI de Bond}$$

A Figura 6 ilustra os resultados obtidos pelos ensaios da empresa.

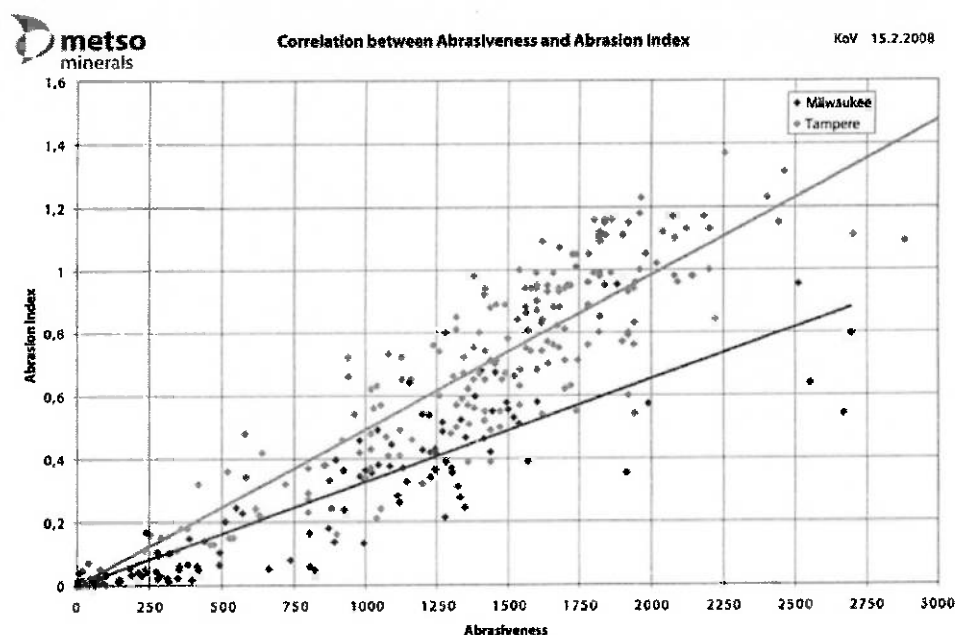


Figura 6. Resultados de AI e LCPC obtidos pela Metso em dois de seus laboratórios (Metso, 2008)

Pela observação da Figura 6, nota-se que, apesar da Metso ter proposto a relação apresentada acima ($LCPC = 2000 \times AI$ de Bond), testes em um de seus próprios laboratórios não seguiram essa tendência, como é o caso dos resultados obtidos no laboratório de Milwaukee.

Tais referências incentivaram então este projeto de formatura, a fim de investigar mais a fundo esta correlação e outras que possam existir entre os dois métodos apresentados.

3 METODOLOGIA

O procedimento experimental foi realizado nas instalações dos laboratórios LPM/CTMM - Laboratório de Processos Metalúrgicos do Centro de Tecnologia em Metalurgia e Materiais, do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas), e LTM - Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais, da Escola Politécnica da USP. As atividades foram organizadas de modo a seguir os objetivos deste trabalho, que são: verificar a relação entre os resultados do ensaio de AI de Bond em diferentes granulometrias, validar o ensaio LCPC como método para se obter a abrasividade de minérios e, por fim, comparar resultados obtidos com este método para alimentação, concentrado e rejeito de minérios que passaram pelo processo de pré-concentração.

3.1 AMOSTRAGEM

O primeiro passo foi coletar amostras junto às empresas parceiras para realizar os ensaios de abrasividade. As amostras disponíveis e utilizadas para o desenvolvimento do projeto são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Amostras utilizadas no projeto

<i>ID</i>	<i>Amostra</i>	<i>Origem</i>
1	Calcário	Mina de Ponte Alta (Votorantim)
2	Minério Silicatado de Zinco	Mina de Vazante (Votorantim)
3	Brita para jardinagem (dolomita)	Pro Garden
4	Minério de Ouro	Mina de Jacobina (Yamana Gold)
5	Minério de Ferro	Biogold
6	Diabásio	Pedreira Santo Antônio (Grupo Quaglio)
7	Amostra de Furnas	Coleta em campo
8	Rocha Potássica	Coleta em campo (Poços de Caldas)
9	Minério Silicatado de Zinco	Mina de Vazante (Votorantim) - Usicon W
10	Minério Sulfetado de Cobre	Mineração Caraíba - Projeto Boa Esperança

Vale ressaltar que as amostras de números 9 e 10 são minérios que passaram por um processo de pré-concentração por jigagem e foram utilizadas na terceira etapa do projeto.

O passo seguinte à coleta das amostras foi caracterizá-las química e mineralogicamente, bem como adequar a granulometria destas para a realização dos ensaios de determinação da abrasividade pelos dois métodos em questão: AI de Bond e LCPC.

3.2 ADEQUAÇÃO DE GRANULOMETRIA

As amostras foram inicialmente pesadas e então manuseadas a fim de obter as massas requeridas por cada um dos ensaios na sua respectiva granulometria: - $\frac{3}{4}$ " + $\frac{1}{2}$ " para o AI de Bond e - 6,3 mm + 4 mm para o LCPC. Para a realização do ensaio de AI de Bond são necessárias 1.600 g, divididas igualmente em 4 alíquotas de 400 g, e para a realização do ensaio LCPC são necessárias 500 g de material.

Para garantir a homogeneidade e representatividade das alíquotas, toda a amostra inicial disponível de cada minério foi britada abaixo de $\frac{3}{4}$ ". As amostras foram então homogeneizadas, utilizando o método da pilha prismática alongada. A partir desta pilha, foram retiradas as alíquotas para todos os ensaios, nos diferentes padrões de tamanho, e também uma pequena parcela (de aproximadamente 500 g) para a caracterização química e mineralógica das amostras. Com cada uma das alíquotas, com material abaixo de $\frac{3}{4}$ ", foram então realizadas as demais britagens e peneiramentos até que se obtivesse a fração granulométrica desejada.

A Figura 7 apresenta um fluxograma que ilustra todas as etapas realizadas na adequação da granulometria das amostras.

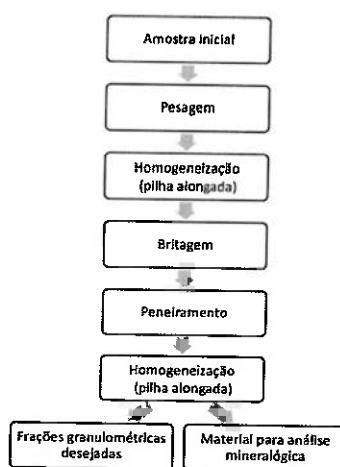


Figura 7. Fluxograma mostrando as etapas realizadas

3.3 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS

Para a realização da análise química e mineralógica foi retirada uma alíquota de 500 g de cada uma das amostras. Tal processo foi feito a partir da pilha de material já abaixo de $\frac{3}{4}$ ", garantindo, assim, que o material selecionado para as análises fosse representativo do total. Essa alíquota foi então cominuída até que se chegasse a uma granulometria menor que 325# Tyler, exigência para a realização das análises. Tal cominuição foi realizada utilizando-se o moinho de rolos, modelo já citado anteriormente, e o moinho de disco, da marca Fritsch, nº de série 13.105/621 - ano 2000.

As análises químicas foram realizadas por fluorescência de raios-X pelo IPT no LPM-CTMM, e por espectrometria de massa por emissão óptica (ICP-OES) pelo LCT - Laboratório de Caracterização Tecnológica do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica - USP. A composição mineralógica foi determinada pelos mesmos laboratórios, pela técnica de difração de raios-X.

3.4 ENSAIOS PARA A DETERMINAÇÃO DA ABRASIVIDADE

3.4.1 AI DE BOND

Os ensaios para determinação da abrasividade das frações citadas anteriormente neste relatório foram realizados no LTM-Poli/USP e, na primeira etapa do projeto, o método utilizado foi o proposto pela Allis Chalmers e descrito por Bergstrom (1985).

O chamado de Índice de Abrasividade de Bond (AI de Bond) é dado pela diferença entre o peso da placa antes e depois do ensaio, ou seja, a massa de metal removida pela abrasão,

3.4.2 LCPC

Como já citado neste relatório, o ensaio de abrasividade LCPC foi desenvolvido pelo *Laboratoire Central des Ponts et Chaussées*, na França, na década de 80 e os procedimentos deste são definidos pela Norma Francesa P18-579.

O equipamento LCPC utilizado para avaliar a abrasividade dos materiais é também descrito na Norma Francesa P18-579 (1990) e é mostrado na Figura 8.

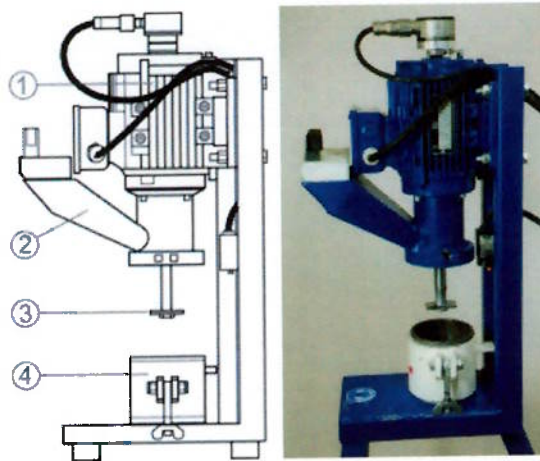


Figura 8. Equipamento LCPC (1-motor, 2-tubo de funil, 3-rotor e fixação da placa, 4- recipiente de amostra) (Thuro & Kasling, 2010)

Para a determinação da abrasividade, a placa de metal é pesada antes e depois do teste e a perda de massa registrada é definida como a abrasividade característica do material. Quanto maior a perda de massa determinada no ensaio, mais abrasivo será o material.

Segundo a Norma Francesa, o índice LCPC é calculado como:

$$LCPC = 1000 \times 1000 (m_{ip} - m_{fp}) / M$$

Onde m_{ip} é a massa da placa antes do teste LCPC;

m_{fp} é a massa da placa depois do teste LCPC e

M é a massa da amostra ($500 \pm 0,2$ g).

3.5 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS PLACAS UTILIZADAS NOS ENSAIOS

Conforme descrito na revisão bibliográfica, ambos os ensaios realizados neste projeto utilizam uma placa de aço que será desgastada pelo minério e posteriormente seu peso é analisado para se obterem valores referentes à abrasividade de minérios.

No caso do ensaio de Bond, Bergstrom (1985) define que a placa a ser utilizada no ensaio é feita de aço do tipo SAE 4330, com dureza de 500 Brinell e dimensões de 3" x 1" x 0,25". O aço SAE (Society of Automotive Engineers) 4330 pode ser classificado como aço ARBL (alta resistência e baixa liga) e possui altas temperabilidade, resistência mecânica e tenacidade, porém, baixas usinabilidade e soldabilidade (Cardoso, 2011). Além disso, a dureza na condição temperada varia

entre 54 e 59 HRC, a utilizada no ensaio, e nesta situação o aço é considerado de baixo custo e com alta relação resistência / massa específica (Souza, 1998).

Já no caso do ensaio LCPC, a Norma Francesa P18-579 especifica que a placa utilizada deve ser feita com aço com baixo carbono (C1015), com dureza Rockwell em torno de 60 a 75 HRB e dimensões de 50 x 25 x 5 mm, conforme mostra a Figura 9.

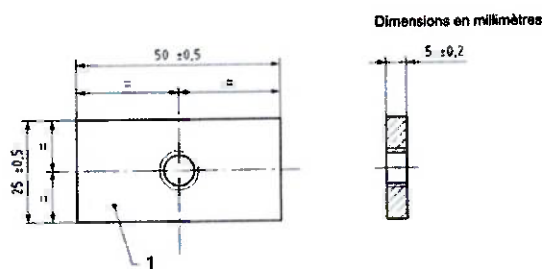


Figura 9. Especificações da placa (Norma Francesa P18-579,2013)

Para garantir que as placas utilizadas em ambos os ensaios apresentavam as dimensões e durezas corretas, realizaram-se medições e ensaios de dureza Rockwell B e Rockwell C com o equipamento disponível no LPM-CTMM, mostrado na Figura 10, antes de se iniciarem os testes.



Figura 10. Equipamento disponível no IPT utilizado para determinar a dureza Rockwell B e C

As placas para ambos os ensaios estavam disponíveis comercialmente e foram adquiridas através do fornecedor Dry Metal Ind. e Com. Ltda., no caso do Al, e Projaço Com. de Ferro e Aço Ltda., no caso do LCPC.

Por fim, em relação à qualidade do material utilizado tanto nos ensaios de Bond quanto nos ensaios LCPC vale ressaltar que se tomou o cuidado de usar placas do mesmo lote e do mesmo fabricante, como citado acima, para realizar todos os ensaios de cada um dos métodos, de modo a evitar que possíveis variações na fabricação dos lotes interferissem nos resultados do projeto.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO MINÉRIO

Na Tabela 3 apresentam-se, resumidamente, as fases minerais predominantes em cada amostra, obtidas através da técnica de Difração de Raios-X (DRX).

Tabela 3. Fases predominantes por amostra.

<i>Amostra</i>	<i>Fases predominantes*</i>
Calcário	Calcita, Dolomita e Quartzo
Brita para jardinagem	Dolomita e Quartzo
Minério Silicatado de Zinco	Willemita, Dolomita, Hematita e Quartzo
Minério de Ouro	Quartzo
Minério de Ferro	Hematita, Magnetita, Quartzo e Talco
Diabásio	Feldspato, Quartzo e Ilmenita
Amostra de Furnas	Feldspatos, Feldspatoides e Quartzo
Rocha Potássica	Quartzo, Mica e Caulinita
Minério silicatado de zinco (alimentação)	Willemita, Dolomita e Hematita
Minério silicatado de zinco (concentrado)	Willemita, Dolomita e Hematita
Minério silicatado de zinco (rejeito)	Dolomita, Willemita e Hematita
Minério sulfetado de cobre (alimentação)	Quartzo, Pirita, Magnetita e Calcopirita
Minério sulfetado de cobre (concentrado)	Calcopirita, Quartzo, Pirita e Magnetita
Minério sulfetado de cobre (rejeito)	Quartzo, Albita, Clorita, Microclínio e Mica

* Listadas em ordem decrescente de ocorrência.

Os resultados completos da difração de raios-X das amostras analisadas são apresentados no Anexo A.

A Tabela 4 apresenta os resultados das análises químicas obtidas através das técnicas de fluorescência de raios-X e por ICP, como já citado anteriormente.

Tabela 4. Resultados das análises químicas realizadas

Amostras	Concentração dos componentes (%)									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	SO ₃
Calcário *	10,1	1,52	0,82	35,9	6,97	-	-	0,07	0,06	-
Minério de zinco *	8,48	1,09	6,70	19,6	14,2	0,274	0,039	-	-	-
Brita para jardinagem *	1,39	1,97	0,07	38,7	19,4	-	-	-	-	0,05
Minério de ouro *	96,7	-	1,55	0,58	-	0,22	-	0,08	-	0,57
Minério de Ferro **	51,3	1,15	43,7	0,215	2,27	0,027	0,044	-	-	-
Diabásio **	49,7	12,9	15,0	7,52	2,12	2,19	3,30	-	-	-
Furnas**	51,4	20,8	4,47	1,73	0,197	8,98	6,39	-	-	-
Rocha potássica **	96,5	1,83	0,597	0,067	0,076	0,469	0,049	-	-	-
Zn alimentação **	8,48	1,09	6,70	19,6	14,2	0,274	0,039	-	-	-
Zn concentrado **	9,43	0,694	9,94	13,8	10,5	0,095	0,040	-	-	-
Zn rejeito **	6,86	1,54	3,14	27,3	17,3	0,409	0,053	-	-	-
Cu alimentação **	52,6	8,36	15,9	2,19	2,11	3,42	1,02	-	-	-
Cu concentrado **	40,5	6,02	25,0	1,62	1,52	1,85	0,673	-	-	-
Cu rejeito **	65,0	10,6	8,42	2,45	1,77	4,67	1,35	-	-	-

* amostras analisadas por fluorescência de raio-x

** amostras analisadas por ICP-OES

Para efeito de identificação e observação de cada uma das amostras, foram tiradas fotos dos fragmentos de rocha nas duas granulometrias principais ($\frac{3}{4}$ " a $\frac{1}{2}$ " e 6,3 mm a 4 mm). Tais imagens são apresentadas no Apêndice A.

4.2 QUALIDADE DAS PLACAS UTILIZADAS

Para a placa utilizada no ensaio de Bond, os resultados obtidos para a dureza do material em questão são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Resultados do ensaio de dureza Rockwell C.

Ensaio	Resultado
1	53 HRC
2	55 HRC
3	53 HRC
4	53 HRC
5	54 HRC
Média	53,3 HRC

Como apresentado anteriormente, a especificação do procedimento padrão diz que o material deve apresentar uma dureza de 500 HB (Brinell). Fazendo a conversão de dureza Rockwell C para a dureza Brinell, obtém-se um valor de 525 HB, com uma variação de 5% considerada aceitável pela autora para o tipo de análise que será realizada.

Já os resultados do ensaio de dureza na placa a ser utilizada nos ensaios LCPC são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Resultados do ensaio de dureza Rockwell B.

Ensaio	Resultado
1	77 HRB
2	63 HRB
3	59 HRB
4	63,5 HRB
5	66 HRB
6	61,5 HRB
Média	65 HRB

Considerando que a especificação de dureza para este ensaio, segundo a Norma, é que a dureza da placa esteja entre 60 e 75 HRB, podemos afirmar que as placas adquiridas estavam dentro do padrão e poderiam ser utilizadas para a realização dos ensaios.

4.3 ENSAIOS DE ABRASIVIDADE

Ao longo deste projeto foram realizados, ao todo, 79 ensaios de abrasividade, sendo 39 ensaios utilizando o método de Al de Bond e 40 utilizando o método LCPC. Os resultados obtidos são apresentados nas sub-seções 4.3.1, 4.3.2 e 4.3.3, de acordo com a etapa na qual cada ensaio foi realizado.

4.3.1 Etapa 1: Al de Bond em diferentes granulometrias

Como já apresentado, a primeira etapa consistiu em verificar a relação entre os resultados do ensaio de Al de Bond em diferentes granulometrias, com foco em granulometrias mais finas que a padrão, ou seja, materiais menores do que $\frac{1}{2}$ ", e também com a granulometria padrão, porém com uma composição de 50% do material entre $\frac{1}{2}$ " e 16 mm e os outros 50% entre 16 mm e $\frac{3}{4}$ ", como sugerido pela Metso (2008).

Nesta etapa, considerando a quantidade inicial das amostras disponíveis, foi possível realizar os testes com diferentes granulometrias e analisar seus respectivos resultados com apenas 5 (cinco) das amostras trabalhadas neste projeto, são elas: calcário (amostra 1), minério de zinco silicatado (amostra 2), brita para jardinagem (amostra 3), minério de ferro (amostra 5) e diabásio (amostra 6).

Um resumo dos resultados obtidos é apresentado na Tabela 7. Os laudos completos de cada um dos ensaios, com informações como massa inicial e final das placas e distribuição granulométrica dos produtos dos ensaios são apresentados no Apêndice B.

Tabela 7. Resultados de AI em diferentes granulometrias obtidos na primeira etapa do projeto

Minério	Granulometria	M _{ip} (g)	M _{fp} (g)	AI de Bond (M _{ip} - M _{fp}) (g)	AI de Bond (média) (g)	Desvio padrão	Variância
Calcário (amostra 1)	-3/4" + 1/2"	93,7363	93,7088	0,0275	0,0264	0,0032	0,00001021
		95,9744	95,9455	0,0289			
		96,5226	96,4998	0,0228			
	-3/4" + 1/2" 50%	96,1335	96,1078	0,0257	0,0206	0,0059	0,00003511
		96,9283	96,9063	0,0220			
		96,3996	96,3855	0,0141			
	-1/2" + 8 mm	96,5096	96,5080	0,0016	0,0028	0,0010	0,00000102
		96,7487	96,7453	0,0034			
		96,7739	96,7706	0,0033			
	- 8 + 6,3 mm	97,1575	97,1527	0,0048	0,0048	-	-
Minério de zinco (amostra 2)	-3/4" + 1/2"	96,8625	96,6769	0,1856	0,1856	-	-
	-1/2" + 8 mm	96,5941	96,4722	0,1219	0,1219	-	-
Brita pra jardinagem (amostra 3)	-3/4" + 1/2"	96,8591	96,8578	0,0013	0,0015	0,0006	0,00000039
		96,9634	96,9624	0,0010			
		96,3891	96,3869	0,0022			
	-3/4" + 1/2" 50%	96,5704	96,5681	0,0023	0,0021	0,0009	0,00000074
		96,5571	96,5559	0,0012			
		96,8499	96,8470	0,0029			
	-1/2" + 8 mm	96,1853	96,1759	0,0094	0,0100	0,0008	0,00000072
		96,6825	96,6719	0,0106			
	- 8 + 6,3 mm	96,9146	96,9137	0,0009	0,0009	-	-
Minério de ferro (amostra 5)	-3/4" + 1/2"	96,1250	95,9240	0,2010	0,1860	0,0175	0,00030756
		96,6981	96,5314	0,1667			
		97,3216	97,1314	0,1902			
	-1/2" + 8 mm	96,4904	96,3175	0,1729	0,1722	0,0010	0,00000098
		95,9595	95,7880	0,1715			
	- 8 + 6,3 mm	96,4272	96,2764	0,1508	0,1508	-	-
Diabásio (amostra 6)	-3/4" + 1/2"	97,1071	96,7119	0,3952	0,3665	0,0258	0,00066394
		96,3373	95,9782	0,3591			
		96,4724	96,1271	0,3453			
	-1/2" + 8 mm	96,3305	96,1228	0,2077	0,2116	0,0055	0,00003042
		96,3640	96,1485	0,2155			
	- 8 + 6,3 mm	95,8706	95,7397	0,1309	0,1309	-	-

Onde: M_{ip} representa a massa inicial da placa utilizada no ensaio, em gramas; e

M_{fp} representa a massa final da placa utilizada no ensaio, em gramas.

Os resultados mostram que em todas as amostras o desvio padrão foi maior nas frações granulométricas maiores (entre ¾" e ½"), exceto no caso da amostra 3 (brita para jardinagem).

Os gráficos das Figuras 11 a 15 mostram os valores médios obtidos para a abrasividade de cada uma das amostras nas diferentes granulometrias.

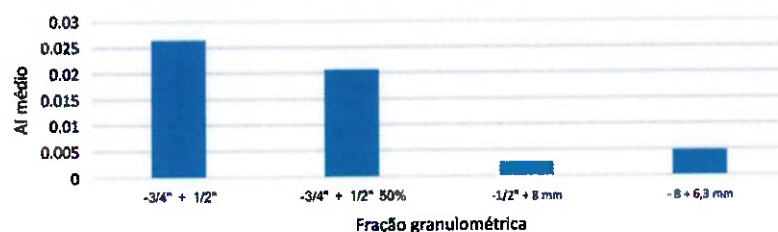


Figura 11. Resultados do ensaio de AI de Bond para diferentes granulometrias da amostra 1 (calcário).



Figura 12. Resultados do ensaio de AI de Bond para diferentes granulometrias da amostra 2 (zinco).

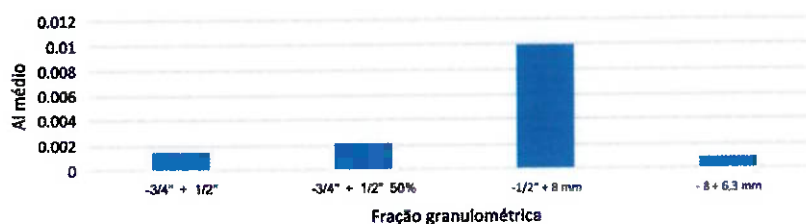


Figura 13. Resultados do ensaio de AI de Bond para diferentes granulometrias da amostra 3 (brita pra jardinagem).

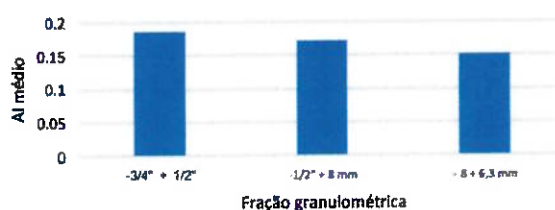


Figura 14. Resultados do ensaio de AI de Bond para diferentes granulometrias da amostra 5 (ferro).



Figura 15. Resultados do ensaio de AI de Bond para diferentes granulometrias da amostra 6 (diabásio).

Observa-se que há uma tendência de redução do valor de abrasividade medido pelo método do AI de Bond conforme a granulometria diminui, o que pode ser decorrente de possíveis concentrações de minerais mais abrasivos em granulometrias mais grossas. Tal fato também pode ser explicado utilizando o conceito de quantidade de movimento ($Q = M \times V$, onde M é a massa da partícula e V , sua velocidade). Como a velocidade de rotação do tambor não muda, ela é constante para todas as partículas, independente de seu tamanho; porém, para frações granulométricas menores a massa das partículas é menor, o que resulta em uma menor quantidade de movimento para estas partículas mais finas e, portanto, em um menor potencial destas para desgastar a placa. Um outro aspecto importante é que o tamanho das partículas podem mudar o mecanismo de desgaste, passando de sulcamento, para riscamento ou apenas abrasão, o que também influencia a quantidade de massa que será perdida no ensaio.

Exceção a esta tendência ocorre com a amostra 3 (brita pra jardinagem), na qual a abrasividade aumentou significativamente na fração em $\frac{1}{2}$ " e 8 mm. Tal fato pode ser explicado por estarmos trabalhando com valores muito baixos de abrasividade, a maioria deles na faixa de 2×10^{-3} , o que faz com que a presença de qualquer fragmento externo presente na amostra ou qualquer diferença mínima no procedimento experimental gere resultados muito diferentes para a abrasividade de tal fração.

Outro caso que contraria essa tendência de comportamento é a fração entre 8 e 6,3 mm da amostra 1 (calcário). Neste caso o esperado era que se obtivesse um valor de AI menor do que para a fração de $\frac{1}{2}$ " a 8 mm, o que não ocorreu. Vale ressaltar, porém, que infelizmente não foi possível obter duplicata desta fração para se realizar outro ensaio e confirmar tal resultado. Neste contexto, não se pode afirmar com certeza se tal valor ocorreu em função da característica do material nessa granulometria específica ou em função de erros experimentais (o que pode ser considerado como causa mais provável, dado o número de etapas envolvidas no ensaio).

4.3.2 Etapa 2: Validação do ensaio LCPC

Já na segunda etapa, o objetivo era validar o ensaio LCPC como método para se obter a abrasividade de minérios por meio da comparação com os resultados obtidos pelo método de Al de Bond, realizado em sua granulometria padrão.

Nesta etapa, os ensaios se restringiram ao uso das amostras nas respectivas granulometrias padrão de cada método. Assim, para o método de Bond foi utilizada a fração entre $\frac{3}{4}$ " e $\frac{1}{2}$ ", enquanto no LCPC a fração utilizada foi entre 6,3 e 4 mm. Desta vez foi possível realizar os ensaios com todas as amostras disponíveis, excluindo as duas amostras de pré-concentração, específicas para a terceira etapa.

Na Tabela 8 são apresentados os resultados obtidos nos ensaios LCPC com as 8 (oito) amostras disponíveis.

Tabela 8. Resultados do LCPC para as diferentes amostras na segunda etapa do projeto

Minério	M _{ia} (g)	M _{ip} (g)	M _{fp} (g)	M _{ip} - M _{fp} (g)	Índice LCPC (g)	Média índice (g)	Desvio padrão	Variância
Calcário (amostra 1)	498,29	45,8352	45,7355	0,0997	200	183	23,87	569,94
	498,43	46,7321	46,6492	0,0829	166			
Minério de zinco (amostra 2)	498,13	46,2185	45,9240	0,2945	591	552	55,83	3117,02
	498,97	45,9278	45,6722	0,2556	512			
Brita pra jardinagem (amostra 3)	500,96	45,8914	45,8590	0,0324	65	60	5,24	27,44
	499,80	46,3037	46,2773	0,0264	53			
	499,13	45,9879	45,9568	0,0311	62			
	500,57	46,5236	46,4925	0,0311	62			
Minério de Ouro (amostra 4)	500,34	46,7058	46,0608	0,6450	1289	1293	6,14	37,73
	501,46	46,3726	45,7218	0,6508	1298			
Minério de ferro (amostra 5)	500,30	46,3040	46,1232	0,1808	361	384	50,94	2594,47
	501,08	46,5811	46,3594	0,2217	442			
	500,46	46,3412	46,1668	0,1744	348			
Diabásio (amostra 6)	500,80	46,1943	45,6187	0,5756	1149	1137	19,11	365,20
	500,25	45,9748	45,4199	0,5549	1109			
	500,57	46,5111	45,9402	0,5709	1140			
	500,32	46,5171	45,9419	0,5752	1150			
Amostra de Furnas (amostra 7)	500,60	46,2861	45,0380	1,2481	2493	2493	-	-
Rocha potássica (amostra 8)	500,70	46,0302	45,3911	0,6391	1276	1264	17,93	321,66
	500,30	45,9464	45,3205	0,6259	1251			

Onde: M_{ia} representa a massa inicial da amostra, em gramas;

M_{ip} representa a massa inicial da placa utilizada no ensaio, em gramas; e

M_{fp} representa a massa final da placa utilizada no ensaio, em gramas.

Para a comparação entre os dois métodos foram selecionados os resultados médios do AI de Bond para a granulometria padrão e também resultados médios do LCPC das 8 (oito) amostras disponíveis, como apresentado na Tabela 9. A tabela também apresenta a relação entre AI e LCPC, conforme proposto no item 2.3 deste relatório.

Tabela 9. Relação entre AI de Bond e LCPC

Amostra	Minério	Média LCPC	Média AI de Bond	Relação AI x LCPC*
1	Calcário	183	0,0264	6940
2	Minério de zinco	552	0,1856	2973
3	Brita pra jardinagem	60	0,0015	40322
4	Minério de Ouro	1293	0,7348	1760
5	Minério de ferro	384	0,1860	2065
6	Diabásio	1137	0,3665	3103
7	Amostra de Furnas	2493	0,3262	7643
8	Rocha Potássica	1264	0,4673	2705

* LCPC = 2000 x AI de Bond (Metso, 2008)

Graficamente, tem-se:

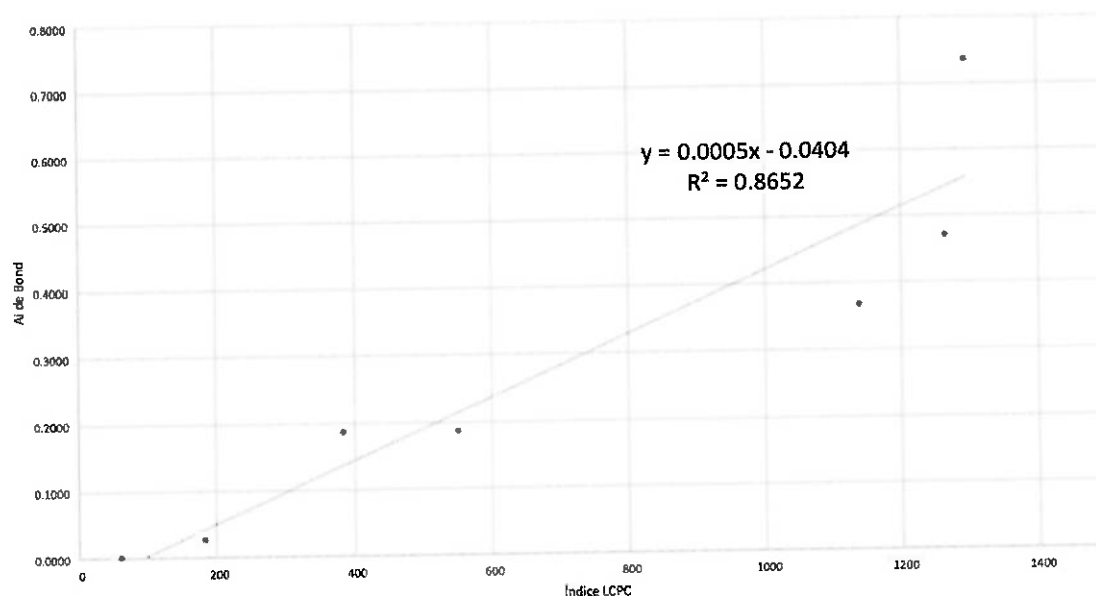


Figura 16. Correlação entre AI e LCPC

Pela observação do gráfico, nota-se uma boa correlação entre os valores de AI de Bond e LCPC, com valor de R^2 de 0,8652, considerado bem favorável se trata de resultados experimentais, já que está próximo de 1, quando a correlação seria perfeita. Importante ressaltar que os dados foram ajustados e a amostra 7 foi retirada da linha de tendência, uma vez que apresentou resultados não condizentes com os demais.

Além disso, alguns outros dados obtidos em outros projetos foram usados a fim de adensar a base de dados utilizada. Os dados adicionados são apresentados na Tabela 10. Tais resultados foram gerados através de testes realizados no LTM, em outro projeto de pesquisa coordenado pelo Professor Doutor Mauricio Bergerman.

Tabela 10. Dados extras

Minério	Origem	Média LCPC	Média AI de Bond	Relação
Minério de ouro	Crusader	183	0,0264	6940
Minério de cobre	Sossego	552	0,1856	2973
Amostra de Furnas	Furnas	460	0,157	2930

Assim, obteve-se o seguinte gráfico:

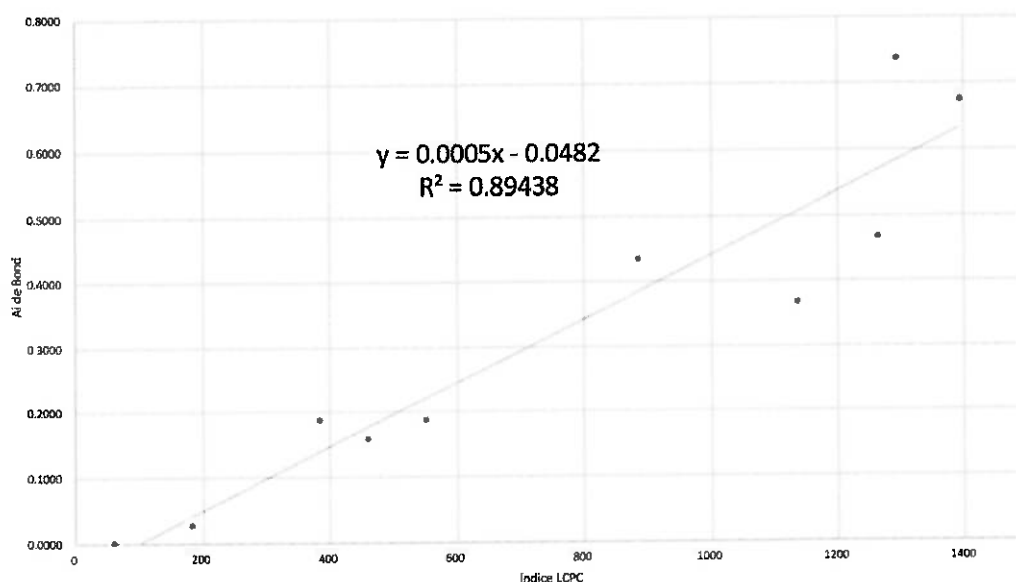


Figura 17. Correlação entre LCPC e AI depois da manipulação e adição de dados extras

Observa-se, então, uma boa relação entre os valores de AI e LCPC, com linha de tendência de equação $LCPC = 0,0005 \times AI - 0,0482$ e R^2 com valor de 0,895. Mais estudos são necessários, porém, obtida tal relação, pode-se dizer que a utilização do método LCPC é sim aplicável para a determinação da abrasividade de minérios.

Comparando os resultados obtidos neste projeto com resultados já existentes, realizados com vários minérios em diversas situações, minas e laboratórios diferentes pela Metso Brasil, obtém-se o gráfico mostrado na Figura 18.

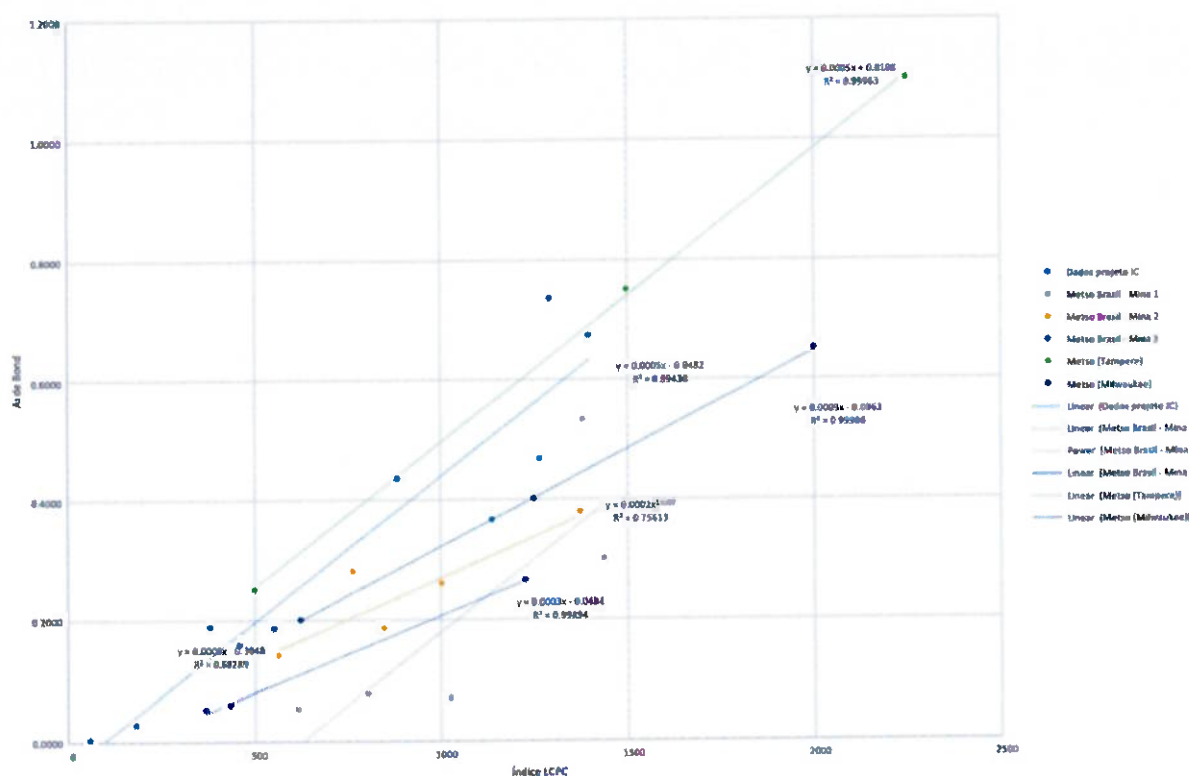


Figura 18. Junção de várias correlações entre AI de Bond e LCPC (Metso, 2008; Freitas, 2014)

Observando o gráfico, nota-se que todos os dados obtidos para os ensaios de AI e LCPC são correlacionáveis, porém com inclinações diferentes dependendo da situação em que os ensaios foram realizados. Mesmo os resultados da Metso, realizados pela mesma empresa, porém em laboratórios diferentes, Tampere e Millwaukee, apresentaram diferentes inclinações e tendências.

Tal fato evidencia, assim, a necessidade de uma calibração antes de se realizarem ensaios de abrasividade em larga escala de um determinado minério, uma vez que se notou que a relação entre AI e LCPC pode variar de acordo com vários aspectos, como o laboratório em que os ensaios foram realizados, as placas utilizadas e o tipo de minério ensaiado.

4.3.3 Análise visual das placas utilizadas

Na Tabela 9 foi possível observar os valores obtidos para abrasividade de cada uma das amostras pelos dois diferentes métodos abordados neste projeto.

Através destes valores é possível, então, ordenar os minérios em estudo de acordo com a abrasividade de cada um.

Tendo como base os valores de abrasividade resultantes do ensaio de Al de Bond, a ordem crescente de abrasividade obtida foi: a brita para jardinagem, como minério menos abrasivo, seguida do calcário, ferro, zinco, diabásio, rocha potássica, ouro e, por fim, a amostra de Furnas, como minério mais abrasivo.

Já a lista de acordo com os valores do LCPC, em ordem crescente de abrasividade, foi: também a brita para jardinagem como menos abrasiva, seguida do calcário, zinco, ferro, amostra de Furnas, diabásio, rocha potássica e, neste caso, o minério de ouro como o mais abrasivo.

Como pode-se perceber, a ordem de abrasividade obtida pelos dois métodos não foi igual, o que mostra que o mecanismo de desgaste das duas placas não é o mesmo e, por isso, o aspecto macroscópico delas também é diferente.

Pelos resultados da caracterização tecnológica esperava-se que a rocha potássica e o minério de ouro apresentassem os maiores valores de abrasividade, por serem compostos, prioritariamente, por quartzo. Já para o calcário e para a brita para jardinagem, eram esperados baixos valores de abrasividade por serem compostos principalmente por carbonatos, material conhecido por ser muito pouco abrasivo. Com algumas poucas alterações, os resultados obtidos seguiram tal tendência, mostrando que o teor de sílica presente no minério tem grande influência sobre o valor obtido para a abrasividade deste.

Tendo a sequência dos valores obtidos para a abrasividade em mente e analisando visualmente as placas utilizadas nos ensaios, foi possível observar nitidamente uma diferença entre os níveis de desgaste que as placas sofreram durante os ensaios. As placas utilizadas nos ensaios de minérios mais abrasivos tiveram suas arestas mais arredondadas e possuíam mais marcas em sua superfície. Já nas placas utilizadas para os ensaios com a brita para jardinagem, por exemplo, quase não se observou marcas de desgaste, uma vez que o material mostrou ser pouquíssimo abrasivo.

Para exemplificar, mostra-se na Figura 19, a sequência, por ordem crescente de abrasividade, das placas utilizadas nos ensaios de Al de Bond e na Figura 20, a sequência das placas utilizadas nos ensaios LCPC.

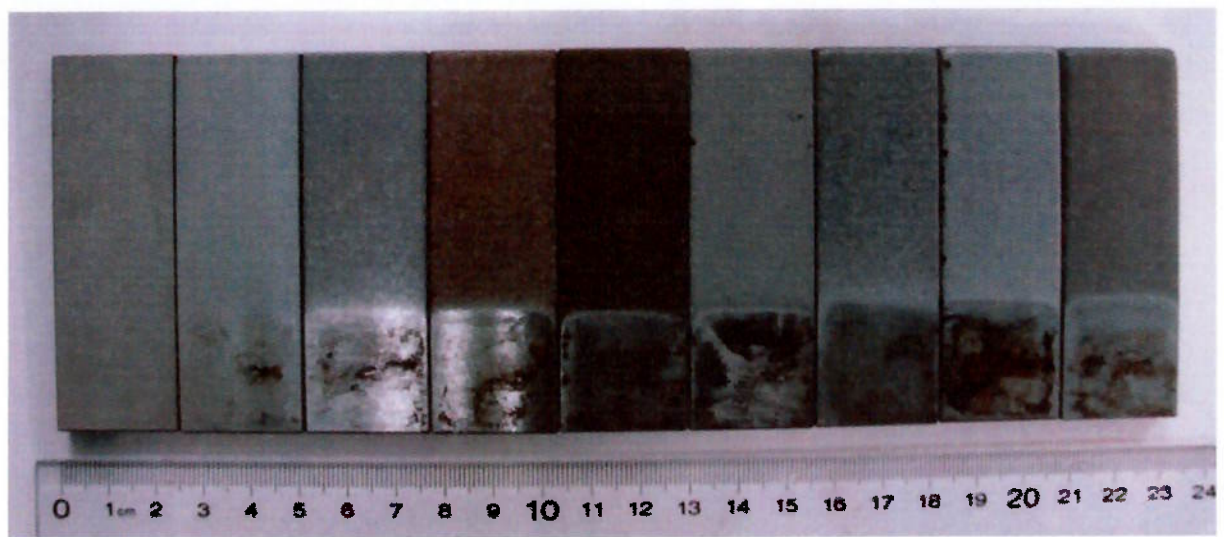


Figura 19. Placa de Al de Bond em ordem crescente de abrasividade: placa nova, brita para jardinagem, calcário, ferro, zinco, diabásio, rocha potássica, ouro e amostra de Furnas

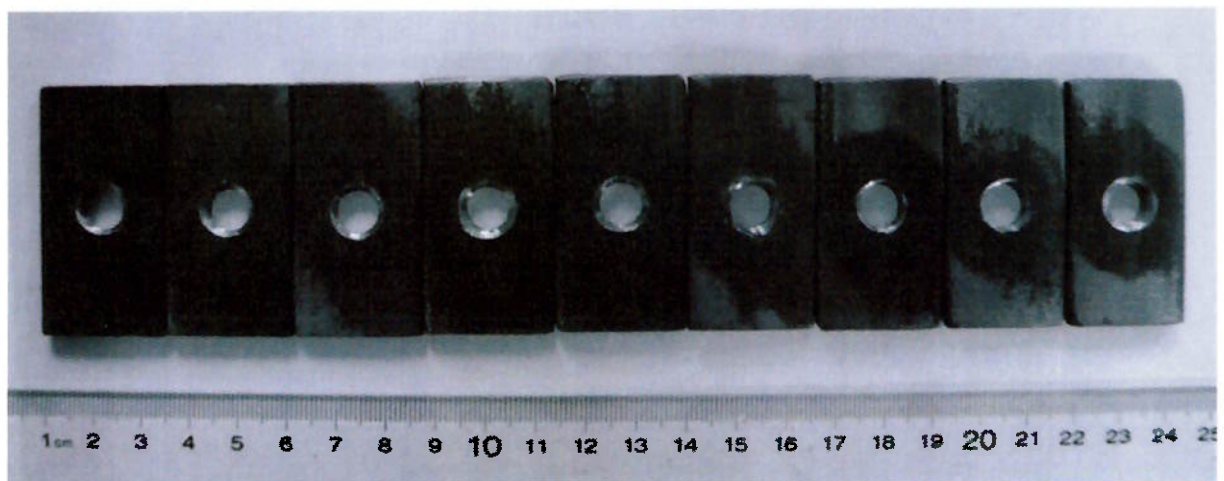


Figura 20. Placas do LCPC em ordem crescente de abrasividade: brita para jardinagem, calcário, zinco, ferro, amostra de Furnas, diabásio, rocha potássica e ouro

No Apêndice C, apresenta-se uma tabela comparativa com considerações e fotos do aspecto visual das placas após a realização dos dois ensaios. O aspecto macroscópico da superfície das placas evidencia que o tipo de desgaste sofrido em ambos os métodos é o desgaste erosivo.

4.3.4 Etapa 3: utilização do método LCPC para avaliar influência da pré-concentração na abrasividade de minérios

Por fim, validado o método LCPC, a terceira etapa teve como objetivo comparar resultados obtidos com este método para alimentação, concentrado e rejeito de minérios que passaram pelo processo de pré-concentração.

Primeiramente para o minério sulfetado de cobre, tipo brecha, vindo da Mineração Caraíba, e seus produtos da pré-concentração por jigagem. Os resultados obtidos e os cálculos acerca da variabilidade dos valores encontrados são mostrados na Tabela 11.

Tabela 11. Resultados dos ensaios LCPC para as amostras de minério sulfetado de cobre

Minério	ID amostra	Ma	Mip	Mfp	Mip - Mfp	Índice LCPC	Média Índice LCPC	Desvio padrão	Variância
Minério sulfetado de cobre	Alimentação	500,56	46,5840	46,0404	0,5436	1086	1059	23,61	557,50
	Alimentação	500,84	45,8733	45,3494	0,5239	1046			
	Alimentação	500,96	46,3836	45,8605	0,5231	1044			
	Concentrado	500,53	46,1092	45,6763	0,4329	865	782	76,01	5777,50
	Concentrado	500,36	46,2896	45,9436	0,3460	692			
	Concentrado	500,08	46,5080	46,0986	0,4094	819			
	Concentrado	500,85	46,5256	46,1492	0,3764	752			
	Rejeito	500,68	46,5926	46,0296	0,5630	1124	1105	17,04	290,29
	Rejeito	500,94	46,1275	45,5766	0,5509	1100			
	Rejeito	500,18	46,9054	46,3593	0,5461	1092			

Utilizando as médias de cada um dos fluxos (alimentação, concentrado e rejeito), tem-se o gráfico mostrado na Figura 21.

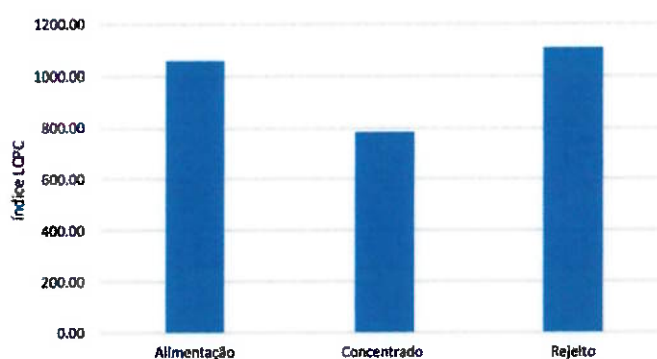


Figura 21. Comparação dos resultados LCPC para o minério sulfetado de cobre

A partir dos resultados mostrados na Figura 21, pode-se concluir que, neste caso, em termos de processamento mineral, seria muito vantajoso realizar a pré-concentração do ROM antes de alimentá-lo na planta de beneficiamento. Isto porque, como observado no gráfico, o produto concentrado apresentou uma abrasividade menor que a alimentação, o que resultaria em menor desgaste dos equipamentos de britagem e moagem e, conseqüentemente, menores custos na etapa de beneficiamento.

Estudos preliminares realizados por BERGERMAN *et al.* (2013) na mesma amostra de minério de cobre indicam uma pequena redução do WI no produto da pré-concentração. Quanto ao AI, assim como no caso do WI, um valor menor é esperado no produto concentrado, relacionado à menor quantidade de minerais de ganga, como o quartzo, normalmente presente em minérios sulfetados de cobre e níquel e em minérios de ferro. Porém, UEHARA (2016) mostrou um resultado diferente do esperado. Segundo estudos realizados, notou-se que, devido à segregação que ocorre no processo de jigagem, a ganga apresentou maiores quantidades de quartzo, porém com menor abrasividade que o concentrado, com mais sulfetos. Tais resultados apontam que mais estudos devem ser realizados na área a fim de entender o comportamento de minérios como este com a pré-concentração.

O segundo minério avaliado neste projeto foi o minério silicatado de zinco, vindo da Usicon W. Os resultados obtidos e os cálculos acerca da variabilidade dos valores encontrados são mostrados na Tabela 12.

Tabela 12. Resultados dos ensaios LCPC para as amostras de minério silicatado de zinco

Minério	ID amostra	Ma	Mip	Mfp	Mip - Mfp	Índice LCPC	Média Índice LCPC	Desvio padrão	Variação
Minério silicatado de zinco	Alimentação	500,64	46,3003	45,9804	0,3199	639	632	9,65	93,09
	Alimentação	500,21	46,5361	46,2233	0,3128	625			
	Concentrado	500,57	46,4857	46,2175	0,2682	536	585	79,90	6384,30
	Concentrado	500,48	46,2633	45,9242	0,3391	678			
	Concentrado	500,38	46,6304	46,3588	0,2716	543			
	Rejeito	500,59	46,5929	46,3735	0,2194	438	450	16,21	262,76
	Rejeito	500,91	46,3646	46,1494	0,2152	430			
	Rejeito	500,61	46,2180	45,9829	0,2351	470			
	Rejeito	500,67	45,9780	45,7478	0,2302	460			
	Rejeito	500,63	46,1481	45,9207	0,2274	454			

Da mesma forma realizada para o minério sulfetado de cobre, utilizando as médias de cada um dos fluxos (alimentação, concentrado e rejeito), temos o gráfico mostrado na Figura 22 para o minério silicatado de zinco.

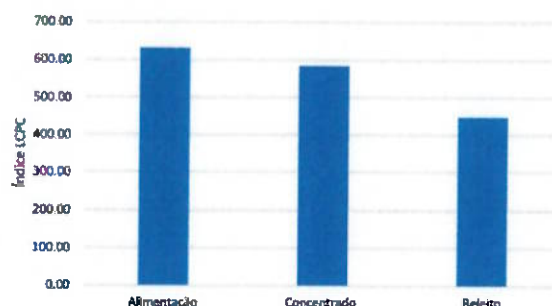


Figura 22. Comparação dos resultados LCPC para o minério silicatado de zinco.

Neste caso, o processo de concentração por jigagem gerou materiais menos abrasivos do que a alimentação tanto no concentrado quanto no rejeito, resultado de certa forma inesperado, já que o correto seria haver um balanço entre a abrasividade dos três materiais.

Por outro lado, a menor abrasividade do rejeito pode ser explicada pela sua composição mineralógica, já que este material é composto basicamente por carbonatos, que são muito pouco abrasivos.

4.3.5 Análise visual das placas utilizadas

Na terceira etapa também foi possível analisar visualmente a diferença de desgaste gerado nas placas por cada um dos materiais ensaiados.

No caso do minério sulfetado de cobre, na Figura 23 é possível notar nitidamente que a placa central, correspondente ao material pré-concentrado, está bem menos desgastada que as duas demais. Além disso, percebe-se que o desgaste maior ocorreu na terceira placa, que representa o material de rejeito, o mais abrasivo de acordo com os resultados numéricos obtidos.



Figura 23. Placas utilizadas nos ensaios LCPC das amostras de minério sulfetado de cobre (da esquerda para a direita, alimentação, concentrado e rejeito)

Já no caso do zinco, na Figura 23, as placas estão dispostas em ordem decrescente de abrasividade.

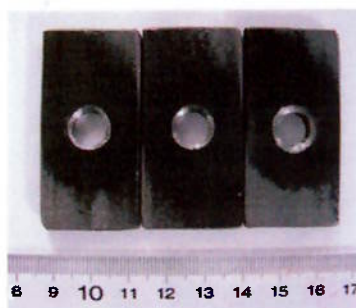


Figura 24. Placas utilizadas nos ensaios LCPC das amostras de minério silicatado de zinco (da esquerda para a direita, alimentação, concentrado e rejeito)

5 CONCLUSÕES

Este projeto envolveu uma gama de atividades, as quais proporcionaram um grande aprendizado à autora. Desde a preparação, adequação de granulometria e caracterização das amostras, até a realização dos ensaios de Bond e LCPC e organização, análise e discussão dos resultados, tal projeto envolveu muita pesquisa e discussões técnicas para chegar aos resultados apresentados.

Considerando a configuração dos equipamentos, ou seja, uma placa em rotação em um sentido e o minério no outro, observa-se que, apesar de Bond chamar o valor medido por seu ensaio de Índice de Abrasividade (Abrasion Index), o desgaste das placas ocorre por erosão e não por abrasão como o nome sugere. Esse mecanismo de desgaste foi evidenciado pela observação das placas após a realização dos ensaios.

Na primeira etapa, apesar de não ter sido possível estabelecer uma relação direta entre a abrasividade de diferentes granulometrias ensaiadas pelo método de Bond, notou-se que a granulometria tem grande influência nos resultados obtidos para a abrasividade. No projeto em questão, observou-se que quanto menor a granulometria, menor é o impacto do material na placa de aço utilizada no teste e, portanto, menor é o valor obtido para a abrasividade do material (AI de Bond). Tal resultado nos faz concluir que valores obtidos com a realização de ensaios com materiais de granulometrias fora do padrão estabelecido não representarão o índice de abrasividade real da amostra, ou seja, não será um AI válido.

Já na segunda etapa, comparado os valores de AI e LCPC para diversas amostras, observou-se uma boa correlação entre eles, sendo que a maioria seguiu a relação apresentada na literatura, em que o índice LCPC é dado por 2000 vezes o índice de Bond (AI). Tal fato fornece os primeiros indícios no sentido de comprovar a aplicabilidade do método LCPC para se determinar a abrasividade de minérios.

Por fim, com a terceira etapa, verificou-se que, dependendo da composição mineralógica do minério, a pré-concentração realmente traz benefícios ao processo de beneficiamento industrial, uma vez que reduz a abrasividade do material que entra na usina. Notou-se, porém, que há que se tomar cuidado nos casos em que a ganga é composta majoritariamente por minerais pouco abrasivos, como foi o caso

do minério silicatado de zinco estudado neste projeto. Neste caso, o processo da jigagem gerou uma concentração significativa de carbonatos no rejeito, o que resultou em um valor menor para a abrasividade deste produto, enquanto o concentrado, por sua vez, foi composto, basicamente, por materiais mais abrasivos, aumentando assim o valor de abrasividade deste material.

Quando isto ocorre, é preciso ter ciência de que o processo de pré-concentração, apesar de já reduzir a massa que vai entrar na usina, também resultará no processamento de um material mais abrasivo do que o original, o que causaria um maior desgaste nos componentes por tonelada de minério processada. Entretanto, como a massa a ser alimentada seria significativamente menor, já que uma grande parcela da ganga foi descartada no processo de pré-concentração, o desgaste total dos equipamentos seria menor quando comparado a uma situação em que a pré-concentração não fosse realizada. Assim, mostra-se, mais uma vez, os benefícios da realização da etapa de pré-concentração.

REFERÊNCIAS

- ABNT - NBR NM 51, 2001. **Agregado graúdo - Ensaio de abrasão “Los Angeles”.**
- ASTM - American Society for Testing and Materials. 2012. **Standard test method for laboratory determination of abrasiveness of rock using the CERCHAR method.** Designation D7625-10, 6 p.
- BERGERMAN, M. G.; NETO, D. ; TOMASELLI, B. Y. ; MACIEL, B. F. ; ROVERI, C. ; NAVARRO, F. C. . **Redução do consumo de energia de circuitos de moagem com a utilização de pré-concentração de minerais sulfetados.** In: XXV Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa & VIII Meeting of the Southern Hemisphere on Mineral Technology, 2013, Goiânia. Anais. Pires do Rio: Gráfica e Editora Pires do Rio Ltda-ME, 2013. v. 2. p. 499-506.
- BERGSTROM, B.H. Abrasiveness. In: WEISS, N.L. **SME mineral processing handbook.** New York: SME, 1985. v.2, p. 30-68/30-70.
- CARDOSO, A. S. M., **Caracterização mecânica e microestrutural dos aços SAE 4340 e 300M após soldagem a laser e tratamento superficial de nitretação a plasma.** 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo, Lorena/SP, 2011.
- FREITAS, L. S. **Avaliação dos minérios itabiritos compactos e semi-compactos em um circuito de britagem da Samarco Mineração S/A.** 2014. Tese (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Belo Horizonte/MG.
- GOLOVANEVSKIY, V. A.; BEARMAN, R. A. **Gouging abrasion test for rock abrasiveness testing.** International Journal of Mineral Processing, v. 85, n. 4, p. 111–120, 2008.
- KÄSLING, H.; THURO, K. **Determining rock abrasivity in the laboratory.** Proceedings of the European Rock Mechanics Symposium (EUROCK 2010), n. Figure 1, p. 1–4, 2010.
- MASSOLA, C.P. **Abrasão-corrosão em corpos moedores na moagem de minério de ferro.** 2015. 106 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo/SP.

METSO MINERALS. **Crushing and Screening Handbook**. Third edition, 2008.

Norme Française P18-579, 2013. **Granulats - Détermination des coefficients d'abrasivité et de broyabilité.**

PERES, L. M., **Influência da pré-concentração no índice de abrasividade de minérios de baixo teor**. Relatório final de Iniciação Tecnológica, Edital 08/2016, Fundação de Apoio ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2017.

SIEGEL, M.; CALEGARI, M.L. **Norma DIN 50320: análise sistemática dos processos de desgaste**. Classificação dos fenômenos de desgaste. Metalurgia & Materiais, São Paulo, v. 53, p. 619-622, out.1997.

SOUZA, R. C., **Estudo do comportamento em fadiga do aço ABNT 4340 revestido com carbetto de tungstênio pelo sistema HVOF/HP**. 1998, 158f. Dissertação (Mestrado em engenharia mecânica) - Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, FEG/UNESP, Guaratinguetá, 1998.

STACHOWIAK, G. W.; BATCHELOR, A. W. **Engineering Tribology**. Oxford, UK, Fourth Edition, Elsevier Inc., 2014, cap. 111, p. 525-571.

UEHARA, B. H., **Avaliação do desgaste em circuitos de moagem alimentados com produtos de pré-concentração de minérios de baixo teor**. Trabalho de pesquisa apresentado ao Programa Unificado de Bolsas de Estudo para Estudantes de Graduação. Escola Politécnica da USP, São Paulo/SP, 2016.

ZUM GAHR, K.-H. **Microstructure and wear of materials**. New York: Elsevier, 1987. 560 p. (Tribology series, 10).

APÊNDICES

APÊNDICE A

**IMAGENS DE FRAGMENTOS DAS AMOSTRAS
UTILIZADAS NOS ENSAIOS DE ABRASIVIDADE**



Amostra 1 (calcário) de 6,3 mm a 4 mm (esquerda) e $\frac{3}{4}$ " a $\frac{1}{2}$ " (direita)



Amostra 2 (zinco) de 6,3 mm a 4 mm (esquerda) e $\frac{3}{4}$ " a $\frac{1}{2}$ " (direita)



Amostra 3 (brita para jardinagem) de 6,3 mm a 4 mm (esquerda) e $\frac{3}{4}$ " a $\frac{1}{2}$ " (direita)



Amostra 4 (minério de ouro) de 6,3 mm a 4 mm (esquerda) e $\frac{3}{4}$ " a $\frac{1}{2}$ " (direita)



Amostra 5 (minério de ferro) de 6,3 mm a 4 mm (esquerda) e $\frac{3}{4}$ " a $\frac{1}{2}$ " (direita)



Amostra 6 (diabásio) de 6,3 mm a 4 mm (esquerda) e $\frac{3}{4}$ " a $\frac{1}{2}$ " (direita)



Amostra 9 (minério silicatado de zinco) de 6,3 mm a 4 mm. Da esquerda para direita, alimentação, concentrado e rejeito



Amostra 10 (minério sulfetado de cobre) de 6,3 mm a 4 mm. Da esquerda para direita, alimentação, concentrado e rejeito

Observação: Em relação às amostras de Furnas e rocha potássica, não foi possível tirar foto dos materiais antes da realização dos ensaios. Dada a restrição da quantidade de material disponível, todo o material nas granulometrias entre $\frac{3}{4}$ " e $\frac{1}{2}$ " e entre 6,3 e 4 mm foi utilizado nos ensaios, não sendo possível tirar fotos depois dos ensaios já terem sido realizados.

APÊNDICE B

LAUDOS DOS ENSAIOS DE ABRASIVIDADE
(COM ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS)



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

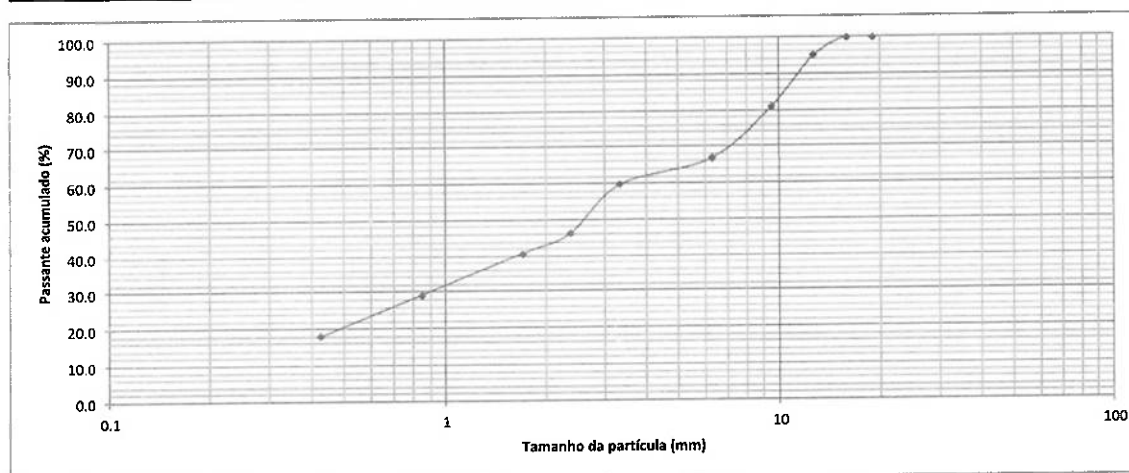


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Larissa Peres/ Jefferson (técnico LTM)
Local e Data:	USP/LTM - 24/07/2017
Projeto:	Trabalho de Formatura - Larissa Peres
Amostra:	Calcário - Mina de Ponte Alta/Votorantim (-3/4"+1/2")
Peso inicial (g):	93,7363
Peso final (g):	93,7088
AI:	0,03
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19	0,0	0,0	100,0	0,0
5/8"	16	0,0	0,0	100,0	0,0
1/2"	12,7	82,1	5,2	94,8	5,2
3/8"	9,5	217,6	13,9	80,9	19,1
1/4"	6,35	219,7	14,0	66,9	33,1
6	3,35	112,0	7,1	59,8	40,2
8	2,36	215,2	13,7	46,1	53,9
12	1,7	85,0	5,4	40,7	59,3
20	0,85	179,1	11,4	29,3	70,7
40	0,425	177,4	11,3	18,0	82,0
		282,1	18,0	0,0	100,0
Total		1570,2	100,0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

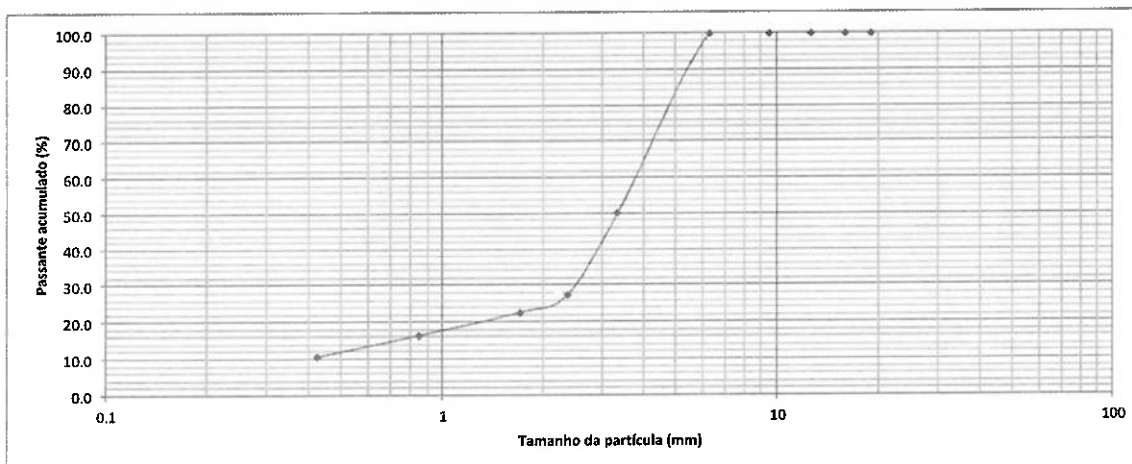


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Larissa Peres/ Jefferson (técnico LTM)
Local e Data:	USP/LTM - 24/07/2017
Projeto:	Trabalho de Formatura - Larissa Peres
Amostra:	Calcário - Mina de Ponte Alta/Votorantim (-8 + 6,3 mm)
Peso inicial (g):	97,1575
Peso final (g):	97,1527
AI:	0,0048
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19	0	0,0	100,0	0,0
5/8"	16	0	0,0	100,0	0,0
1/2"	12,7	0	0,0	100,0	0,0
3/8"	9,5	0	0,0	100,0	0,0
1/4"	6,35	0	0,0	100,0	0,0
6	3,35	789,1	49,9	50,1	49,9
8	2,36	361,1	22,8	27,2	72,8
12	1,7	74,4	4,7	22,5	77,5
20	0,85	97,2	6,1	16,4	83,6
40	0,425	91,4	5,8	10,6	89,4
		167,7	10,6	0,0	100,0
Total		1580,9	100,0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

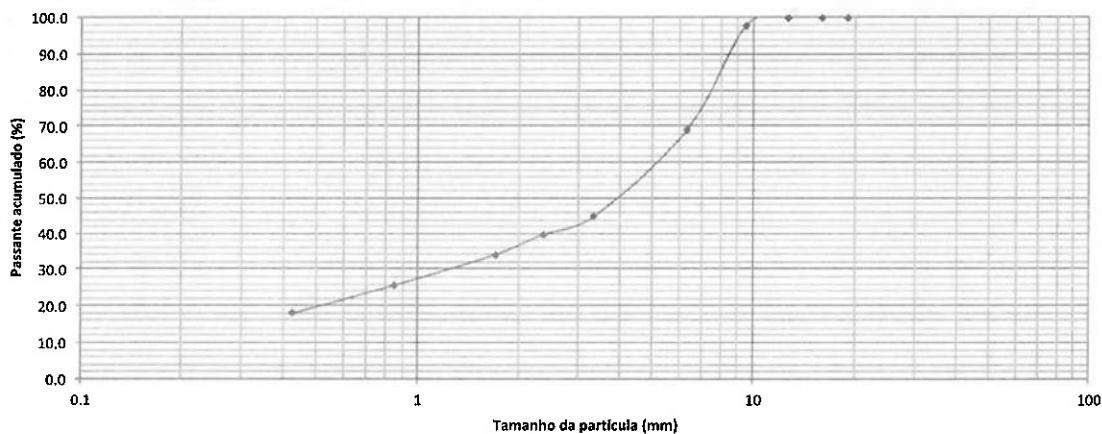


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Larissa Peres/ Jefferson (técnico LTM)
Local e Data:	USP/LTM - 24/07/2017
Projeto:	Trabalho de Formatura - Larissa Peres
Amostra:	Calcário - Mina de Ponte Alta/Votorantim (-1/2" + 8 mm)
Peso inicial (g):	96,7487
Peso final (g):	96,7453
AI:	0,0034
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19	0,0	0,0	100,0	0,0
5/8"	16	0,0	0,0	100,0	0,0
1/2"	12,7	0,0	0,0	100,0	0,0
3/8"	9,5	37,5	2,3	97,7	2,3
1/4"	6,35	466,5	28,7	69,0	31,0
6	3,35	393,9	24,2	44,8	55,2
8	2,36	85,1	5,2	39,6	60,4
12	1,7	91,4	5,6	34,0	66,0
20	0,85	137,1	8,4	25,6	74,4
40	0,425	124,0	7,6	17,9	82,1
		292,1	17,9	0,0	100,0
Total		1627,6	100,0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

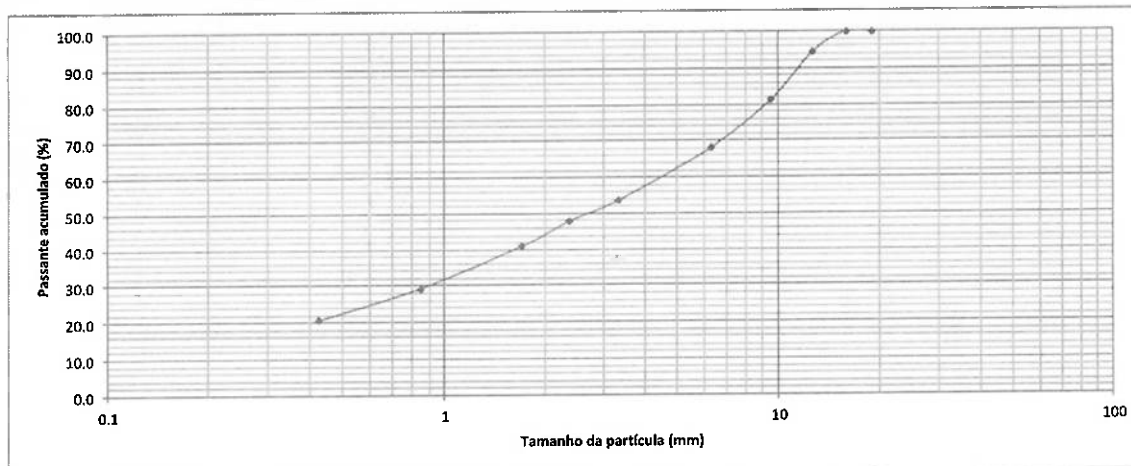


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Larissa Peres/ Jefferson (técnico LTM)
Local e Data:	USP/LTM - 24/07/2017
Projeto:	Trabalho de Formatura - Larissa Peres
Amostra:	Calcário - Mina de Ponte Alta/Votorantim (50% -3/4" + 16 mm, 50% -16 mm + 1/2")
Peso inicial (g):	96,3996
Peso final (g):	96,3855
AI:	0,01
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19	0,0	0,0	100,0	0,0
5/8"	16	0,0	0,0	100,0	0,0
1/2"	12,7	89,3	5,5	94,5	5,5
3/8"	9,5	216,9	13,4	81,1	18,9
1/4"	6,35	209,7	12,9	68,2	31,8
6	3,35	234,3	14,4	53,8	46,2
8	2,36	96,6	6,0	47,8	52,2
12	1,7	113,5	7,0	40,8	59,2
20	0,85	187,4	11,5	29,3	70,7
40	0,425	139,8	8,6	20,7	79,3
		335,2	20,7	0,0	100,0
Total		1622,7	100,0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

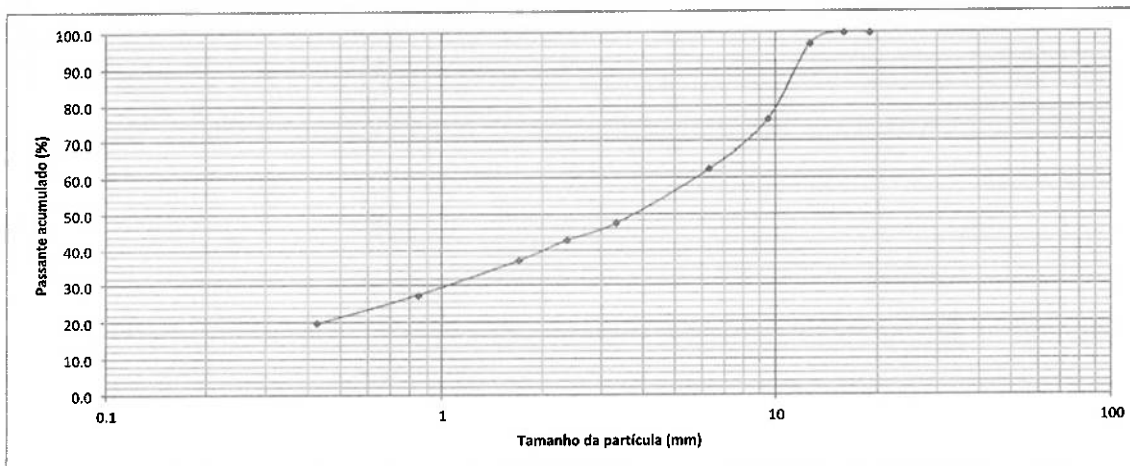


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Larissa Peres/ Jefferson (técnico LTM)
Local e Data:	USP/LTM - 24/07/2017
Projeto:	Trabalho de Formatura - Larissa Peres
Amostra:	Minério de Zinco - Mina de Vazante/Votorantim (-3/4" + 1/2")
Peso inicial (g):	96,8625
Peso final (g):	96,6769
AI:	0,19
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19	0	0,0	100,0	0,0
5/8"	16	0	0,0	100,0	0,0
1/2"	12,7	50,5	3,2	96,8	3,2
3/8"	9,5	329	20,8	76,0	24,0
1/4"	6,35	215,3	13,6	62,4	37,6
6	3,35	235,5	14,9	47,5	52,5
8	2,36	77,4	4,9	42,6	57,4
12	1,7	90,2	5,7	36,9	63,1
20	0,85	148,5	9,4	27,5	72,5
40	0,425	123,2	7,8	19,7	80,3
		312,4	19,7	0,0	100,0
Total		1582,0	100,0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

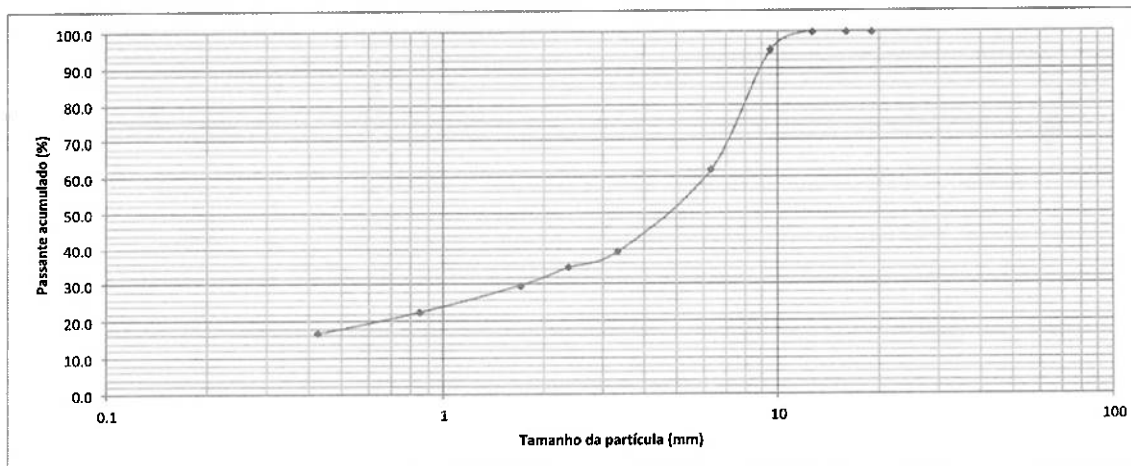


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Larissa Peres/ Jefferson (técnico LTM)
Local e Data:	USP/LTM - 24/07/2017
Projeto:	Trabalho de Formatura - Larissa Peres
Amostra:	Minério de Zinco - Mina de Vazante/Votorantim (-1/2" + 8 mm)
Peso inicial (g):	96,5941
Peso final (g):	96,4722
AI:	0,12
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19	0	0,0	100,0	0,0
5/8"	16	0	0,0	100,0	0,0
1/2"	12,7	0	0,0	100,0	0,0
3/8"	9,5	84,2	5,2	94,8	5,2
1/4"	6,35	528,1	32,9	61,9	38,1
6	3,35	365,2	22,7	39,2	60,8
8	2,36	74	4,6	34,6	65,4
12	1,7	78,1	4,9	29,7	70,3
20	0,85	116,8	7,3	22,5	77,5
40	0,425	93,4	5,8	16,6	83,4
		267,5	16,6	0,0	100,0
Total		1607,3	100,0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

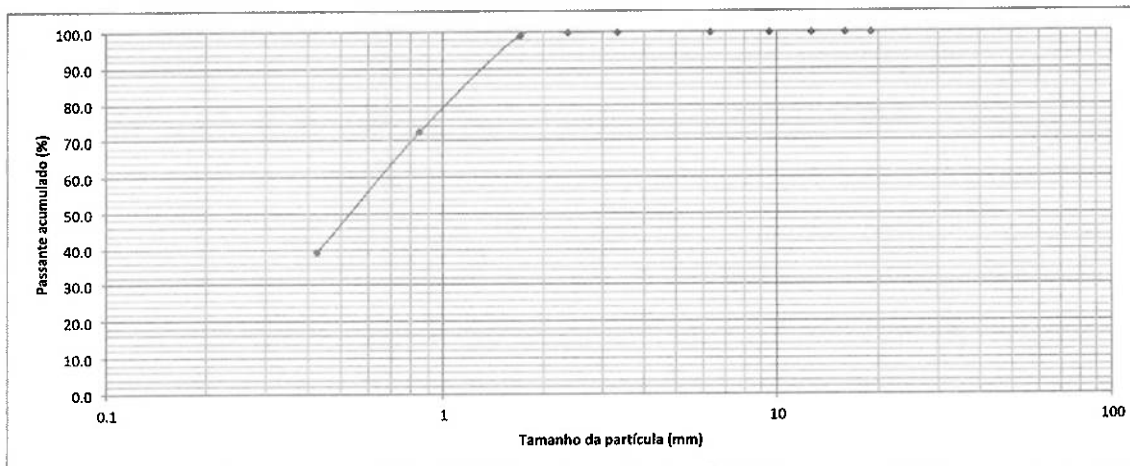


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Larissa Peres/ Jefferson (técnico LTM)
Local e Data:	USP/LTM - 25/07/2017
Projeto:	Trabalho de Formatura - Larissa Peres
Amostra:	Brita pra Jardinagem - Pro Garden (-3/4" + 1/2")
Peso inicial (g):	96,8591
Peso final (g):	96,8578
AI:	0,0013
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19	0	0,0	100,0	0,0
5/8"	16	0	0,0	100,0	0,0
1/2"	12,7	0	0,0	100,0	0,0
3/8"	9,5	0	0,0	100,0	0,0
1/4"	6,35	0	0,0	100,0	0,0
6	3,35	1,3	0,1	99,9	0,1
8	2,36	2,7	0,2	99,7	0,3
12	1,7	13,6	0,9	98,9	1,1
20	0,85	420,5	26,5	72,4	27,6
40	0,425	523,6	33,0	39,3	60,7
		623,1	39,3	0,0	100,0
Total		1584,8	100,0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

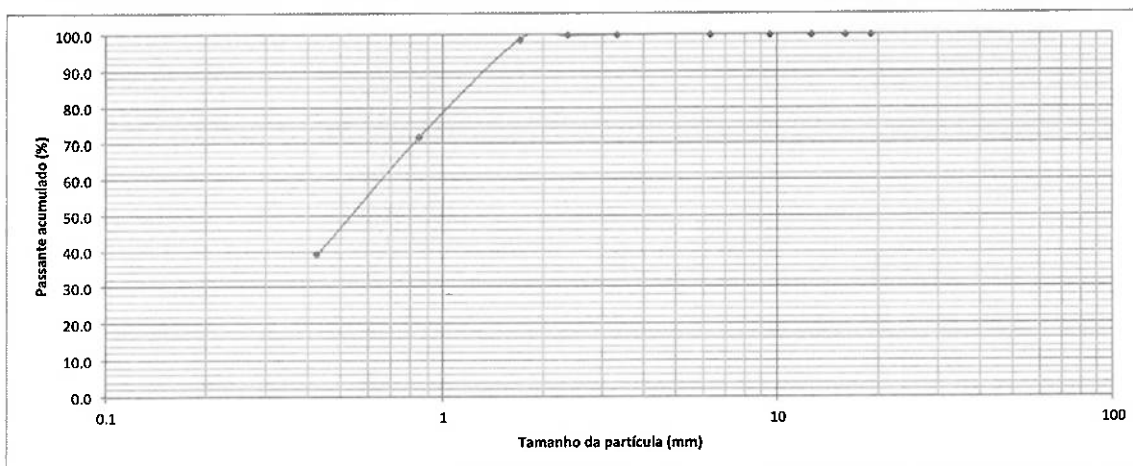


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Larissa Peres/ Jefferson (técnico LTM)
Local e Data:	USP/LTM - 25/07/2017
Projeto:	Trabalho de Formatura - Larissa Peres
Amostra:	Brita pra Jardinagem - Pro Garden (-1/2" + 8 mm)
Peso inicial (g):	96,1853
Peso final (g):	96,1759
AI:	0,0094
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19	0,0	0,0	100,0	0,0
5/8"	16	0,0	0,0	100,0	0,0
1/2"	12,7	0,0	0,0	100,0	0,0
3/8"	9,5	0,0	0,0	100,0	0,0
1/4"	6,35	0,0	0,0	100,0	0,0
6	3,35	3,1	0,2	99,8	0,2
8	2,36	3,0	0,2	99,6	0,4
12	1,7	15,1	1,0	98,7	1,3
20	0,85	426,2	27,0	71,6	28,4
40	0,425	515,0	32,6	39,0	61,0
		615,5	39,0	0,0	100,0
Total		1577,9	100,0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

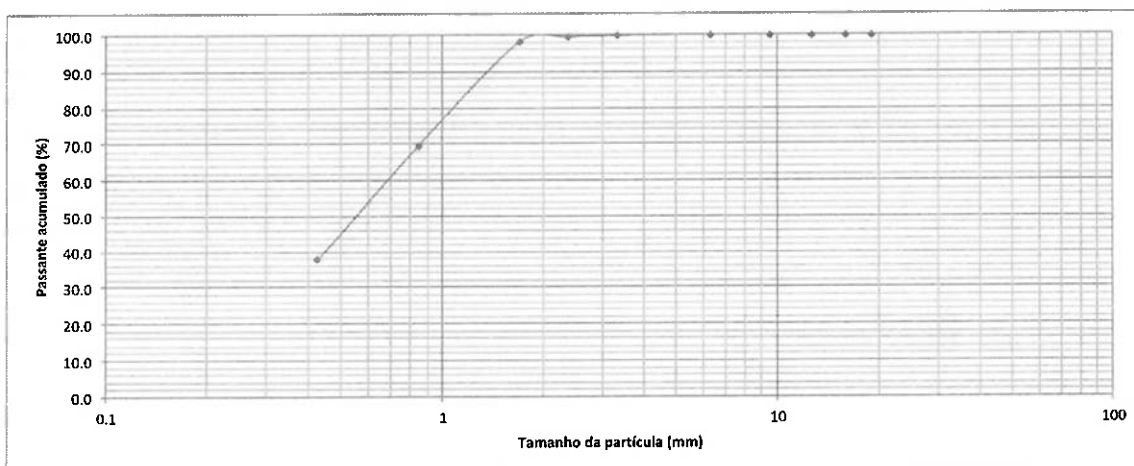


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Larissa Peres/ Jefferson (técnico LTM)
Local e Data:	USP/LTM - 25/07/2017
Projeto:	Trabalho de Formatura - Larissa Peres
Amostra:	Brita pra Jardinagem - Pro Garden (-8 + 6,3 mm)
Peso inicial (g):	96,9146
Peso final (g):	96,9137
AI:	0,0009
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19	0,0	0,0	100,0	0,0
5/8"	16	0,0	0,0	100,0	0,0
1/2"	12,7	0,0	0,0	100,0	0,0
3/8"	9,5	0,0	0,0	100,0	0,0
1/4"	6,35	0,0	0,0	100,0	0,0
6	3,35	4,1	0,3	99,7	0,3
8	2,36	6,3	0,4	99,3	0,7
12	1,7	21,4	1,3	98,0	2,0
20	0,85	449,6	28,3	69,7	30,3
40	0,425	507,8	32,0	37,7	62,3
		598,2	37,7	0,0	100,0
Total		1587,4	100,0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

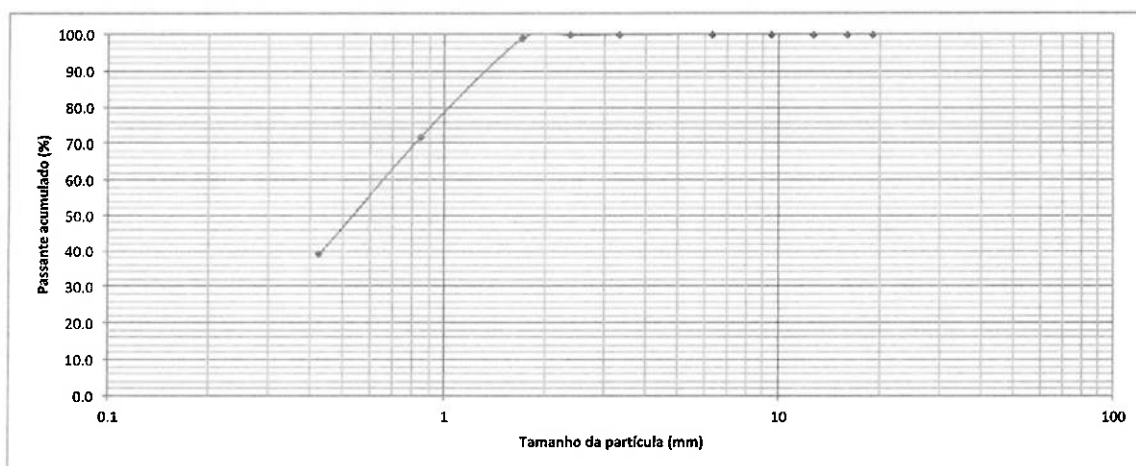


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Larissa Peres/ Jefferson (técnico LTM)
Local e Data:	USP/LTM - 25/07/2017
Projeto:	Trabalho de Formatura - Larissa Peres
Amostra:	Brita pra Jardinagem - Pro Garden (50% -3/4" + 16 mm, 50% -16 mm + 1/2")
Peso inicial (g):	96,5704
Peso final (g):	96,5681
AI:	0,0023
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19	0,0	0,0	100,0	0,0
5/8"	16	0,0	0,0	100,0	0,0
1/2"	12,7	0,0	0,0	100,0	0,0
3/8"	9,5	0,0	0,0	100,0	0,0
1/4"	6,35	1,3	0,1	99,9	0,1
6	3,35	1,8	0,1	99,8	0,2
8	2,36	2,7	0,2	99,6	0,4
12	1,7	15,2	1,0	98,7	1,3
20	0,85	431,6	27,0	71,7	28,3
40	0,425	522,0	32,7	39,0	61,0
		623,0	39,0	0,0	100,0
Total		1597,6	100,0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

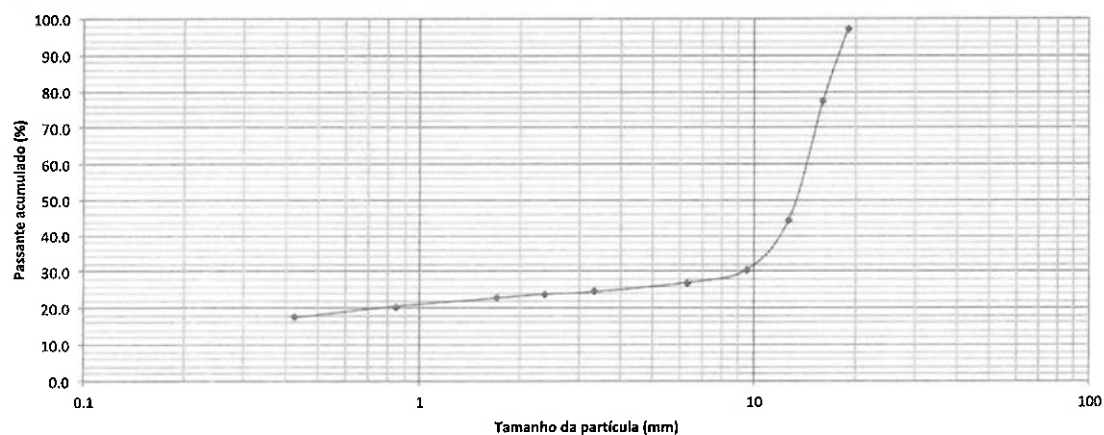


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Larissa Peres/ Jefferson (técnico LTM)
Local e Data:	USP/LTM - 26/07/2017
Projeto:	Trabalho de Formatura - Larissa Peres
Amostra:	Diabásio - Pedreira Santo Antônio/Grupo Quaglio (-3/4" + 1/2")
Peso inicial (g):	96,3373
Peso final (g):	95,9782
AI:	0,36
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19	42,7	2,7	97,3	2,7
5/8"	16	317,6	19,9	77,4	22,6
1/2"	12,7	525,4	32,9	44,5	55,5
3/8"	9,5	223,0	14,0	30,5	69,5
1/4"	6,35	55,7	3,5	27,0	73,0
6	3,35	40,0	2,5	24,5	75,5
8	2,36	12,0	0,8	23,8	76,2
12	1,7	15,7	1,0	22,8	77,2
20	0,85	36,1	2,3	20,5	79,5
40	0,425	49,0	3,1	17,5	82,5
		278,5	17,5	0,0	100,0
Total		1595,7	100,0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

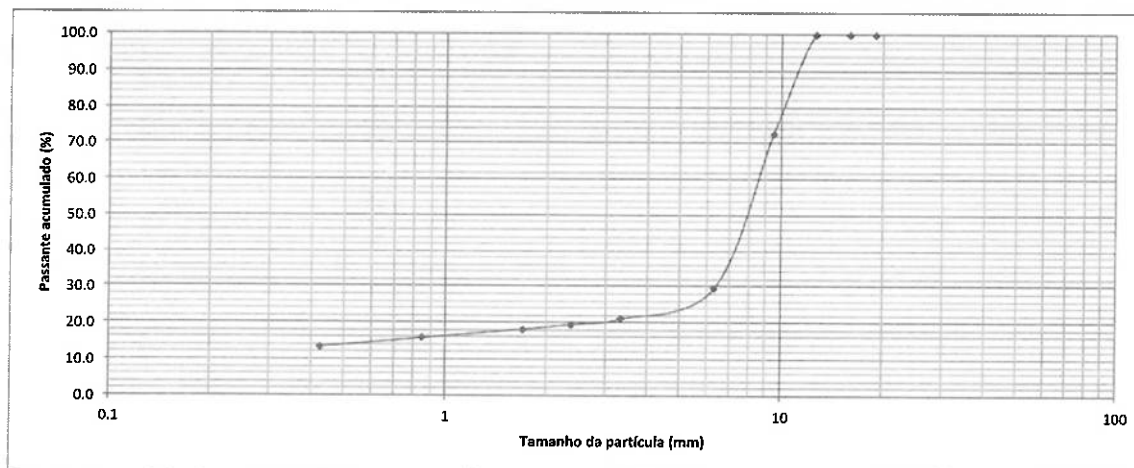


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Larissa Peres/ Jefferson (técnico LTM)
Local e Data:	USP/LTM - 26/07/2017
Projeto:	Trabalho de Formatura - Larissa Peres
Amostra:	Diabásio - Pedreira Santo Antônio/Grupo Quaglio (-1/2" + 8 mm)
Peso inicial (g):	96,3640
Peso final (g):	96,1485
AI:	0,22
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19	0,0	0,0	100,0	0,0
5/8"	16	0,0	0,0	100,0	0,0
1/2"	12,7	0,0	0,0	100,0	0,0
3/8"	9,5	431,1	27,3	72,7	27,3
1/4"	6,35	680,4	43,1	29,6	70,4
6	3,35	135,6	8,6	21,0	79,0
8	2,36	23,7	1,5	19,5	80,5
12	1,7	20,5	1,3	18,2	81,8
20	0,85	38,7	2,5	15,7	84,3
40	0,425	39,9	2,5	13,2	86,8
		208,6	13,2	0,0	100,0
Total		1578,5	100,0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

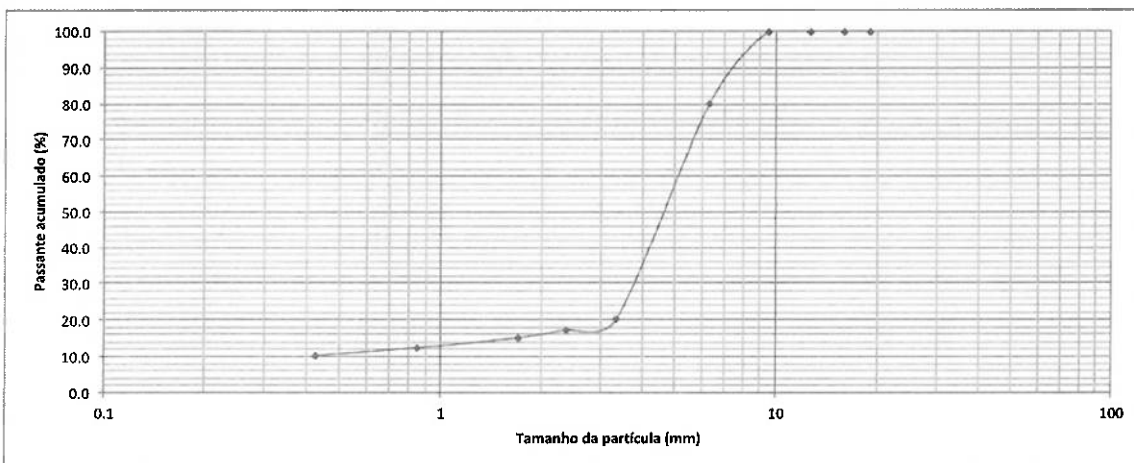


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Larissa Peres/ Jefferson (técnico LTM)
Local e Data:	USF/LTM - 26/07/2017
Projeto:	Trabalho de Formatura - Larissa Peres
Amostra:	Diabásio - Pedreira Santo Antônio/Grupo Quaglio (-8 + 6,3 mm)
Peso inicial (g):	95,8706
Peso final (g):	95,7397
AI:	0,13
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19	0,0	0,0	100,0	0,0
5/8"	16	0,0	0,0	100,0	0,0
1/2"	12,7	0,0	0,0	100,0	0,0
3/8"	9,5	2,3	0,1	99,9	0,1
1/4"	6,35	316,3	19,7	80,1	19,9
6	3,35	961,3	59,9	20,2	79,8
8	2,36	48,0	3,0	17,2	82,8
12	1,7	34,5	2,2	15,1	84,9
20	0,85	41,8	2,6	12,5	87,5
40	0,425	35,6	2,2	10,3	89,7
		164,5	10,3	0,0	100,0
Total		1604,3	100,0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

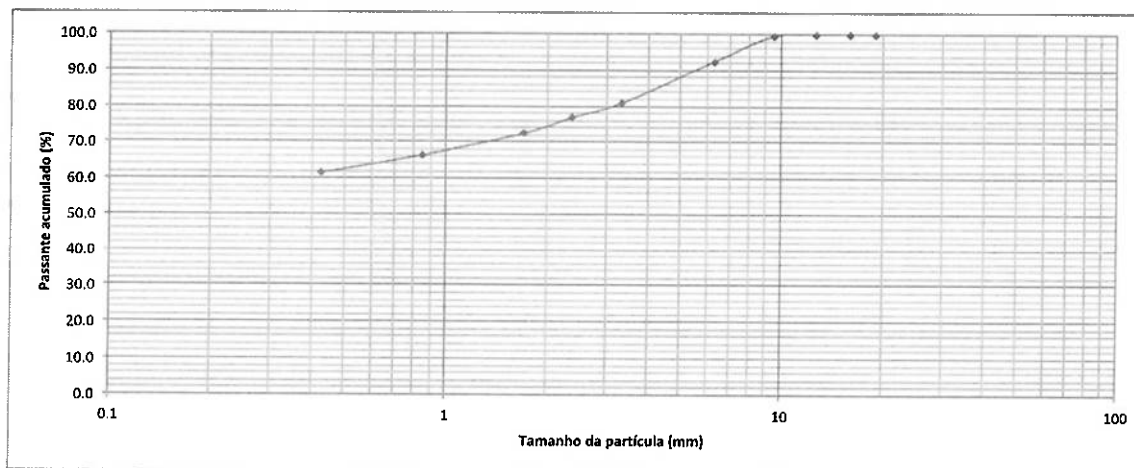


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Larissa Peres/ Jefferson (técnico LTM)
Local e Data:	USP/LTM - 27/07/2017
Projeto:	Trabalho de Formatura - Larissa Peres
Amostra:	Minério de Ferro - Biogold (-1/2" + 8 mm)
Peso inicial (g):	96,4904
Peso final (g):	96,3175
AI:	0,17
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19	0	0,0	100,0	0,0
5/8"	16	0	0,0	100,0	0,0
1/2"	12,7	0	0,0	100,0	0,0
3/8"	9,5	9,8	0,6	99,4	0,6
1/4"	6,35	110,3	6,9	92,5	7,5
6	3,35	185,1	11,5	81,0	19,0
8	2,36	67,1	4,2	76,8	23,2
12	1,7	71,2	4,4	72,3	27,7
20	0,85	96,3	6,0	66,3	33,7
40	0,425	78,3	4,9	61,5	38,5
		985,5	61,5	0,0	100,0
Total		1603,6	100,0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

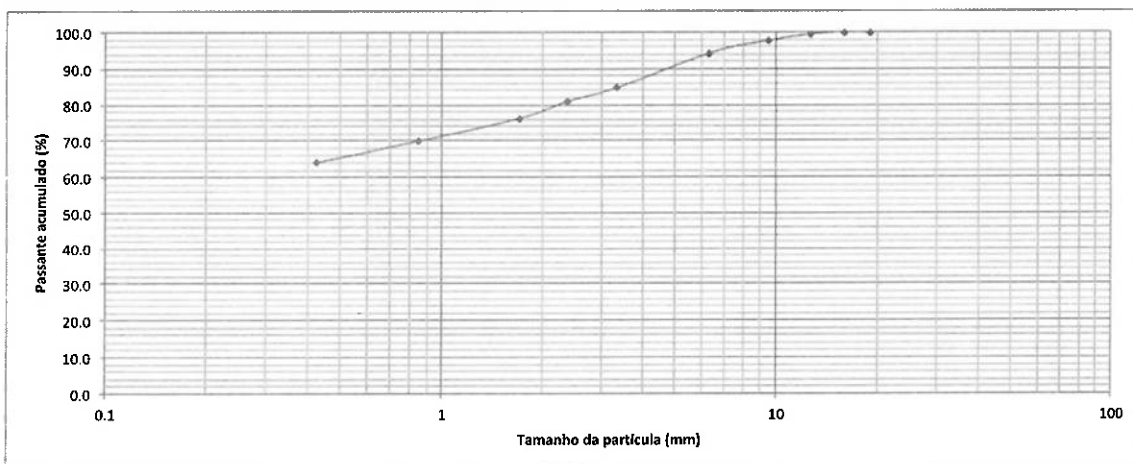


Ensaio para determinação do índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Larissa Peres/ Jefferson (técnico LTM)
Local e Data:	USP/LTM - 27/07/2017
Projeto:	Trabalho de Formatura - Larissa Peres
Amostra:	Minério de Ferro - Biogold (-3/4" + 1/2")
Peso inicial (g):	97,3216
Peso final (g):	97,1314
AI:	0,19
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19	0	0,0	100,0	0,0
5/8"	16	0	0,0	100,0	0,0
1/2"	12,7	9,8	0,6	99,4	0,6
3/8"	9,5	27,1	1,7	97,7	2,3
1/4"	6,35	53,3	3,4	94,3	5,7
6	3,35	149,3	9,5	84,8	15,2
8	2,36	61,6	3,9	80,8	19,2
12	1,7	73,1	4,7	76,2	23,8
20	0,85	99,3	6,3	69,9	30,1
40	0,425	88,4	5,6	64,2	35,8
		1008,7	64,2	0,0	100,0
Total		1570,6	100,0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

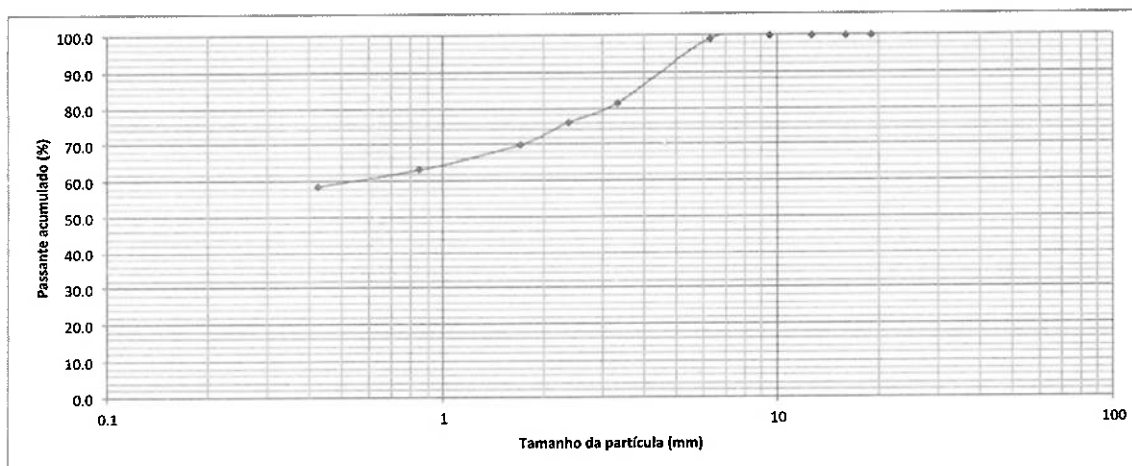


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Larissa Peres / Jefferson (técnico LTM)
Local e Data:	USP/LTM - 27/07/2017
Projeto:	Trabalho de Formatura - Larissa Peres
Amostra:	Minério de Ferro - Biogold (-8 + 6,3 mm)
Peso inicial (g):	96,4272
Peso final (g):	96,2764
AI:	0,15
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19	0	0,0	100,0	0,0
5/8"	16	0	0,0	100,0	0,0
1/2"	12,7	0	0,0	100,0	0,0
3/8"	9,5	0	0,0	100,0	0,0
1/4"	6,35	17,2	1,1	98,9	1,1
6	3,35	277,8	17,4	81,5	18,5
8	2,36	89,1	5,6	75,9	24,1
12	1,7	97,6	6,1	69,8	30,2
20	0,85	107,2	6,7	63,1	36,9
40	0,425	72,5	4,5	58,6	41,4
		935,3	58,6	0,0	100,0
Total		1596,7	100,0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

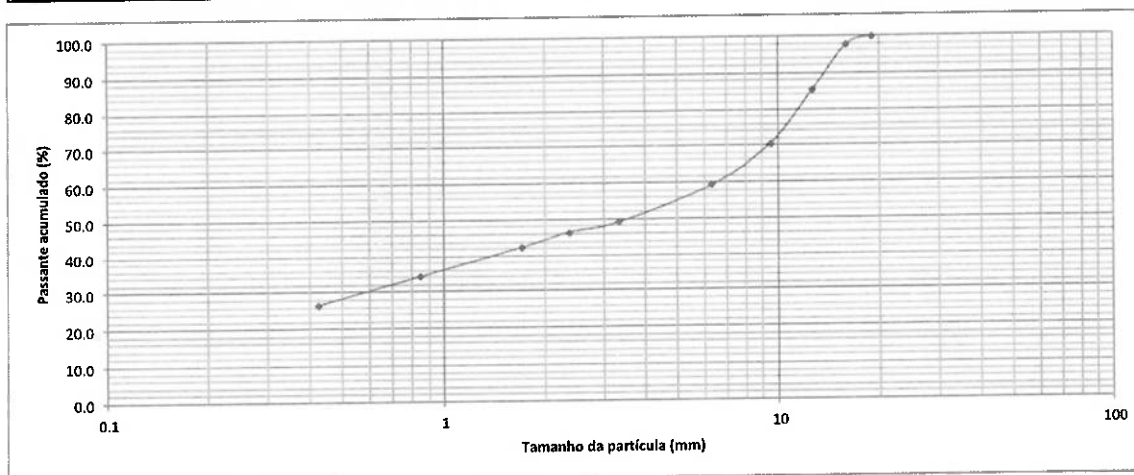


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Larissa Peres/ Jefferson (técnico LTM)
Local e Data:	USP/LTM - 27/07/2017
Projeto:	Trabalho de Formatura - Larissa Peres
Amostra:	Minério de Ouro - Mina de Jacobina/Yamana Gold (-3/4" + 1/2")
Peso inicial (g):	96,4256
Peso final (g):	95,6908
AI:	0,73
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19	0	0,0	100,0	0,0
5/8"	16	38,1	2,4	97,6	2,4
1/2"	12,7	193,2	12,1	85,5	14,5
3/8"	9,5	238,7	15,0	70,5	29,5
1/4"	6,35	179,1	11,2	59,3	40,7
6	3,35	160,6	10,1	49,2	50,8
8	2,36	44,7	2,8	46,4	53,6
12	1,7	65,1	4,1	42,3	57,7
20	0,85	127,2	8,0	34,4	65,6
40	0,425	123,4	7,7	26,6	73,4
		424,4	26,6	0,0	100,0
Total		1594,5	100,0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

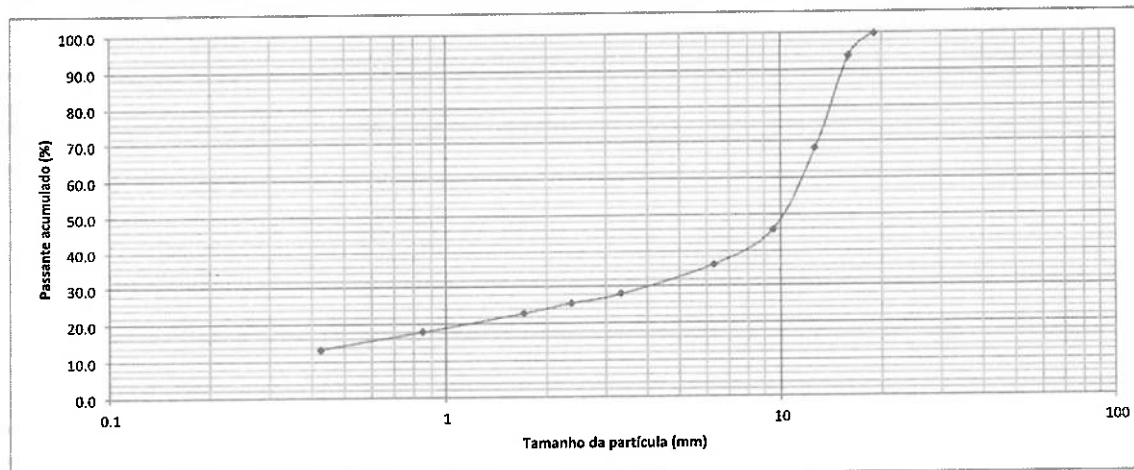


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Larissa Peres/ Jefferson (técnico LTM)
Local e Data:	USP/LTM - 28/07/2017
Projeto:	Trabalho de Formatura - Larissa Peres
Amostra:	Minério de Cobre - Mina de Sossego/Vale (-3/4" + 1/2")
Peso inicial (g):	96,5880
Peso final (g):	95,9140
AI:	0,67
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19	0	0,0	100,0	0,0
5/8"	16	101,27	6,4	93,6	6,4
1/2"	12,7	405,98	25,6	68,0	32,0
3/8"	9,5	351,07	22,2	45,8	54,2
1/4"	6,35	153,79	9,7	36,1	63,9
6	3,35	128,53	8,1	28,0	72,0
8	2,36	39,05	2,5	25,5	74,5
12	1,7	43,07	2,7	22,8	77,2
20	0,85	77,52	4,9	17,9	82,1
40	0,425	73,12	4,6	13,3	86,7
		210,86	13,3	0,0	100,0
Total		1584,26	100,0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

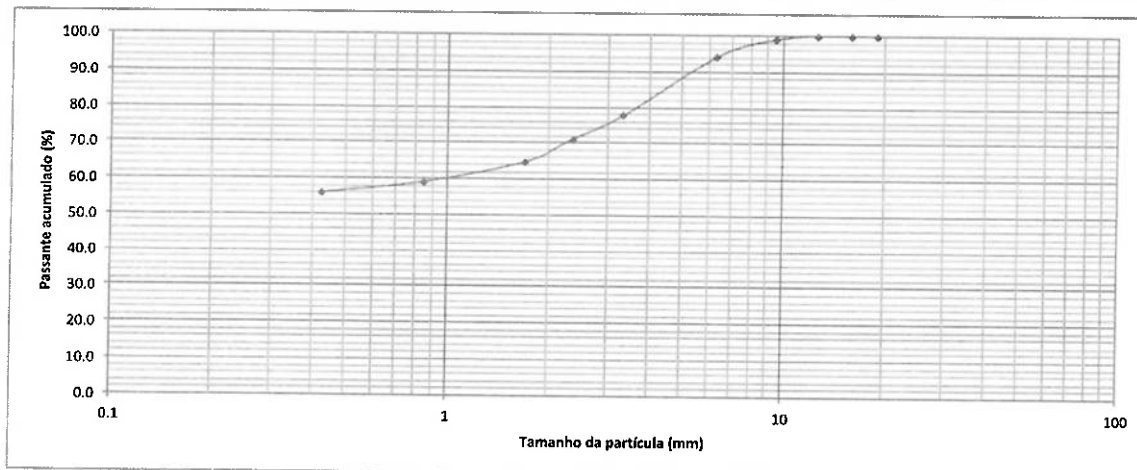


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Larissa Peres/ Jefferson (técnico LTM)
Local e Data:	USP/LTM - 28/07/2017
Projeto:	Trabalho de Formatura - Larissa Peres
Amostra:	Quartzito - Furnas (-3/4" + 1/2")
Peso inicial (g):	95,2307
Peso final (g):	95,0737
AI:	0,16
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19	0,0	0,0	100,0	0,0
5/8"	16	0,0	0,0	100,0	0,0
1/2"	12,7	0,0	0,0	100,0	0,0
3/8"	9,5	18,5	1,2	98,8	1,2
1/4"	6,35	76,0	4,7	94,1	5,9
6	3,35	262,2	16,3	77,8	22,2
8	2,36	109,4	6,8	71,0	29,0
12	1,7	98,9	6,2	64,8	35,2
20	0,85	92,3	5,7	59,1	40,9
40	0,425	49,6	3,1	56,0	44,0
Total		1605,9	100,0	0,0	100,0





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

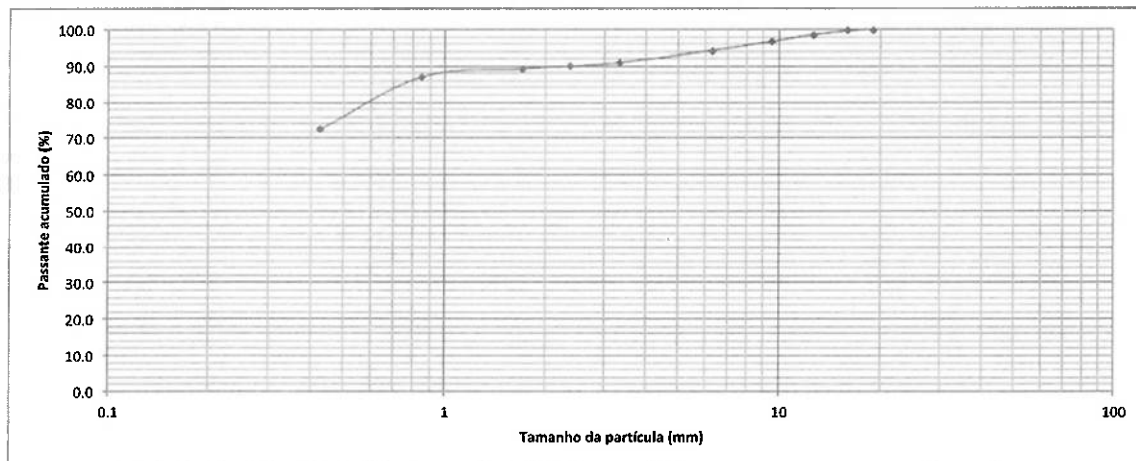


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Larissa Peres/ Jefferson (técnico LTM)
Local e Data:	USP/LTM - 28/07/2017
Projeto:	Trabalho de Formatura - Larissa Peres
Amostra:	Quartzito - São Tomé das Letras (-3/4" + 1/2")
Peso inicial (g):	96,7911
Peso final (g):	96,4649
AI:	0,33
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19	0,0	0,0	100,0	0,0
5/8"	16	6,8	0,4	99,6	0,4
1/2"	12,7	15,2	1,0	98,6	1,4
3/8"	9,5	30,4	1,9	96,7	3,3
1/4"	6,35	38,3	2,4	94,3	5,7
6	3,35	51,0	3,2	91,0	9,0
8	2,36	16,6	1,0	90,0	10,0
12	1,7	11,0	0,7	89,3	10,7
20	0,85	36,4	2,3	87,0	13,0
40	0,425	230,6	14,6	72,4	27,6
		1145,3	72,4	0,0	100,0
Total		1581,6	100,0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

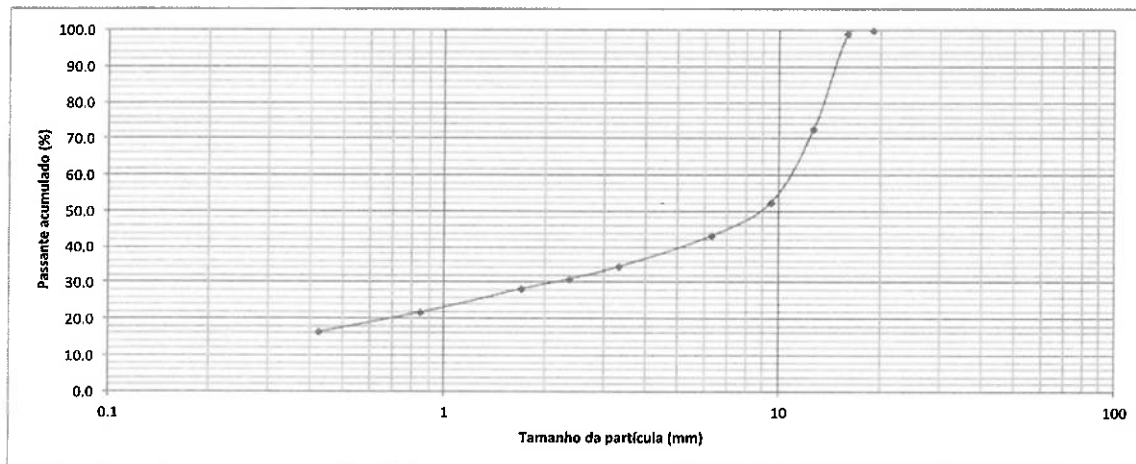


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Larissa Peres/ Jefferson (técnico LTM)
Local e Data:	USP/LTM - 28/07/2017
Projeto:	Trabalho de Formatura - Larissa Peres
Amostra:	Rocha Potássica - Poços de Caldas (-3/4" + 1/2")
Peso inicial (g):	97,0689
Peso final (g):	96,5910
AI:	0,48
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19	0,0	0,0	100,0	0,0
5/8"	16	20,0	1,3	98,7	1,3
1/2"	12,7	415,2	26,1	72,6	27,4
3/8"	9,5	319,0	20,1	52,6	47,4
1/4"	6,35	147,9	9,3	43,3	56,7
6	3,35	139,3	8,8	34,5	65,5
8	2,36	56,3	3,5	31,0	69,0
12	1,7	43,4	2,7	28,2	71,8
20	0,85	102,7	6,5	21,8	78,2
40	0,425	85,0	5,3	16,4	83,6
		261,1	16,4	0,0	100,0
Total		1589,9	100,0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

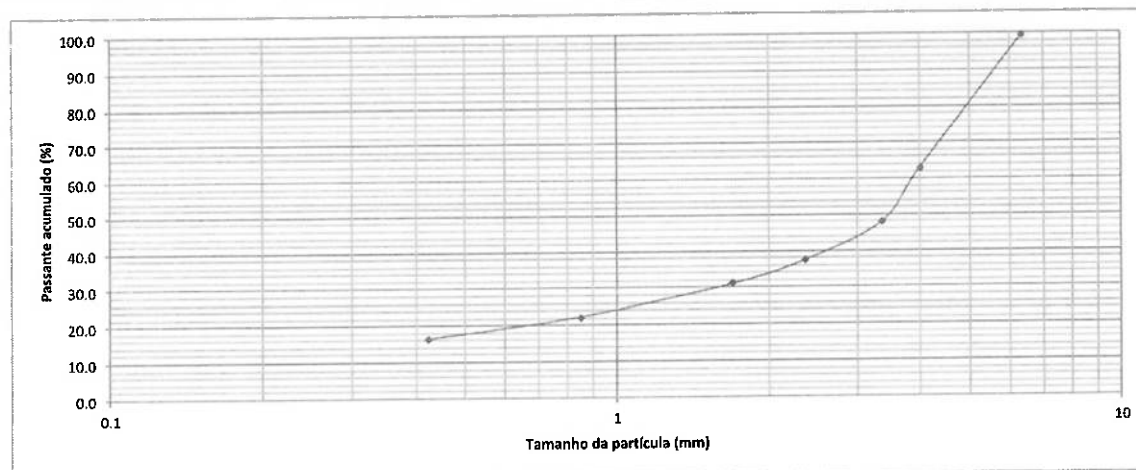


Ensaio para determinação do índice LCPC

Responsável:	Larissa Peres/ Jefferson (técnico LTM)
Local e Data:	USP/LTM - 14/08/2017
Projeto:	Trabalho de Formatura - Larissa Peres
Amostra:	Minério Sulfetado de Cobre - Alimentação (Mineração Caraíba - Projeto Boa Esperança)
Peso amostra (g):	500,96
Peso inicial (g):	46,3836
Peso final (g):	45,8605
LCPC:	1044
Britabilidade (Norma Francesa):	69
Britabilidade (Metso):	0,31
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6,35	3,2	0,6	99,4	0,6
5	4	180,2	36,3	63,1	36,9
6	3,35	76,2	15,3	47,8	52,2
8	2,36	51,3	10,3	37,4	62,6
12	1,7	31,6	6,4	31,1	68,9
20	0,85	43,7	8,8	22,3	77,7
40	0,425	28,9	5,8	16,5	83,5
		81,8	16,5	0,0	100,0
Total		496,9	100,0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

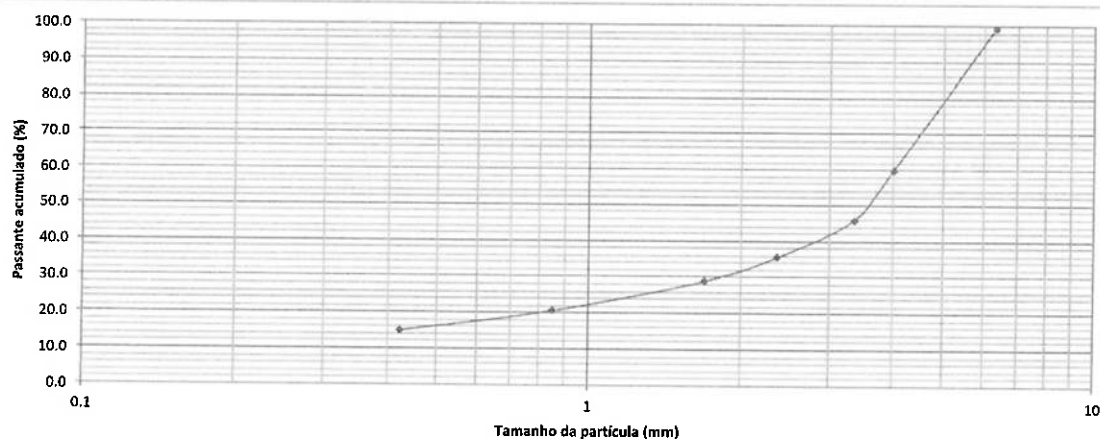


Ensaio para determinação do Índice LCPC

Responsável:	Larissa Peres/ Jefferson (técnico LTM)
Local e Data:	USP/LTM - 14/08/2017
Projeto:	Trabalho de Formatura - Larissa Peres
Amostra:	Minério Sulfetado de Cobre - Concentrado (Mineração Caraíba - Projeto Boa Esperança)
Peso amostra (g):	500,85
Peso inicial (g):	46,5256
Peso final (g):	46,1492
LCPC:	752
Britabilidade (Norma Francesa):	71
Britabilidade (Metso):	0,29
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6,35	2,5	0,5	99,5	0,5
5	4	196,7	39,6	59,9	40,1
6	3,35	70,1	14,1	45,7	54,3
8	2,36	50,8	10,2	35,5	64,5
12	1,7	32,8	6,6	28,9	71,1
20	0,85	41,5	8,4	20,5	79,5
40	0,425	27,6	5,6	15,0	85,0
		74,3	15,0	0,0	100,0
Total		496,3	100,0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

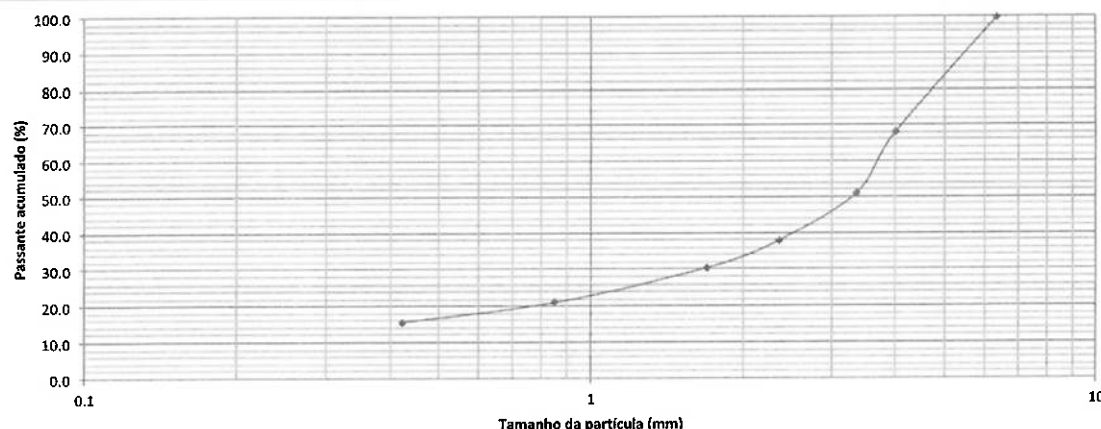


Ensaio para determinação do índice LCPC

Responsável:	Larissa Peres/ Jefferson (técnico LTM)
Local e Data:	USP/LTM - 14/08/2017
Projeto:	Trabalho de Formatura - Larissa Peres
Amostra:	Minério Sulfetado de Cobre - Rejeito (Mineração Caraíba - Projeto Boa Esperança)
Peso amostra (g):	500,18
Peso inicial (g):	46,9054
Peso final (g):	46,3593
LCPC:	1092
Britabilidade (Norma Francesa):	70
Britabilidade (Metso):	0,30
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6,35	1,7	0,3	99,7	0,3
5	4	157,4	31,7	68,0	32,0
6	3,35	85,1	17,1	50,8	49,2
8	2,36	64,4	13,0	37,9	62,1
12	1,7	37,2	7,5	30,4	69,6
20	0,85	46,5	9,4	21,0	79,0
40	0,425	26,9	5,4	15,6	84,4
		77,4	15,6	0,0	100,0
Total		496,6	100,0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

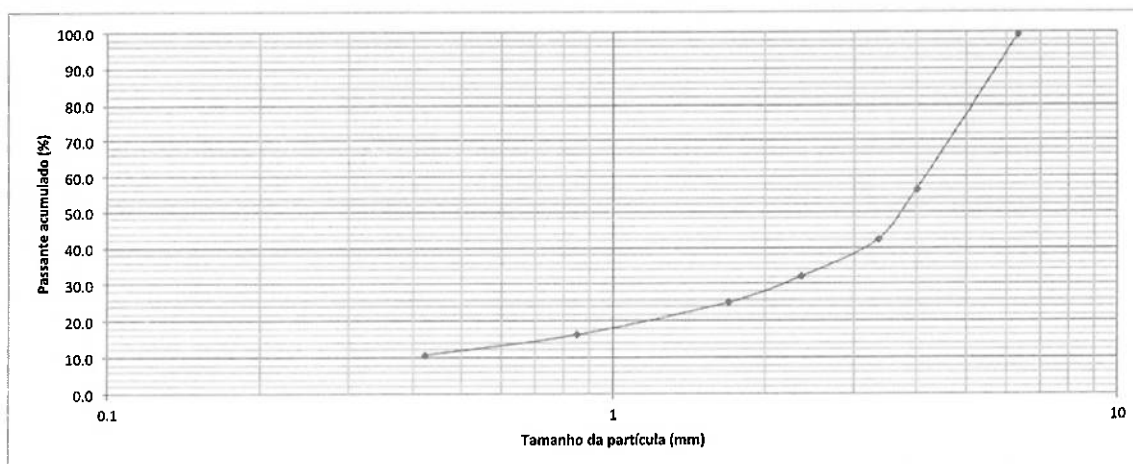


Ensaio para determinação do Índice LCPC

Responsável:	Larissa Peres/ Jefferson (técnico LTM)
Local e Data:	USP/LTM - 14/08/2017
Projeto:	Trabalho de Formatura - Larissa Peres
Amostra:	Minério Silicatado de Zinco - Alimentação (Mina de Vazante/Votorantim - Usicon W)
Peso amostra (g):	500,64
Peso inicial (g):	46,3003
Peso final (g):	45,9804
LCPC:	639
Britabilidade (Norma Francesa):	75
Britabilidade (Metso):	0,25
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6,35	3,6	0,7	99,3	0,7
5	4	211,2	42,8	56,4	43,6
6	3,35	70,3	14,3	42,2	57,8
8	2,36	49,8	10,1	32,1	67,9
12	1,7	34,5	7,0	25,1	74,9
20	0,85	43,4	8,8	16,3	83,7
40	0,425	27,0	5,5	10,8	89,2
		53,2	10,8	0,0	100,0
Total		493,0	100,0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

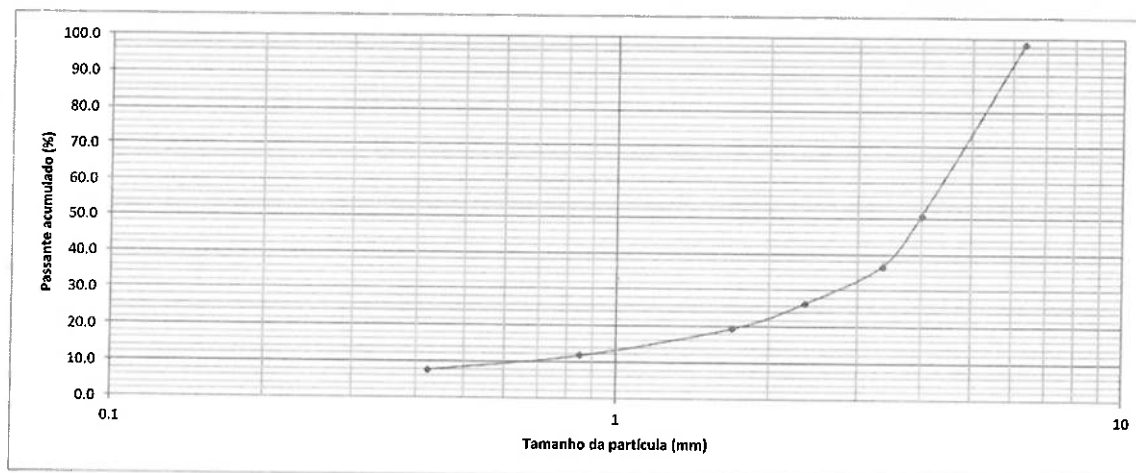


Ensaio para determinação do Índice LCPC

Responsável:	Larissa Peres/ Jefferson (técnico LTM)
Local e Data:	USP/LTM - 14/08/2017
Projeto:	Trabalho de Formatura - Larissa Peres
Amostra:	Minério Silicatado de Zinco - Concentrado (Mina de Vazante/Votorantim - Usicon W)
Peso amostra (g):	500,57
Peso inicial (g):	46,4857
Peso final (g):	46,2175
LCPC:	536
Britabilidade (Norma Francesa):	81
Britabilidade (Metso):	0,19
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6,35	7,5	1,5	98,5	1,5
5	4	236,7	47,7	50,8	49,2
6	3,35	70,6	14,2	36,6	63,4
8	2,36	50,3	10,1	26,5	73,5
12	1,7	34,9	7,0	19,4	80,6
20	0,85	38	7,7	11,8	88,2
40	0,425	20,5	4,1	7,7	92,3
Total		38	7,7	0,0	100,0
		496,5	100,0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

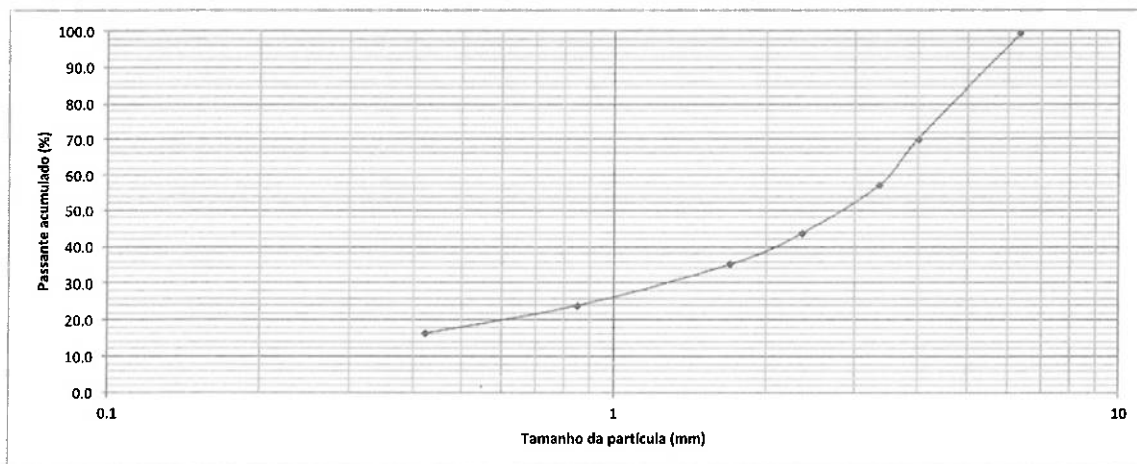


Ensaio para determinação do Índice LCPC

Responsável:	Larissa Peres/ Jefferson (técnico LTM)
Local e Data:	USP/LTM - 14/08/2017
Projeto:	Trabalho de Formatura - Larissa Peres
Amostra:	Minério Silicatado de Zinco - Rejeito (Mina de Vazante/Votorantim - Usicon W)
Peso amostra (g):	500,63
Peso inicial (g):	46,1481
Peso final (g):	45,9207
LCPC:	454
Britabilidade (Norma Francesa):	65
Britabilidade (Metso):	0,35
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6,35	3,7	0,7	99,3	0,7
5	4	145,4	29,1	70,1	29,9
6	3,35	65,6	13,1	57,0	43,0
8	2,36	66,8	13,4	43,6	56,4
12	1,7	42,3	8,5	35,1	64,9
20	0,85	55,8	11,2	23,9	76,1
40	0,425	37,6	7,5	16,4	83,6
		81,9	16,4	0,0	100,0
Total		499,1	100,0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

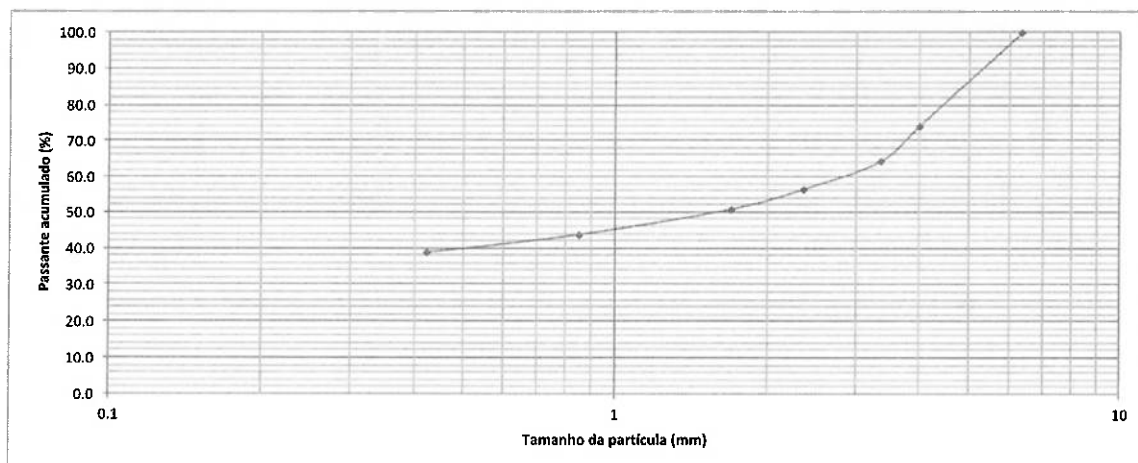


Ensaio para determinação do Índice LCPC

Responsável:	Larissa Peres/ Jefferson (técnico LTM)
Local e Data:	USP/LTM - 15/08/2017
Projeto:	Trabalho de Formatura - Larissa Peres
Amostra:	Minério de Ferro (Biogold)
Peso amostra (g):	500,30
Peso inicial (g):	46,3040
Peso final (g):	46,1232
LCPC:	361
Britabilidade (Norma Francesa):	50
Britabilidade (Metso):	0,50
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6,35	1,8	0,4	99,6	0,4
5	4	126,4	25,7	73,9	26,1
6	3,35	48,0	9,8	64,1	35,9
8	2,36	38,2	7,8	56,4	43,6
12	1,7	27,6	5,6	50,7	49,3
20	0,85	34,7	7,1	43,7	56,3
40	0,425	24,0	4,9	38,8	61,2
		190,6	38,8	0,0	100,0
Total		491,3	100,0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

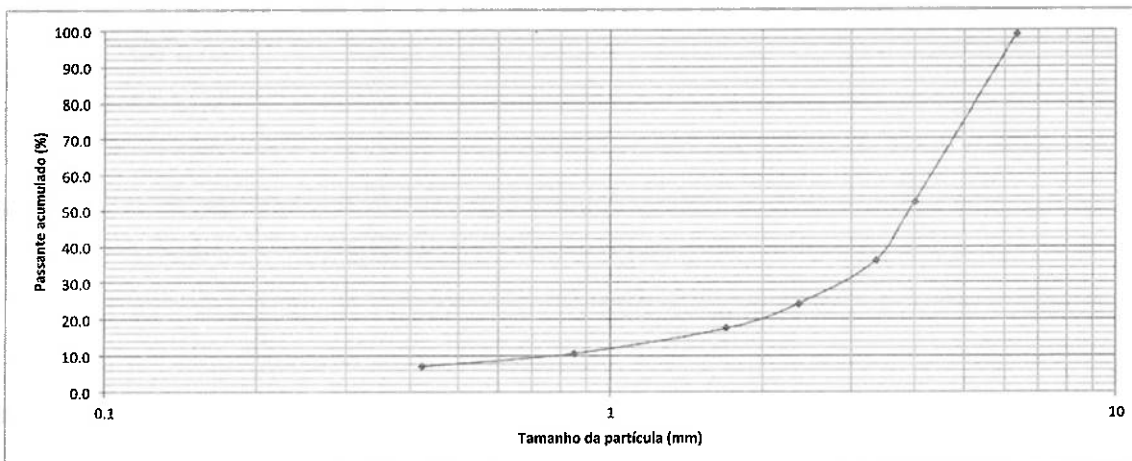


Ensaio para determinação do índice LCPC

Responsável:	Larissa Peres/ Jefferson (técnico LTM)
Local e Data:	USP/LTM - 15/08/2017
Projeto:	Trabalho de Formatura - Larissa Peres
Amostra:	Minério de Zinco (Mina de Vazante/Votorantim)
Peso amostra (g):	498,97
Peso inicial (g):	45,9278
Peso final (g):	45,6722
LCPC:	512
Britabilidade (Norma Francesa):	83
Britabilidade (Metso):	0,17
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6,35	4,9	1,0	99,0	1,0
5	4	231,3	46,5	52,5	47,5
6	3,35	81,9	16,5	36,0	64,0
8	2,36	58,8	11,8	24,2	75,8
12	1,7	33,5	6,7	17,5	82,5
20	0,85	33,9	6,8	10,6	89,4
40	0,425	17,5	3,5	7,1	92,9
		35,4	7,1	0,0	100,0
Total		497,2	100,0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

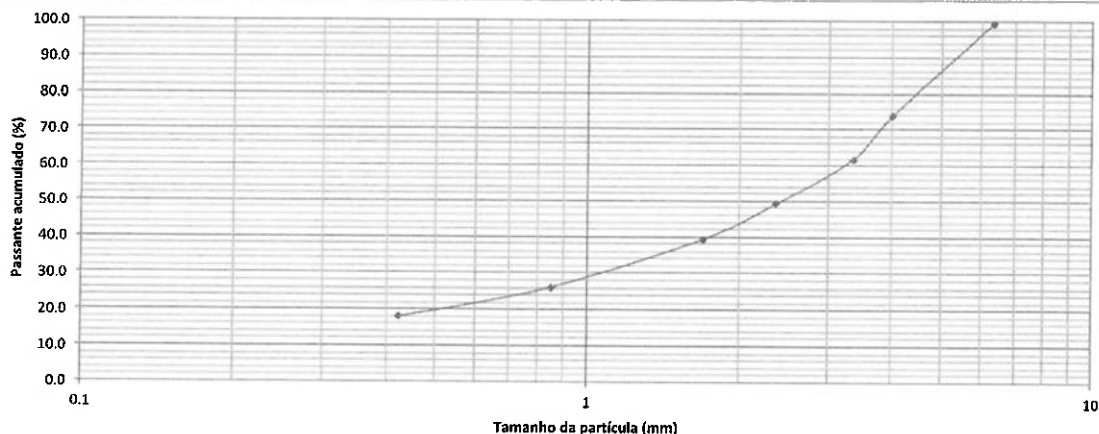


Ensaio para determinação do Índice LCPC

Responsável:	Larissa Peres/ Jefferson (técnico LTM)
Local e Data:	USP/LTM - 15/08/2017
Projeto:	Trabalho de Formatura - Larissa Peres
Amostra:	Calcário (Mina de Ponte Alta/Votorantim)
Peso amostra (g):	498,29
Peso inicial (g):	45,8352
Peso final (g):	45,7355
LCPC:	200
Britabilidade (Norma Francesa):	61
Britabilidade (Metso):	0,39
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6,35	3,1	0,6	99,4	0,6
5	4	126,9	25,7	73,7	26,3
6	3,35	59,6	12,1	61,6	38,4
8	2,36	61,8	12,5	49,1	50,9
12	1,7	48,3	9,8	39,3	60,7
20	0,85	64,9	13,1	26,2	73,8
40	0,425	40,5	8,2	18,0	82,0
		88,8	18,0	0,0	100,0
Total		493,9	100,0		



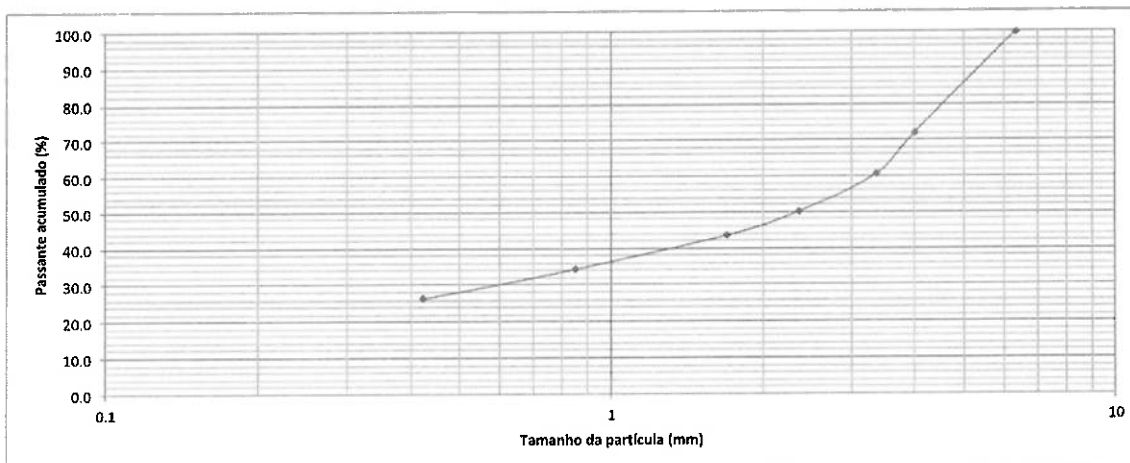


Ensaio para determinação do índice LCPC

Responsável:	Larissa Peres/ Jefferson (técnico LTM)
Local e Data:	USP/LTM - 15/08/2017
Projeto:	Trabalho de Formatura - Larissa Peres
Amostra:	Minério de Ouro (Mina de Jacobina/Yamana Gold)
Peso amostra (g):	501,46
Peso inicial (g):	46,3726
Peso final (g):	45,7218
LCPC:	1298
Britabilidade (Norma Francesa):	57
Britabilidade (Metso):	0,43
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6,35	0,0	0,0	100,0	0,0
5	4	139,1	27,9	72,1	27,9
6	3,35	58,0	11,6	60,5	39,5
8	2,36	52,0	10,4	50,1	49,9
12	1,7	33,1	6,6	43,4	56,6
20	0,85	45,9	9,2	34,2	65,8
40	0,425	39,7	8,0	26,3	73,7
		131,1	26,3	0,0	100,0
Total		498,9	100,0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

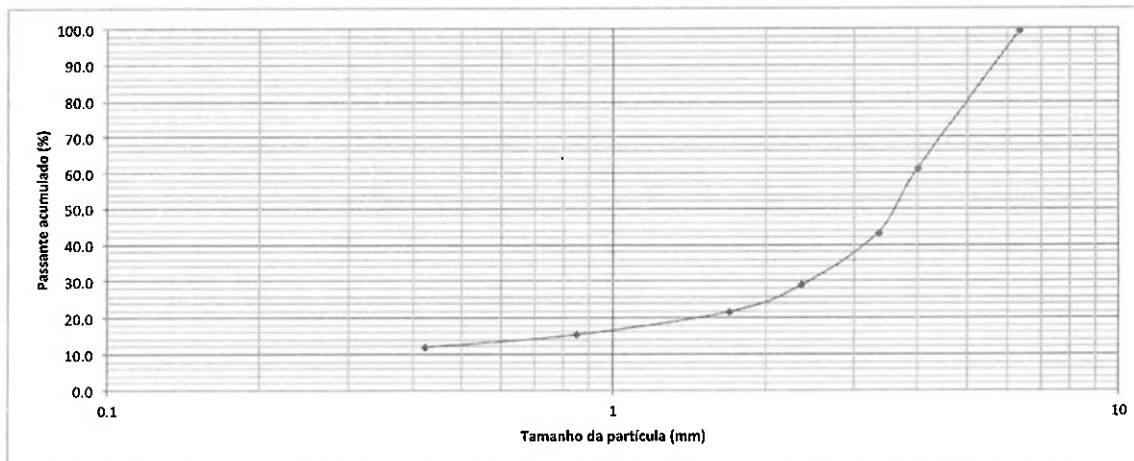


Ensaio para determinação do índice LCPC

Responsável:	Larissa Peres/ Jefferson (técnico LTM)
Local e Data:	USP/LTM - 16/08/2017
Projeto:	Trabalho de Formatura - Larissa Peres
Amostra:	Diabásio (Pedreira Santo Antônio/Grupo Quaglio)
Peso amostra (g):	500,57
Peso inicial (g):	46,5111
Peso final (g):	45,9402
LCPC:	1140
Britabilidade (Norma Francesa):	79
Britabilidade (Metso):	0,21
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6,35	2,8	0,6	99,4	0,6
5	4	185,2	38,2	61,2	38,8
6	3,35	86,9	17,9	43,3	56,7
8	2,36	69,8	14,4	28,9	71,1
12	1,7	34,9	7,2	21,7	78,3
20	0,85	30,6	6,3	15,4	84,6
40	0,425	16,2	3,3	12,1	87,9
		58,5	12,1	0,0	100,0
Total		484,9	100,0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

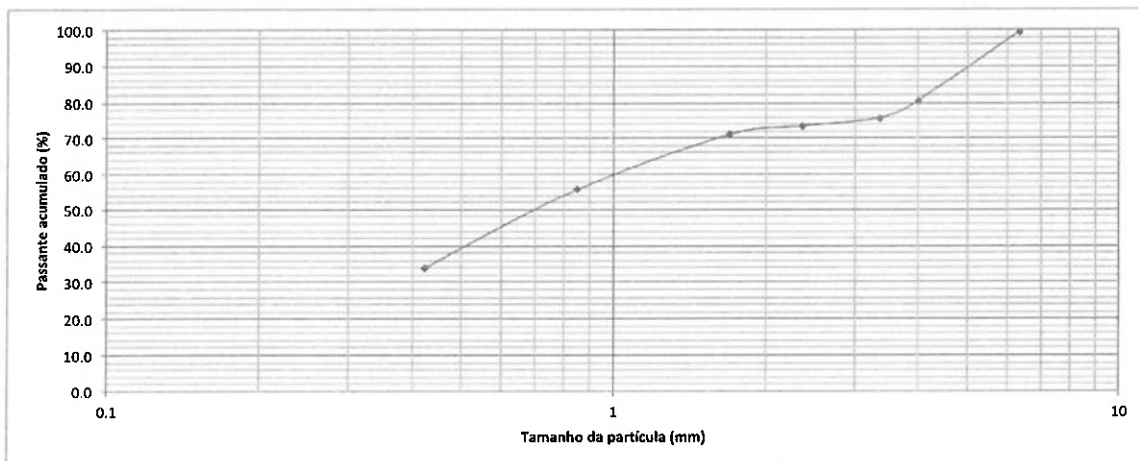


Ensaio para determinação do Índice LCPC

Responsável:	Larissa Peres/ Jefferson (técnico LTM)
Local e Data:	USP/LTM - 16/08/2017
Projeto:	Trabalho de Formatura - Larissa Peres
Amostra:	Brita pra Jardinagem (Pro Garden)
Peso amostra (g):	499,13
Peso inicial (g):	45,9879
Peso final (g):	45,9568
LCPC:	62
Britabilidade (Norma Francesa):	30
Britabilidade (Metso):	0,70
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6,35	2,2	0,4	99,6	0,4
5	4	94,4	19,1	80,4	19,6
6	3,35	23,1	4,7	75,8	24,2
8	2,36	11,2	2,3	73,5	26,5
12	1,7	11,8	2,4	71,1	28,9
20	0,85	75,9	15,4	55,8	44,2
40	0,425	107,3	21,7	34,0	66,0
		168,2	34,0	0,0	100,0
Total		494,1	100,0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

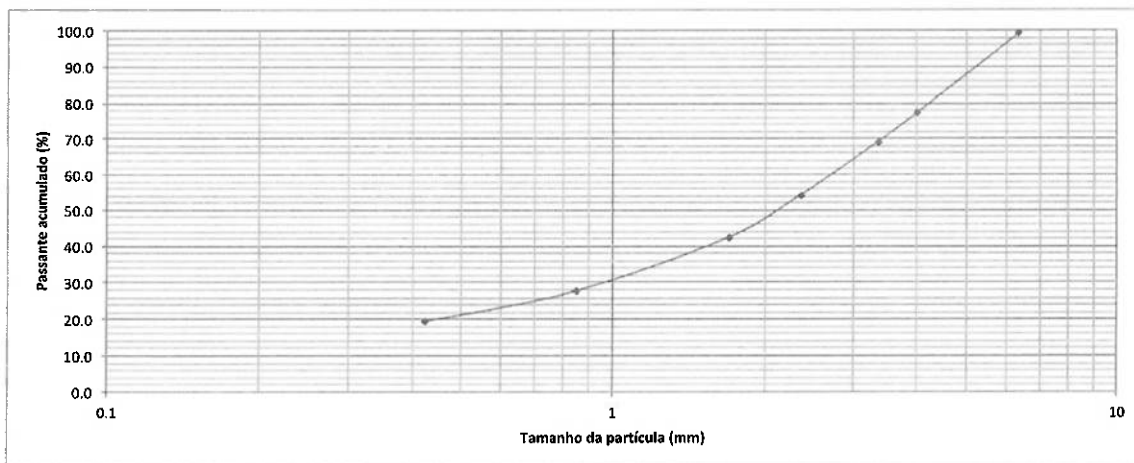


Ensaio para determinação do índice LCPC

Responsável:	Larissa Peres/ Jefferson (técnico LTM)
Local e Data:	USP/LTM - 16/08/2017
Projeto:	Trabalho de Formatura - Larissa Peres
Amostra:	Minério de Ouro (Crusader)
Peso amostra (g):	500,83
Peso inicial (g):	46,1557
Peso final (g):	45,7125
LCPC:	885
Britabilidade (Norma Francesa):	58
Britabilidade (Metso):	0,42
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6,35	4,2	0,9	99,1	0,9
5	4	108,2	21,9	77,2	22,8
6	3,35	39,6	8,0	69,2	30,8
8	2,36	73,5	14,9	54,3	45,7
12	1,7	58,4	11,8	42,5	57,5
20	0,85	72,3	14,7	27,8	72,2
40	0,425	41,2	8,3	19,5	80,5
		96,1	19,5	0,0	100,0
Total		493,5	100,0		



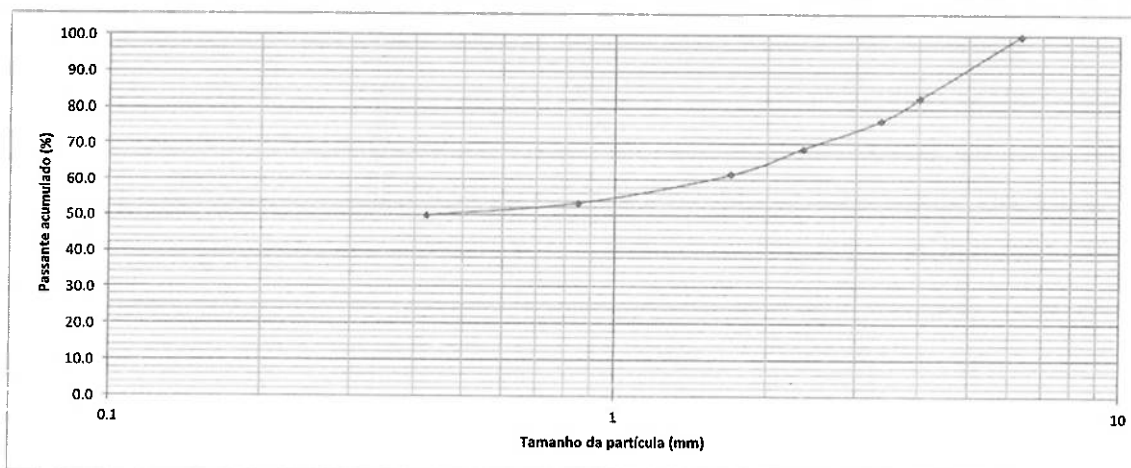


Ensaio para determinação do Índice LCPC

Responsável:	Larissa Peres/ Jefferson (técnico LTM)
Local e Data:	USP/LTM - 17/08/2017
Projeto:	Trabalho de Formatura - Larissa Peres
Amostra:	Quartzito (Furnas)
Peso amostra (g):	500,80
Peso inicial (g):	46,4770
Peso final (g):	46,2397
LCPC:	474
Britabilidade (Norma Francesa):	39
Britabilidade (Metso):	0,61
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6,35	0,0	0,0	100,0	0,0
5	4	87,4	17,5	82,5	17,5
6	3,35	30,5	6,1	76,4	23,6
8	2,36	38,5	7,7	68,7	31,3
12	1,7	36,4	7,3	61,4	38,6
20	0,85	40,2	8,0	53,4	46,6
40	0,425	17,6	3,5	49,9	50,1
		249,2	49,9	0,0	100,0
Total		499,8	100,0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

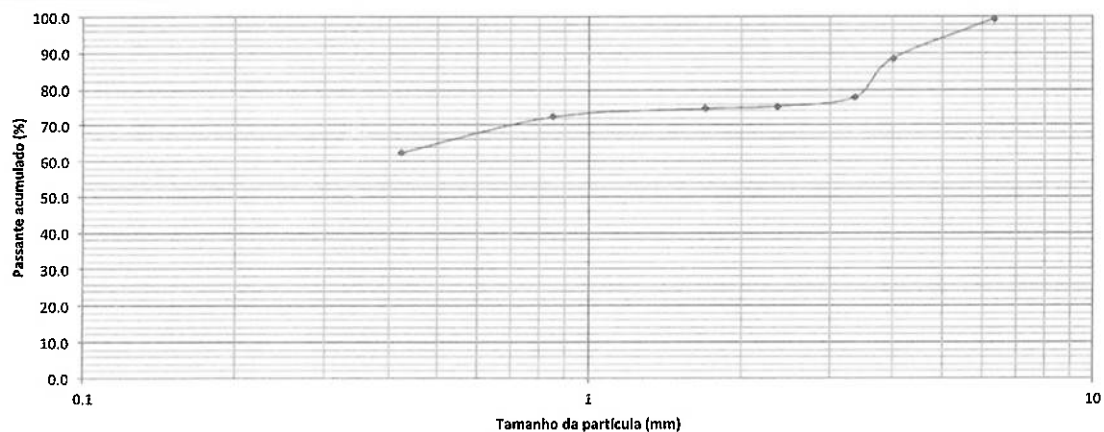


Ensaio para determinação do índice LCPC

Responsável:	Larissa Peres/ Jefferson (técnico LTM)
Local e Data:	USP/LTM - 17/08/2017
Projeto:	Trabalho de Formatura - Larissa Peres
Amostra:	Quartzito (São Tome das Letras/MG)
Peso amostra (g):	500,60
Peso inicial (g):	46,2861
Peso final (g):	45,0380
LCPC:	2493
Britabilidade (Norma Francesa):	28
Britabilidade (Metso):	0,72
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6,35	2,7	0,6	99,4	0,6
5	4	53,4	11,0	88,4	11,6
6	3,35	51,7	10,7	77,7	22,3
8	2,36	12,0	2,5	75,3	24,7
12	1,7	3,3	0,7	74,6	25,4
20	0,85	10,7	2,2	72,4	27,6
40	0,425	48,1	9,9	62,4	37,6
		302,4	62,4	0,0	100,0
Total		484,3	100,0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

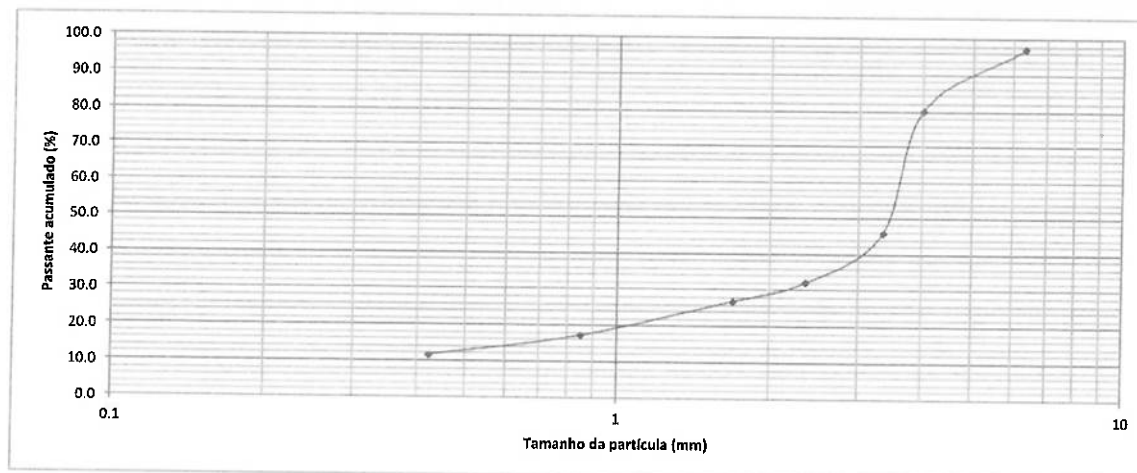


Ensaio para determinação do Índice LCPC

Responsável:	Larissa Peres/ Jefferson (técnico LTM)
Local e Data:	USP/LTM - 17/08/2017
Projeto:	Trabalho de Formatura - Larissa Peres
Amostra:	Rocha Potássica (Poços de Caldas/MG)
Peso amostra (g):	500,70
Peso inicial (g):	46,0302
Peso final (g):	45,3911
LCPC:	1276
Britabilidade (Norma Francesa):	73
Britabilidade (Metso):	0,27
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6,35	14,7	3,0	97,0	3,0
5	4	84,4	17,0	80,1	19,9
6	3,35	171,4	34,4	45,6	54,4
8	2,36	67,7	13,6	32,0	68,0
12	1,7	25,1	5,0	27,0	73,0
20	0,85	48,1	9,7	17,3	82,7
40	0,425	27,8	5,6	11,7	88,3
Total		58,4	11,7	0,0	100,0





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

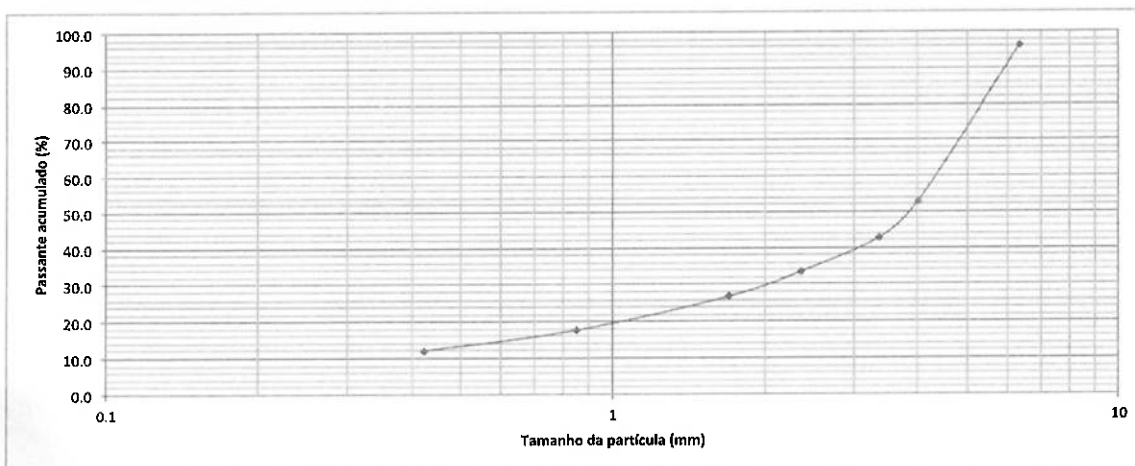


Ensaio para determinação do Índice LCPC

Responsável:	Larissa Peres/ Jefferson (técnico LTM)
Local e Data:	USP/LTM - 17/04/2017
Projeto:	Trabalho de Formatura - Larissa Peres
Amostra:	Minério de Cobre (Mina do Sossego/Vale)
Peso amostra (g):	501,0
Peso inicial (g):	46,0550
Peso final (g):	45,3568
LCPC:	1394
Britabilidade (Norma Francesa):	73
Britabilidade (Metso):	0,27
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

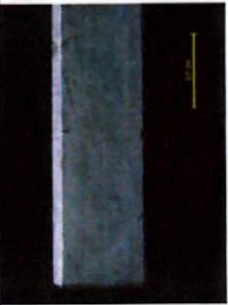
Distribuição granulométrica do produto

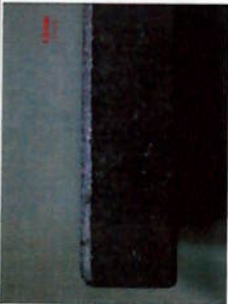
Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6,35	18,8	3,8	96,2	3,8
5	4	217,3	43,5	52,7	47,3
6	3,35	50,4	10,1	42,6	57,4
8	2,36	45,8	9,2	33,4	66,6
12	1,7	33,3	6,7	26,8	73,2
20	0,85	45,4	9,1	17,7	82,3
40	0,425	27,6	5,5	12,1	87,9
		60,6	12,1	0,0	100,0
Total		499,2	100,0		



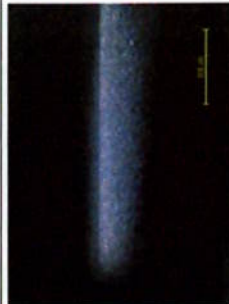
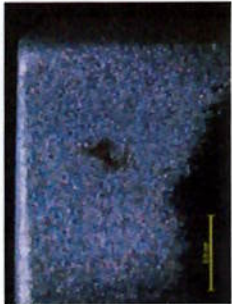
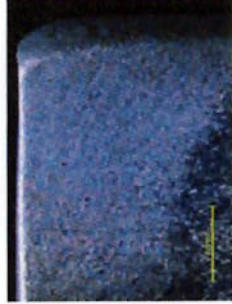
APÊNDICE C

TABELA COMPARATIVA DAS PLACAS UTILIZADAS NOS ENSAIOS DE ABRASIVIDADE

Minério	Al (média)	LCPC (média)	Descrição macroscópica	Imagens - Placas Al	Imagens - Placas LCPC
Placa nova	-	-	A superfície das placas, tais quais entregues pelos fabricantes, já possuem riscos em uma mesma direção (no caso do Al de Bond) e pequenas fissuras (no caso do LCPC), provavelmente devido ao processo de fabricação e eventual preparo de superfície (executado pelo fabricante). Porém, vale ressaltar que as observações desta tabela são referentes a marcas na superfície das placas, decorrentes do ensaio, provocadas pelo minério.	 	 
Brita pra jardinagem	0,0015	60	Pouco desgaste em ambos os casos. No ensaio Al, presença de riscos esparsos na superfície da placa (pequena quantidade de ocorrências) e no LCPC pequena marca de desgaste nos cantos da placa.	 	 

Calcário	0,0264	183	Na placa do ensaio de Bond, várias marcas de desgaste observadas na superfície da placa. Poucos riscos, mas muitas crateras de indentação – típico da abrasão por impacto. No caso do LCPC, desgaste médio, presença de poucos sulcos ou riscos.	   
Minério de Zinco	0,1856	552	Ambas as placas com coloração avermelhada. Facilidade de identificar a direção dos riscos/sulcos (marcas longas na diagonal) na placa de Al de Bond. Médio desgaste na superfície da placa do LCPC, porém notáveis riscos e sulcos na lateral.	   

Minério de Ferro	0,1860	384	Ambas as placas com coloração amarronzada. Grande presença de sulcos, poucos riscos no caso do Al. Pouco desgaste no caso do LCPC.	 	 
Amostra de Furnas	0,3262	2493	Na placa do Al, presença de grandes sulcos, representando um desgaste por impacto. Bordas arredondadas e com vários pequenos riscos visíveis a olho nu. Placa do LCPC também bem arredondada nas bordas, com grande parte da camada superficial desgastada.	 	 

Diabásio	0,3665	1137	Notou-se manchas na superfície da placa do ensaio de Al. Várias marcas de impacto dos grãos e riscos presentes. Bordas arredondadas e desgastadas em ambos os casos. Na placa do LCPC, grande desgaste, considerável área superficial da placa removida pelo minério (parte em cinza claro).	 	 
Rocha potássica	0,4673	1264	Bordas arredondadas nas placas dos dois ensaios. Presença de grandes sulcos, como mostrado no detalhe da placa do Al. Placa LCPC com grande porção da camada superficial desgastada.	 	 

Minério de ouro	0,7348	1293	No caso do Al de Bond, muito desgaste, grande presença de riscos e sulcos. Superfície da placa nitidamente afetada pelos grãos do minério. Bordas bem arredondadas e com grande perda de material no Al e também no LCPC, onde notou-se uma considerável abrasão na camada superior da placa.	 	 
--------------------	--------	------	--	---	---

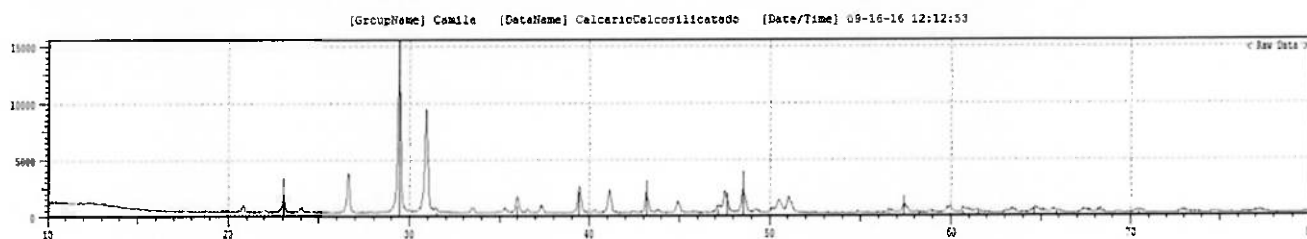
ANEXOS

ANEXO A
RESULTADOS DAS DIFRAÇÕES DE RAIOS – X

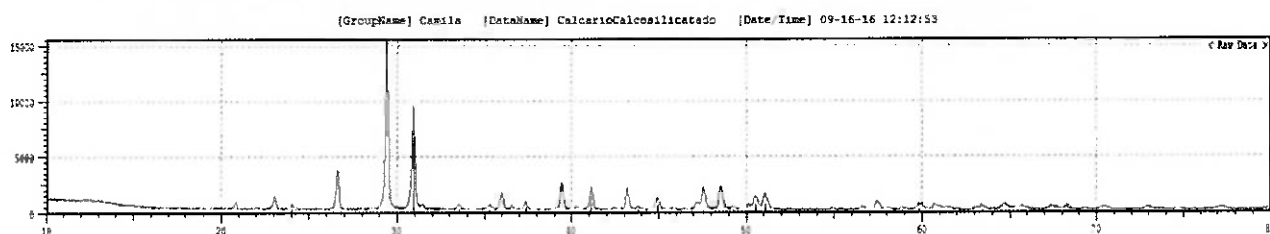
Amostra 1: Calcário Calcoossilicatado

Fases predominantes: Calcita (CaCO_3), Dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) e Quartzo (SiO_2).

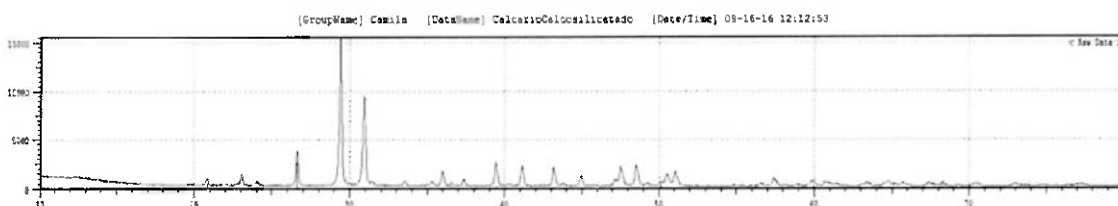
00-024-0027 CaCO_3 Calcium Carbonate Calcite



00-036-0426 $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ Calcium Magnesium Carbonat Dolomite



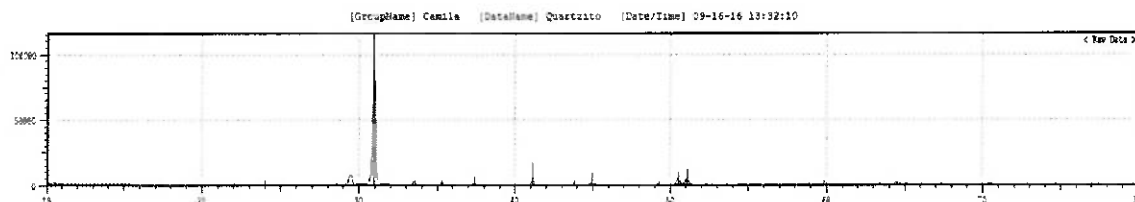
01-070-7345 SiO_2 Silicon Oxide Quartz



Amostra 3: Brita para jardinagem

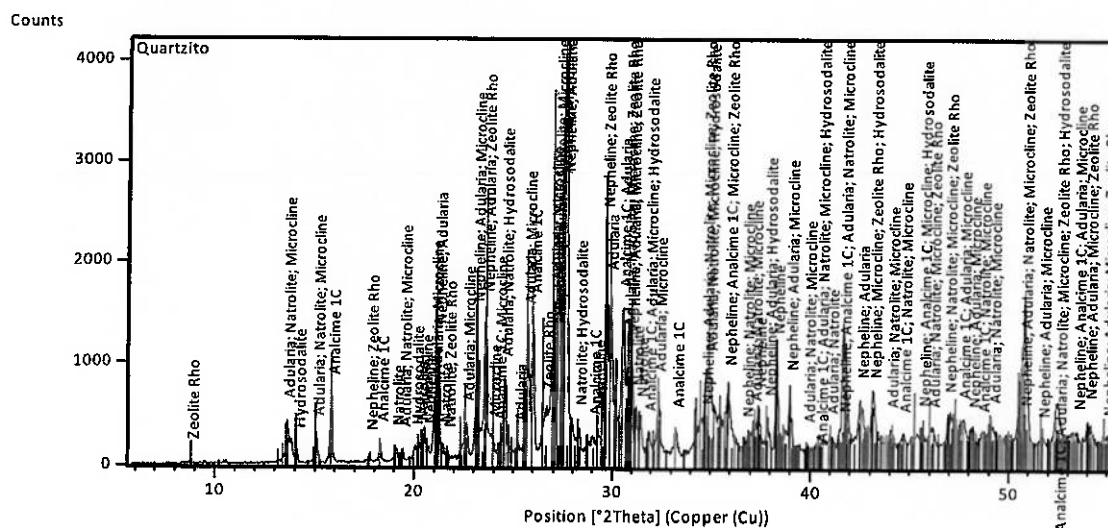
Fase Predominante: Dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$).

00-036-0426 $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ Calcium Magnesium Carbonat Dolomite



Amostra 7: Amostra de Furnas

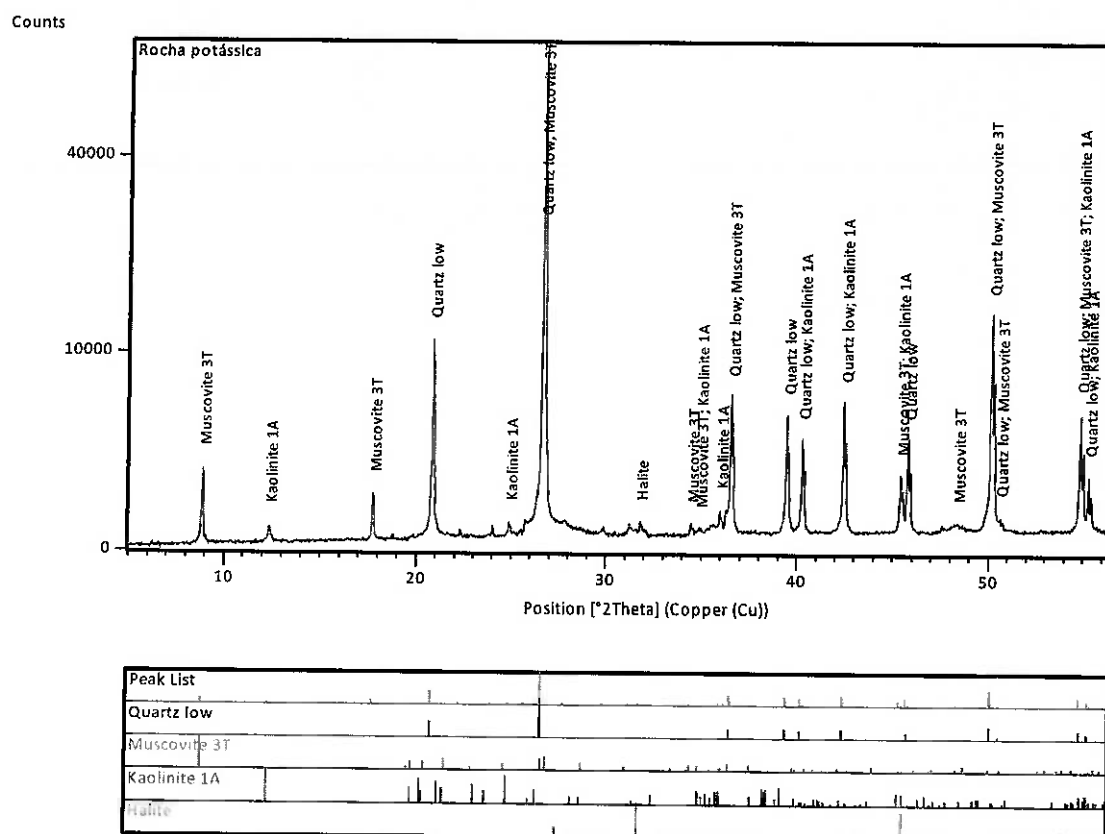
Amostra com predominância de feldspatos potássicos e sódicos. Composta por nefelina ($(\text{Na,K})\text{AlSi}_3\text{O}_8$), analcima ($\text{NaAlSi}_2\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$), adularia (KAlSi_3O_8) e natrolita ($\text{Na}_2[\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Possível presença de microclínio e zeólita.



Peak List	
Nepheline	
Analcime 1C	
Adularia	
Natrolite	
Microcline	
Zeolite Rho	
Hydrosodalite	

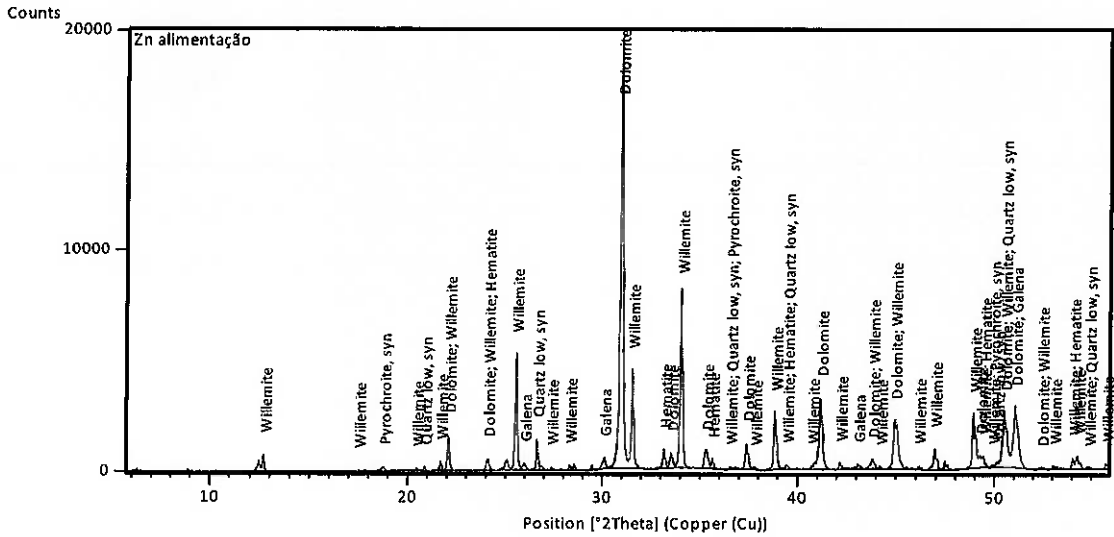
Amostra 8: Rocha potássica

Preferencialmente constituída por quartzo (SiO_2) com menores proporções de mica ($\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$) e caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$). Possível presença de halita (NaCl).



Amostra 9.1: Minério silicatado de zinco (alimentação)

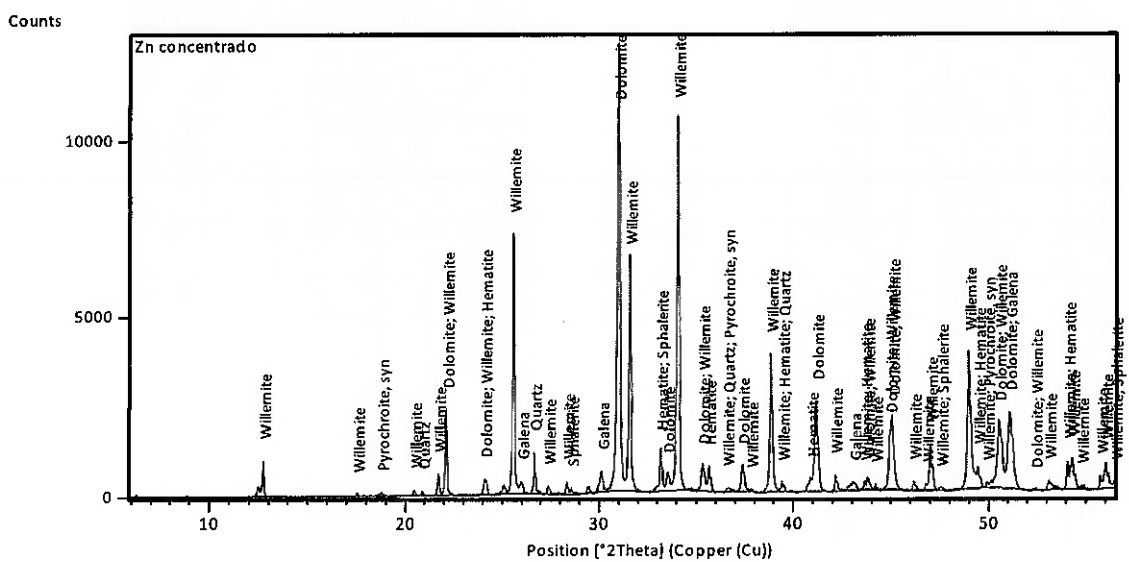
Amostra composta, principalmente, por dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), willemita (Zn_2SiO_4) e hematita (Fe_2O_3). Presença de pequenas proporções de galena (PbS), quartzo (SiO_2) e pirocroíta ($\text{Mn}(\text{OH})_2$).



Peak List
Dolomite
Willemite
Hematite
Quartz low, syn
Galena
Pyrochroite, syn

Amostra 9.2: Minério silicatado de zinco (concentrado)

Amostra composta, principalmente, por dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), willemita (Zn_2SiO_4) e hematita (Fe_2O_3). Presença de pequenas proporções de galena (PbS), quartzo (SiO_2), esfalerita (ZnS) e pirocrofita ($\text{Mn}(\text{OH})_2$).



Peak List	
Dolomite	
Willemite	
Hematite	
Galena	
Quartz	
Pyrochroite, syn	
Sphalerite	

Amostra 10.2: Minério sulfetado de cobre (concentrado)

Predominância de quartzo (SiO_2), pirita (FeS), magnetita (Fe_3O_4) e calcopirita (CuFeS_2), está última em maior quantidade do que a alimentação. Presença de albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), clorita ($(\text{MgFe})_5\text{Al}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_8$), microclínio (KAlSi_3O_8) e micas, em menores proporções.

