

**GABRIELA CARDOSO PRADO**

**COMPARAÇÃO ENTRE A HETEROGENEIDADE INTRÍNSECA  
CALIBRADA E CALCULADA DO MINÉRIO DE ALUMÍNIO DE UMA  
REGIÃO NO OESTE DO PARÁ**

**São Paulo  
2018**

**GABRIELA CARDOSO PRADO**

**COMPARAÇÃO ENTRE A HETEROGENEIDADE INTRÍNSECA  
CALIBRADA E CALCULADA DO MINÉRIO DE ALUMÍNIO DE UMA  
REGIÃO NO OESTE DO PARÁ**

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.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Carolina Chierigati

**São Paulo  
2018**

TF-2018

P882c

Sjzno 292823

H2018k



Escola Politécnica - EPMI



31700000806

Catálogo-na-publicação

Prado, Gabriela C.

Comparação entre a heterogeneidade intrínseca calibrada e calculada do minério de alumínio de uma região no oeste do Pará / G. C. Prado – São Paulo, 2018.

42 p.

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

1.Amostragem 2.Heterogeneidade 3.Bauxita 4.Minério de Alumínio 5.Sílica I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo II.t.

À minha mãe.

## AGRADECIMENTOS

À Profª. Ana Carolina Chierigati: pela atenção e paciência ao ensinar, por acreditar em mim e controlar minha ansiedade.

Ao Fofinho: pelo amor e companheirismo, por ser uma fonte inesgotável de motivação.

À minha mãe, Eliane, pelo exemplo, à tia Elizete, pela alegria e à tia Eliete, pelo coração de ouro.

À minha família: pelo carinho e por compreender minha ausência durante essa etapa.

À Rosana, Bituim, Neidoca e Maria da Lei: por todo apoio e mimo.

Aos amigos: Bia, Aninha, Laíze, Olla, Tuki, Ju, MaFe, Thais, Belo, Gorfo, Caio, Gibelli e PG, que são os presentes que ganhei ao longo dessa jornada.

## RESUMO

Uma atividade imprescindível para a exploração, planejamento de lavra e processamento mineral é a amostragem. Através desse processo, é possível caracterizar toda população através de pequenas partes (amostras). A amostragem é definida, portanto, pela redução do volume de um lote de material sem alterar suas características fundamentais. Para que as amostras sejam confiáveis e representativas, os erros do processo amostral devem ser evitados e/ou minimizados. Na Teoria da Amostragem de Pierre Gy comprova-se que dentre todos os erros possíveis, o erro fundamental de amostragem é o único que não pode ser eliminado, presente em todos os processos de amostragem. Uma vez que a heterogeneidade constitucional do minério constitui a principal fonte do erro de fundamental da amostragem por representar essencialmente a variabilidade da jazida, o trabalho proposto tem por objetivo estudar a heterogeneidade do minério de alumínio e da sílica de uma região no Oeste do Pará visando a calibrar as constantes de amostragem e otimizar o protocolo amostral por meio da minimização do erro fundamental de amostragem.

**PALAVRAS-CHAVE:** amostragem; heterogeneidade; minério de alumínio; bauxita; sílica.

## **ABSTRACT**

An essential activity for exploration, mine planning and mineral processing is sampling. Through this process, it is possible to characterize the entire population through small parts (samples). Sampling is defined as the process of reducing the volume of a batch of material without changing its fundamental characteristics. In order for the samples to be reliable and representative, sample process errors should be avoided and/or minimized. In Pierre Gy's Theory of Sampling, it is verified that, among all possible errors, the fundamental error of sampling is the only one that can not be eliminated and occurs in all the sampling processes. The constitutional heterogeneity of the ore is the main source of the fundamental sampling error, since represents, essentially, the variability of the deposit, the objective of this work is to study the heterogeneity of the aluminum ore and silica of a region in the West of Pará aiming to calibrate the sampling constants and to optimize the sampling protocol by minimizing the fundamental sampling error.

**KEY WORDS:** sampling; heterogeneity; aluminum ore; bauxite; silica.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - FLUXOGRAMA DOS ERROS AMOSTRAIS .....	14
FIGURA 2 - DRX DA BAUXITA.....	17
FIGURA 3 - USOS DA ALUMINA.....	18
FIGURA 4 - MATERIAL DA FRAÇÃO -12,7 +6,35 MM ESPALHADO PARA O TESTE DE HETEROGENEIDADE.....	20
FIGURA 5- CORRELAÇÃO ENTRE IHL E O DIÂMETRO DO FRAGMENTO – ALUMINA ÚMIDA.....	25
FIGURA 6 - CORRELAÇÃO ENTRE IHL E O DIÂMETRO DO FRAGMENTO – ALUMINA ÚMIDA CORRIGIDA.....	26
FIGURA 7 - CORRELAÇÃO ENTRE IHL E O DIÂMETRO DO FRAGMENTO – ALUMINA SECA.....	27
FIGURA 8 - CORRELAÇÃO ENTRE IHL E O DIÂMETRO DO FRAGMENTO – SÍLICA SECA.....	28
FIGURA 9 - CORRELAÇÃO ENTRE IHL E O DIÂMETRO DO FRAGMENTO – SÍLICA ÚMIDA.....	29
FIGURA 10 - FLUXOGRAMA SO PROTOCOLO AMOSTRAL ATUAL.....	30

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - TAMANHO DOS QUADRADOS PARA DISTRIBUIÇÃO DO LOTE .....	21
TABELA 2 - DIÂMETRO NOMINAL .....	24
TABELA 3 - EST IHL PARA ALUMINA ÚMIDA .....	25
TABELA 4 - EST IHL PARA ALUMINA SECA .....	27
TABELA 5 - EST IHL PARA SÍLICA SECA .....	28
TABELA 6 - EST IHL PARA SÍLICA ÚMIDA .....	29
TABELA 7 - VARIÂNCIAS DAS VARIÂNCIAS E DESVIOS PARA O PROTOCOLO ATUAL – ALUMINA .....	31
TABELA 8 - VARIÂNCIAS DAS VARIÂNCIAS E DESVIOS PARA O PROTOCOLO ATUAL – SÍLICA.....	31

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
1.1 OBJETIVO .....	9
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>10</b>
2.1 AMOSTRAGEM.....	10
2.2 ERROS DE AMOSTRAGEM .....	11
2.2.1 Erro fundamental de amostragem (FSE).....	11
2.2.2 Erro de segregação e agrupamento (GSE) .....	12
2.2.3 Erro de flutuação de heterogeneidade (HFE).....	13
2.2.4 Erro de materialização do incremento (IME) .....	13
2.2.5 Erro total de amostragem (TSE).....	13
2.2.6 Erro analítico (AE) e erro global de estimativa (OEE) .....	13
2.3 ERROS SISTEMÁTICOS E ALEATÓRIOS .....	14
2.4 A TEORIA DA AMOSTRAGEM.....	15
2.4.1 Heterogeneidade constitucional (CHL).....	15
2.4.2 Heterogeneidade distribucional (DHL) .....	15
2.5 TESTE DE HETEROGENEIDADE .....	16
2.6 MINÉRIO DE ALUMÍNIO .....	17
2.6.1 Depósitos de Bauxita .....	17
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>19</b>
3.1 COLETA DE AMOSTRA .....	19
3.2 PENEIRAMENTO .....	19
3.3 TESTE DE HETEROGENEIDADE .....	19
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>22</b>
4.1 FÓRMULA DE GY.....	22
4.1.1 Alumina .....	22
4.1.2 Sílica .....	23
4.2 FÓRMULA "CALIBRADA" DE GY .....	24
4.2.1 Alumina Úmida.....	25
4.2.2 Alumina Seca .....	27
4.2.3 Sílica Seca .....	28
4.2.4 Sílica Úmida.....	29
4.3 ANÁLISE DO PROTOCOLO AMOSTRAL.....	30

<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>33</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>34</b>
<b>APÊNDICE A – DADOS EXPERIMENTAIS ALUMINA SECA.....</b>	<b>36</b>
<b>APÊNDICE B – DADOS EXPERIMENTAIS ALUMINA ÚMIDA .....</b>	<b>37</b>
<b>APÊNDICE C – DADOS EXPERIMENTAIS SÍLICA ÚMIDA.....</b>	<b>38</b>
<b>APÊNDICE D – DADOS EXPERIMENTAIS SÍLICA SECA .....</b>	<b>39</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O processo amostral é necessário em toda a cadeia mineira, desde a exploração até a venda do produto final, pois através dele é possível caracterizar uma população através de uma pequena parte (amostra). É cabível, então, dizer que a amostra deve ser representativa, de forma que os resultados sejam confiáveis e precisos, logo, os erros nesse processo devem ser eliminados ou, ao menos, minimizados (CHIEREGATI e PITARD, 2012).

A teoria da amostragem (*Theory of Sampling* ou TOS) de Pierre-Gy tem como objetivo o controle dos processos da amostragem para que os resultados sejam representativos e confiáveis. Ou seja, se o processo amostral respeitar os aspectos científicos e os parâmetros pré-determinados, o único erro remanescente é o erro fundamental de amostragem (FSE), relacionado à heterogeneidade constitucional do minério (GY, 1998). O erro fundamental de amostragem surge da diferença entre o teor da população e o da amostra coletada para representar aquela população. Ele é considerado o menor erro existente se o processo amostral for ideal, onde os fragmentos são amostrados um a um, aleatoriamente. (FRANÇOIS-BONGARÇON; GY, 2002 apud CHIEREGATI e PITARD, 2012).

O teste de heterogeneidade realizado nesse estudo possibilita a calibração dos parâmetros de amostragem,  $K$  e  $\alpha$ , utilizados para calcular a variância do erro fundamental da amostragem, proposto por Pierre Gy. Esta calibração deve ser realizada para cada tipo específico de minério, pois permite o cálculo correto do erro fundamental de amostragem para cada etapa do processo e, portanto, a otimização do protocolo de amostragem.

### 1.1 OBJETIVO

O presente trabalho de conclusão de curso tem como principal objetivo demonstrar a importância da calibração da fórmula de Gy ao obter os parâmetros de amostragem  $K$  e  $\alpha$  para o minério de alumínio e sílica da região do Oeste do Pará, úmido e seco, a fim de calcular a variância do erro fundamental da amostragem e otimizar os protocolos de amostragem da operação.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 AMOSTRAGEM

Amostragem é, no sentido amplo, a sequência de operações, seletivas ou não, com a finalidade de retirar uma ou várias amostras de um lote de material, ou população. No sentido estrito, ela é caracterizada como o processo de seleção de um lote, a fim de reduzir seu volume sem alterar significativamente suas características (GY, 1992). Essa parte reduzida é denominada amostra.

Segundo Chierigati e Pitard (2012), amostra é uma parte da população que deveria ter as características – teor, granulometria, cor, umidade e quaisquer outros atributos – comuns a toda população dentro de um intervalo aceitável de precisão e acurácia. O objetivo da amostragem é, portanto, garantir que a amostra seja representativa do lote amostrado.

Uma amostra é dita precisa quando o erro de amostragem ou de seleção (SE) é pouco disperso ao redor de sua média, observado através da variância  $s^2(SE)$ , e é dita acurada quando esse erro tem uma média  $m(SE)$  próxima de zero (CHIEREGATI, 2007).

Quanto à representatividade, a mesma será considerada adequada se a soma do quadrado da média real do erro de amostragem e da variância do erro de amostragem for menor que um dado valor padrão de representatividade  $r_0^2(SE)$  (CHIEREGATI, 2007), conforme equação abaixo:

$$m^2(SE) + s^2(SE) \leq r_0^2(SE)$$

Na mineração, as amostras indicam as características do minério e sua variabilidade, sendo utilizadas como base de dados para o planejamento, a implantação e otimização de processos na mina e na usina.

O processo amostral pode ocorrer de duas formas (CHIEREGATI e PITARD, 2012):

- Por incrementos: seleção de incrementos em determinados intervalos de tempo ou distância, que serão posteriormente unidos aos demais para a formação de uma amostra final;
- Por fracionamento: divisão de toda a população em duas ou mais partes iguais (alíquotas), sequencialmente, até chegar a uma amostra final.

## 2.2 ERROS DE AMOSTRAGEM

O erro total de amostragem é definido como a somatória de diversos erros independentes.

### 2.2.1 Erro fundamental de amostragem (FSE)

Se a amostragem é aleatória e os fragmentos têm a mesma probabilidade de seleção, surge um erro de amostragem entre o teor do lote e o da amostra. Esse erro é chamado de erro fundamental de amostragem (*fundamental sampling error* ou FSE), considerado o menor erro existente se o processo amostral for ideal. (FRANÇOIS-BONGARÇON;GY, 2002 APUD CHIEREGATI e PITARD, 2012).

Esse erro é caracterizado por sua variância, calculada pela “fórmula de Gy”, representada a seguir, uma vez que sua média tem um valor muito baixo, considerado insignificante.

$$s_{FSE}^2 = c \times f \times g \times l \times d^3 \times \left( \frac{1}{M_s} - \frac{1}{M_L} \right)$$

Sendo:

- $s_{FSE}^2$  é a variância relativa do erro fundamental de amostragem,
- $d$  é o tamanho máximo dos fragmentos, ou  $d_{95}$ ,
- $c$  é o fator mineralogia, calculado por:

$$c = \gamma_M \frac{(1 - a_L)^2}{a_L} + \gamma_g (1 - a_L)$$

- $\gamma_M$  é a densidade do mineral de interesse
- $\gamma_g$  é a densidade média dos minerais de ganga
- $a_L$  é o teor do mineral de interesse no lote, em decimal.
- $f$  é o fator forma, onde:
  - $f = 0,1$  para minerais laminares
  - $f = 0,2$  para materiais moles e submetidos a tensões mecânicas
  - $f = 0,5$  para a maioria dos minerais (GY, 1967 apud CHIEREGATI e PITARD, 2012)
  - $f = 0,523$  para fragmentos esféricos

- $1 < f < 10$  para minerais aciculares
- $g$  é o fator granulometria
  - $g = 0,25$  para minerais não calibrados
  - $g = 0,55$  para materiais calibrados (resultantes do peneiramento entre duas malhas)
  - $g = 0,75$  para materiais naturalmente calibrados (grãos)
- $l$  é o fator liberação
 

São diversas as formas de calcular esse fator, logo, por ser difícil estimá-lo, a prática comum é atribuir um valor conforme o grau de heterogeneidade do material:

  - $l = 0,05$  – materiais muito homogêneos
  - $l = 0,10$  – materiais homogêneos
  - $l = 0,20$  – materiais medianos
  - $l = 0,40$  – materiais heterogêneos
  - $l = 0,80$  – materiais muito heterogêneos
- $M_s$  é a massa da amostra
- $M_L$  é a massa do lote.

Os testes de heterogeneidade são realizados para minimizar o FSE ao calibrar a fórmula de Gy ao minério específico.

É importante ressaltar que a fórmula de Gy também permite o cálculo da massa mínima representativa  $M_{smín}$  para uma variância máxima pré-definida.

### 2.2.2 Erro de segregação e agrupamento (GSE)

Ao se coletar um incremento para formar uma amostra, este é composto por vários fragmentos, logo, a amostra é composta por grupos aleatórios de fragmentos e não por fragmentos aleatórios estritamente. Por consequência, acrescenta-se um erro a esta seleção denominado erro de segregação e agrupamento (*grouping and segregation error* ou GSE). (CHIEREGATI, 2007). Por consequência, quanto maior o grupo de fragmentos, maior será esse erro.

### 2.2.3 Erro de flutuação de heterogeneidade (HFE)

Segundo Chierigati e Pitard (2012), esse erro é calculado como a soma de dois erros complementares:

- Erro de flutuação da qualidade (QFE), relacionado à variação de teor;
- Erro de flutuação da quantidade ou erro de ponderação (IWE), relacionado à variação de massa.

Ambos têm três componentes de variação: curto prazo, longo prazo e periódicos.

É importante ressaltar que o erro fundamental da amostragem (FSE) e o erro de segregação e agrupamento (GSE) estão inclusos no componente de curto prazo.

O erro de ponderação é desprezível se a amostragem for proporcional.

### 2.2.4 Erro de materialização do incremento (IME)

A materialização dos grupos de fragmentos fornece os incrementos de uma amostra. Esse processo inclui a delimitação do incremento seguida da extração do mesmo através de operações que geram erros. Define-se, então, o erro de materialização do incremento (*increment materialization error* ou IME) como a soma dos erros de delimitação (IDE), extração (IEE) e preparação (IPE) (CHIERIGATI e PITARD, 2012)

### 2.2.5 Erro total de amostragem (TSE)

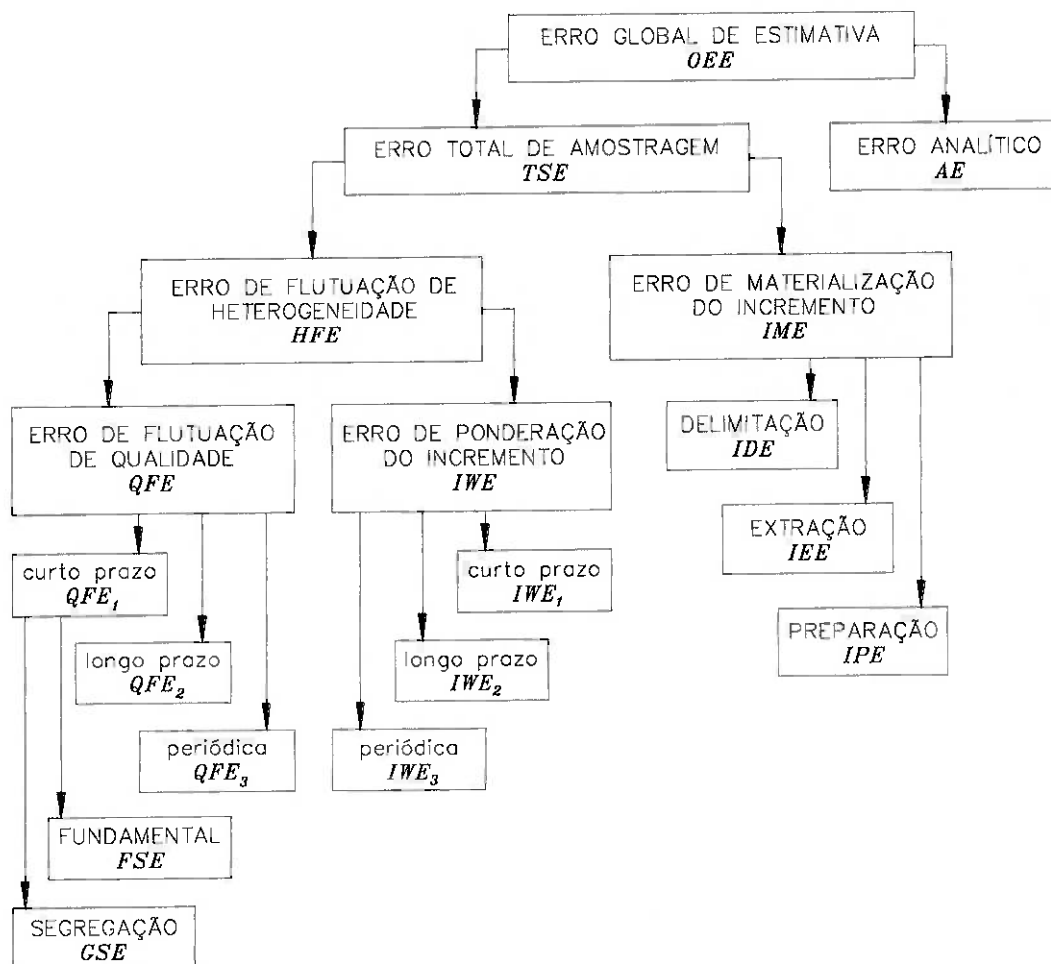
Segundo Chierigati e Pitard (2012), o erro total de amostragem (*total sampling error* ou TSE) é a soma do erro de flutuação da heterogeneidade (HFE) com o erro de materialização do incremento (IME).

### 2.2.6 Erro analítico (AE) e erro global de estimativa (OEE)

O erro analítico (*analytical error* ou AE) é o erro nas etapas de análise dos procedimentos executados. Portanto, o erro global de estimativa (*overall estimation*

error ou OEE) é a soma do erro total de amostragem (TSE) com o erro analítico (AE). O fluxograma a seguir representa a hierarquia dos erros amostrais e químicos.

**Figura 1 - Fluxograma dos erros amostrais**



(CHIEREGATI, 2007)

### 2.3 ERROS SISTEMÁTICOS E ALEATÓRIOS

Os erros no processo amostral são considerados aleatórios ou sistemáticos.

Segundo Chierigati e Pitard (2012), erros aleatórios são inevitáveis e a única alternativa é minimizá-los e aprender a lidar com eles. Já os erros sistemáticos devem ser eliminados, uma vez que geram viés.

## 2.4 A TEORIA DA AMOSTRAGEM

A teoria da amostragem (*Theory of Sampling* ou TOS), criada por Pierre Gy, visa ao controle dos componentes do erro total de amostragem para a confiabilidade dos resultados. Ou seja, se o processo amostral respeitar os aspectos científicos e os parâmetros pré-determinados, o único erro remanescente será o erro fundamental de amostragem, relacionado à heterogeneidade constitucional do minério (GY, 1998).

Existem dois tipos de heterogeneidade, a constitucional e a distribucional.

### 2.4.1 Heterogeneidade constitucional ( $CH_L$ )

A heterogeneidade constitucional ( $CH_L$ ) ocorre quando as propriedades fundamentais dos fragmentos da amostra são comparadas fragmento por fragmento. Por definição, esse valor seria zero apenas se os fragmentos que constituem a amostra fossem idênticos em todas as suas características fundamentais. Portanto, a heterogeneidade constitucional relativa aos fragmentos de um lote, a um determinado grau de cominuição, é uma propriedade intrínseca do lote e não pode variar, a não ser que seja realizada outra etapa de cominuição (PITARD, 1993). Misturas ou homogeneizações não têm influência na heterogeneidade constitucional.

### 2.4.2 Heterogeneidade distribucional ( $DH_L$ )

Para esse tipo de heterogeneidade ( $DH_L$ ), considera-se que o lote é uma série de grupos e cada grupo é formado por um número determinado de fragmentos vizinhos. Por definição, um lote é considerado homogêneo se todos os grupos ou fragmentos que possam ser selecionados têm a mesma composição média (PITARD, 1993). Logo,  $DH_L$  é a diferença entre incrementos do lote. É possível dizer então que, quanto melhor for a homogeneização do lote, menor é a heterogeneidade distribucional.

## 2.5 TESTE DE HETEROGENEIDADE

A fórmula de Gy, apesar de permitir o cálculo da variância do erro fundamental de amostragem em qualquer etapa do processo, é limitada quando se utilizam os fatores definidos por Gy para cada tipo de minério. A fórmula de Gy deve ser calibrada para cada minério específico e, para isto, realiza-se o teste de heterogeneidade para estimar as constantes  $k$  (multiplicação dos fatores de Gy) e  $\alpha$  (expoente da fórmula cúbica original de Gy), utilizadas na fórmula a seguir:

$$s^2 = k d^\alpha \left( \frac{1}{M_s} - \frac{1}{M_L} \right)$$

Para se estimarem as constantes  $k$  e  $\alpha$  é necessário calcular o “fator constante de heterogeneidade constitucional” ( $IH_L$ ) e o diâmetro nominal dos fragmentos ( $d$ ).

Segundo Pitard (1993), a estimativa do fator  $IH_L$  é dada através da fórmula:

$$EST\ IH_L = g \sum_i \frac{(a_i - a_L)^2 M_s^2}{a_L^2 M_L}$$

Sendo:

- $g$  = o fator granulométrico (explicado no item 2.2.1.);
- $a_i$  = o teor da amostra;
- $a_L$  = o teor médio do lote

$$a_L = \frac{1}{M_L} \sum a_i \times M_s$$

- $M_s$  = a massa da amostra;
- $M_L$  = a massa média do lote.

Já para o diâmetro nominal, utiliza-se a fórmula:

$$d = \sqrt[3]{\frac{d_1^3 + d_2^3}{2}}$$

Sendo  $d_1$  e  $d_2$  as aberturas das malhas utilizadas no peneiramento (superior e inferior) em centímetro.

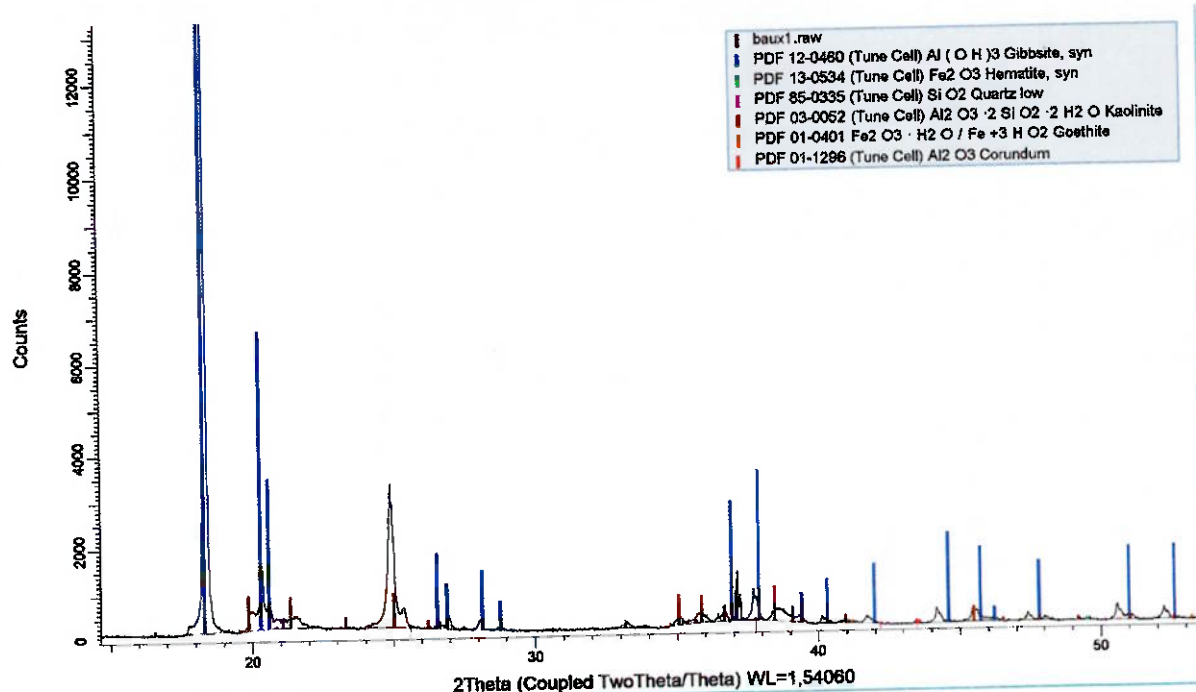
Com os dados de  $EST\ IH_L$  e  $d$  obtidos, traça-se um gráfico di-log, no qual é possível estimar  $k$  e  $\alpha$  através da linha de tendência de potência.

## 2.6 MINÉRIO DE ALUMÍNIO

### 2.6.1 Depósitos de Bauxita

As formações dos depósitos lateríticos de alumínio (bauxita), encontrados principalmente em regiões tropicais e subtropicais do planeta, podem ocorrer a partir da intemperização de aluminossilicatos, e os principais minerais encontrados são: gibbsita ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ), caulinita ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ), hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), goethita ( $\text{Fe}^{3+}\text{O}(\text{OH})$ ) e alumina/corundum ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), como observado na análise de uma amostra de bauxita por difração de raio x representada a seguir:

Figura 2 - DRX da bauxita



(acervo pessoal)

Segundo o relatório de 2017 da Associação Brasileira do Alumínio<sup>1</sup>, é a partir da bauxita que se obtém o alumínio, o terceiro elemento em maior abundância na crosta terrestre, perdendo apenas para o oxigênio e o silício. Além disso, para que essa produção seja viável, o teor de óxido de alumínio (alumina) deve ser no mínimo 30%. Estima-se que para uma tonelada de alumínio são necessárias duas toneladas de alumina e, conseqüentemente, de 5 a 7 toneladas de bauxita. As reservas

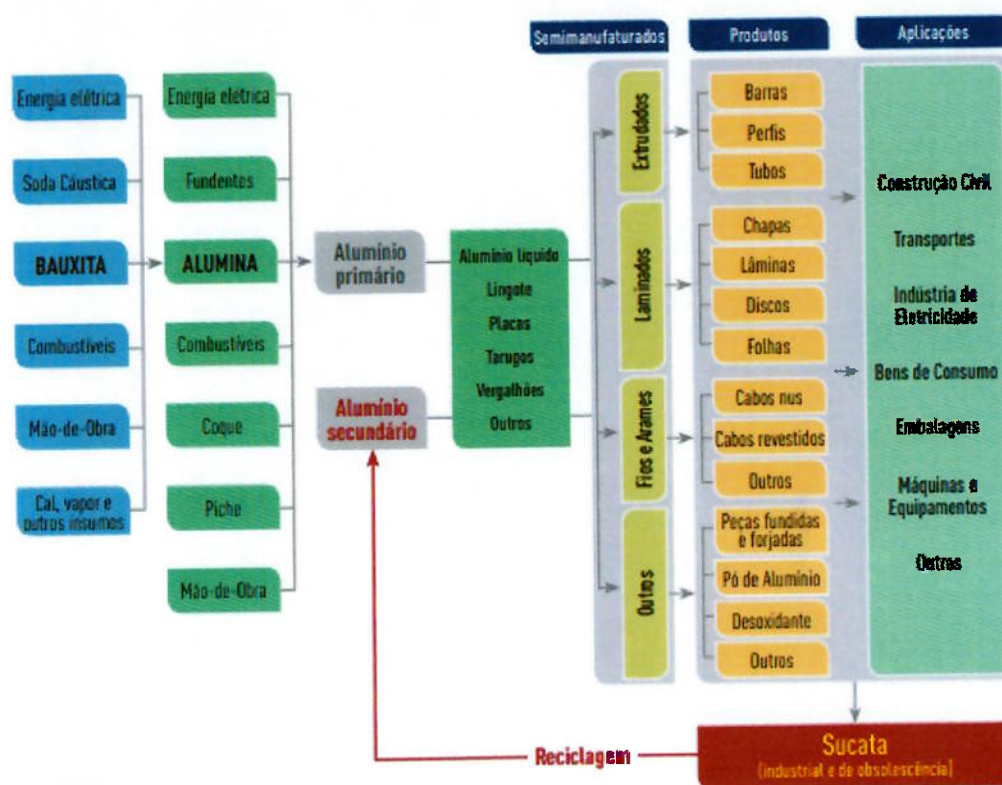
<sup>1</sup> [http://www.abal.org.br/downloads/ABAL\\_Relatorio\\_Bauxita\\_2017\\_1.pdf](http://www.abal.org.br/downloads/ABAL_Relatorio_Bauxita_2017_1.pdf)

mundiais tem em torno de 70 bilhões de toneladas de bauxita e com base nas atuais taxas de consumo e níveis de aproveitamento, essa reserva é suficiente para suprir a demanda do mercado por até 300 anos.

As reservas brasileiras tem teor de alumina maior que 40% e estão entre as maiores do mundo. No Brasil, a lavra da bauxita é feita a céu aberto e o beneficiamento do minério, apesar de variar com o teor, não exige tratamentos elaborados. Além disso, é o terceiro recurso natural (em volume) mais produzido no Brasil, ficando atrás apenas dos agregados para construção civil e do minério de ferro. (Abal, 2017).

Na figura 3 estão ilustrados os principais usos da alumina.

**Figura 3 - Usos da alumina**



Fonte: Abal.

(Relatório Abal 2017)

### **3. METODOLOGIA**

As etapas da metodologia empregada neste trabalho estão descritas a seguir.

#### **3.1 COLETA DE AMOSTRA**

O material selecionado para o teste referiu-se a um total de aproximadamente 500 kg de minério (seco e úmido) coletado na torre de amostragem do porto de uma mina localizada na região oeste do Pará

#### **3.2 PENEIRAMENTO**

Após o recebimento da amostra, todo minério passou por britagem abaixo de 1" e peneiramento, nas seguintes faixas granulométricas:

- -25,4 mm + 12,7 mm;
- -12,7 mm + 6,35 mm;
- -6,35 mm + 4,75 mm;
- -4,75 mm + 3,35 mm.

#### **3.3 TESTE DE HETEROGENEIDADE**

O teste de heterogeneidade consiste na coleta de fragmentos aleatórios um a um, simulando um procedimento ideal de amostragem. Para tal, os lotes são homogeneizados e distribuídos em uma superfície lisa (mesa), de forma que todos os fragmentos sejam acessíveis e tenham a mesma probabilidade de seleção. Essa distribuição é feita em malha e, para cada amostra, é selecionado um fragmento de cada quadrado da malha. Na figura 4, está representada, a distribuição da fração - 12,7 mm + 6,35 mm usada no teste de heterogeneidade do minério estudado nesse trabalho.

**Figura 4 - Material da fração  $-12,7 +6,35$  mm espalhado para o teste de heterogeneidade**



**(Ana Carolina Chieregati, acervo pessoal)**

Segundo Pitard (1993), o número mínimo de pontos (ou frações granulométricas) para a calibração das constantes  $K$  e  $\alpha$  é 3, visando minimizar o efeito de um único ponto fora da curva (*outlier*) cujo desvio possa ter sido ocasionado pelo efeito pepita ou eventual erro de preparação ou análise química. Fragmentos abaixo de 2 mm são muito difíceis de serem coletados um a um individualmente, portanto, não se trabalha com frações granulométricas abaixo de 2 mm. Frações acima de 1" exigiriam uma massa inicial muito grande de material para o teste, além de gerar amostras individuais com massas elevadas para o tratamento no laboratório físico, o qual poderia inserir erros adicionais durante a preparação da amostra, mascarando o real erro fundamental de amostragem. Por estes motivos, são usadas somente 3 ou 4 frações granulométricas para o teste de heterogeneidade. Existem testes alternativos ("*Sampling Tree Experiment*" e "*Segregation Free Analysis*") que consideram frações mais finas para a calibração das constantes, fazendo uso de divisores rotativos ou do tipo Jones em vez da coleta de fragmentos individuais. Entretanto, esses testes não isolam o erro fundamental de amostragem.

É importante ressaltar que os quadrados das malhas variam de tamanho de acordo com a fração granulométrica. Essa variação está representada na Tabela 1:

**Tabela 1 - Tamanho dos quadrados para distribuição do lote**

<b>Lote</b>	<b>Lado do quadrado (mm)</b>
-25,4mm + 12,7mm;	300
-12,7mm + 6,35mm;	200
-6,35mm + 4,75mm;	100
-4,75mm + 3,35mm	100

**(Elaborado pela autora)**

Para cada fração granulométrica, são coletadas 50 amostras, cada uma contendo uma quantidade de fragmentos igual à quantidade de quadrados da malha. Essas amostras são pesadas, cominuídas, pulverizadas e enviadas para análise química, onde é possível determinar o teor de alumina e sílica.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 FÓRMULA DE GY

Nessa etapa do trabalho, calcularam-se os parâmetros para a fórmula de Gy conforme descrito no item 2.2.1., tanto para alumina aproveitável quanto para sílica reativa.

#### 4.1.1 Alumina

Baseado na fórmula a seguir:

$$s_{FSE}^2 = c \times f \times g \times l \times d^3 \times \left( \frac{1}{M_s} - \frac{1}{M_L} \right)$$

- $s_{FSE}^2$  é a variância relativa do erro fundamental de amostragem;
- $d$  é o tamanho máximo dos fragmentos, ou  $d_{95}$ ;
- $c$  é o fator mineralogia, calculado por:

$$c = \gamma_M \frac{(1 - a_L)^2}{a_L} + \gamma_g (1 - a_L)$$

- $\gamma_M$  é a densidade do mineral de interesse (alumina) = 3,98g/cm<sup>3</sup><sup>2</sup>
- $\gamma_g$  é a densidade média dos minerais de ganga (sílica) = 2,66g/cm<sup>3</sup><sup>3</sup>
- $a_L$  é o teor do mineral de interesse no lote, em decimal = 53,23%  
(Apêndice A)

$$c = 3,98 \frac{(1 - 0,5323)^2}{0,5323} + 2,66(1 - 0,5323) = 2,88$$

- $f$  é o fator forma = 0,5 para a maioria dos minerais ;
- $g$  é o fator granulometria = 0,55 (materiais calibrados)
- $l$  é o fator liberação = 0,20 (materiais medianos)
- $M_s$  é a massa da amostra
- $M_L$  é a massa do lote.

<sup>2</sup> Dado de relatório interno confidencial

<sup>3</sup> Dado de relatório interno confidencial

Sendo então a fórmula de Gy, para a alumina:

$$s_{FSE}^2 = 2,88 \times 0,5 \times 0,55 \times 0,20 \times d^3 \times \left( \frac{1}{M_s} - \frac{1}{M_L} \right)$$

$$s_{FSE}^2 = 0,1584d^3 \left( \frac{1}{M_s} - \frac{1}{M_L} \right)$$

#### 4.1.2 Sílica

Com a fórmula de Gy, temos:

$$s_{FSE}^2 = c \times f \times g \times l \times d^3 \times \left( \frac{1}{M_s} - \frac{1}{M_L} \right)$$

- $s_{FSE}^2$  é a variância relativa do erro fundamental de amostragem;
- $d$  é o tamanho máximo dos fragmentos, ou  $d_{95}$ ;
- $c$  é o fator mineralogia, calculado por:

$$c = \gamma_M \frac{(1 - a_L)^2}{a_L} + \gamma_g (1 - a_L)$$

- $\gamma_M$  é a densidade do mineral de interesse (sílica) = 2,66g/cm<sup>3</sup> <sup>4</sup>
- $\gamma_g$  é a densidade média dos minerais de ganga (alumina) = 3,98g/cm<sup>3</sup> <sup>5</sup>
- $a_L$  é o teor do mineral de interesse no lote, em decimal = 4,01%  
(Apêndice D)

$$c = 2,66 \frac{(1 - 0,0401)^2}{0,0401} + 3,98(1 - 0,0401) = 64,94$$

- $f$  é o fator forma = 0,5 para a maioria dos minerais ;
- $g$  é o fator granulometria = 0,55 (materiais calibrados)
- $l$  é o fator liberação = 0,20 (materiais medianos)
- $M_s$  é a massa da amostra
- $M_L$  é a massa do lote.

Sendo então a fórmula de Gy, para a sílica reativa:

---

<sup>4</sup> Dado de relatório interno confidencial

<sup>5</sup> Dado de relatório interno confidencial

$$s_{FSE}^2 = 64,94 \times 0,5 \times 0,55 \times 0,20 \times d^3 \times \left( \frac{1}{M_S} - \frac{1}{M_L} \right)$$

$$s_{FSE}^2 = 3,5717d^3 \left( \frac{1}{M_S} - \frac{1}{M_L} \right)$$

## 4.2 FÓRMULA “CALIBRADA” DE GY

Seguindo o procedimento descrito no item 2.5, calcularam-se os diâmetros nominais de acordo com a fórmula:

$$d = \sqrt[3]{\frac{d_1^3 + d_2^3}{2}}$$

Sendo  $d_1$  e  $d_2$  as aberturas das malhas utilizadas no peneiramento, representadas na tabela 2:

**Tabela 2 - diâmetro nominal**

$- d_1 + d_2$ (cm)	$d$ (cm)
- 2,54 + 1,27	2,097
- 1,27 + 0,635	1,048
- 0,635 + 0,475	0,566
- 0,475 + 0,335	0,417

(Elaborado pela autora)

Analogamente, para  $EST IH_L$ , utilizou-se a fórmula a seguir, também explicada no item 2.5:

$$EST IH_L = g \sum_i \frac{(a_i - a_L)^2 M_S^2}{a_L^2 M_L}$$

Sendo:

- $g$  = o fator granulométrico

De acordo com a revisão bibliográfica no 2.2.1., o fator  $g$  utilizado é 0,55, uma vez que a amostra foi peneirada entre duas malhas.

- Os valores de  $a_i$ ,  $a_L$ ,  $M_S$  e  $M_L$  estão nos Apêndice A, B, C e D.

#### 4.2.1 Alumina Úmida

Os resultados de  $EST\ IH_L$  para cada fração granulométrica da alumina úmida estão representados na tabela 3:

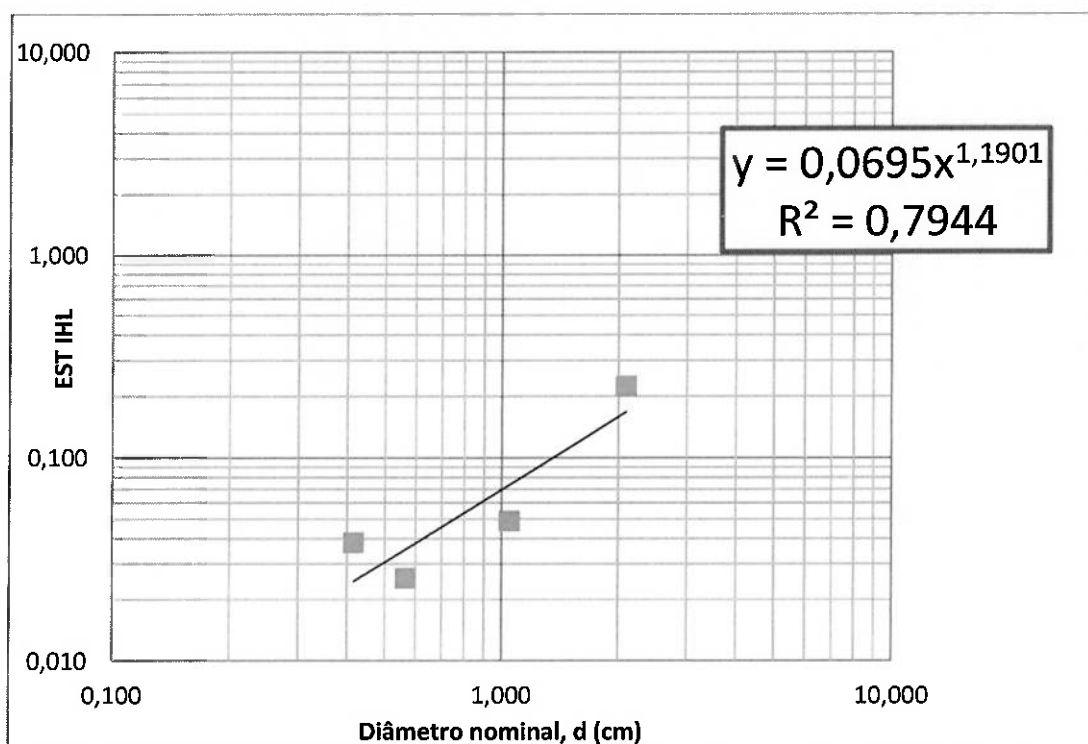
**Tabela 3 - EST IHL para Alumina úmida**

d (cm)	EST $IH_L$
2,097	0,226
1,048	0,049
0,566	0,025
0,417	0,038

(Elaborado pela autora)

Com os dados da tabela 3, traçou-se o gráfico di-log, representado na figura 5:

**Figura 5- Correlação entre IHL e o diâmetro do fragmento – Alumina úmida**

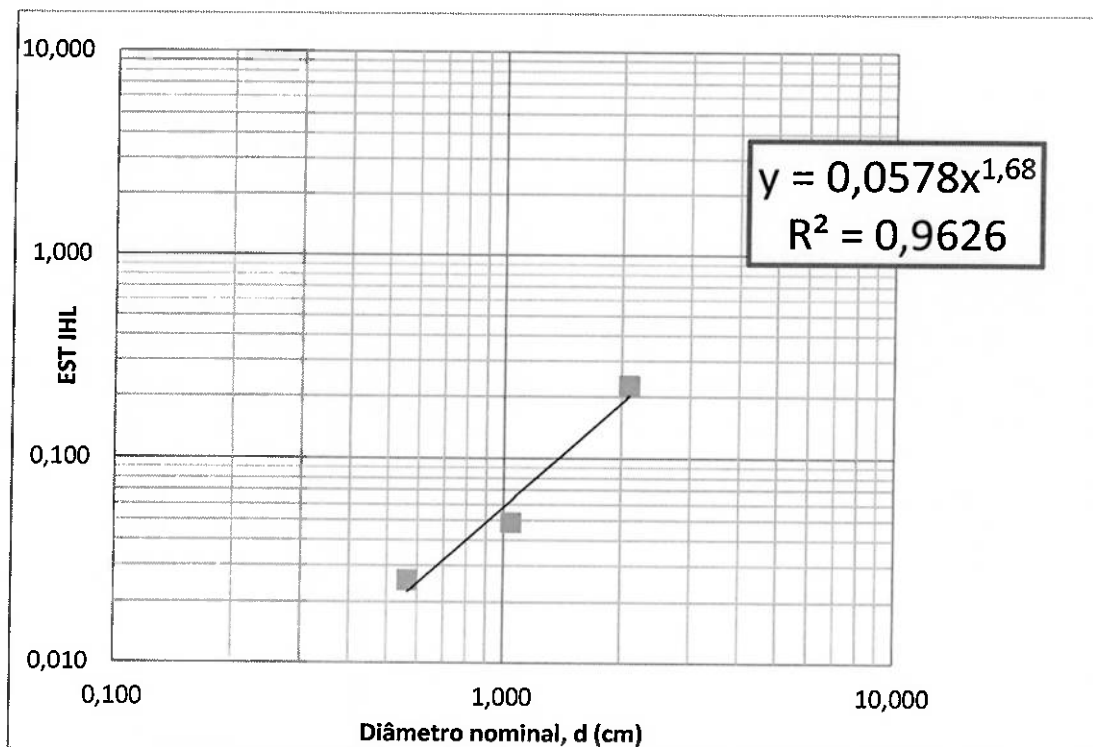


(Elaborado pela autora)

Devido à variância elevada da menor fração do teste para o minério úmido e, conseqüentemente, o valor baixo do coeficiente de Pearson ( $R^2$ ) para a reta de calibração dos parâmetros  $K$  e  $\alpha$  para a alumina úmida, eliminou-se a primeira

fração e reconstruiu-se o gráfico de heterogeneidade conforme representado na figura 6:

**Figura 6 - Correlação entre IHL e o diâmetro do fragmento – Alumina úmida corrigida**



(Elaborado pela autora)

O novo gráfico apresenta um coeficiente maior que 0,95, valor este considerado o mínimo aceitável para o ajuste da reta de regressão. Salienta-se que é preferível eliminar uma determinada fração para a calibração dos parâmetros do que excluir os possíveis valores anômalos (*outliers*), visto que dificilmente se consegue comprovar que determinado teor foi resultado de um erro de preparação ou análise da amostra. Por este motivo, realiza-se o teste para 4 frações granulométricas.

Através da equação de reta fornecida pela linha potencial de tendência do gráfico, obtêm-se:

$$k = 0,0578 \text{ e } \alpha = 1,68$$

Sendo então, a fórmula calibrada de Gy, para o minério estudado:

$$s^2 = 0,0578 d^{1,68} \left( \frac{1}{M_s} - \frac{1}{M_L} \right)$$

#### 4.2.2 Alumina Seca

Os resultados de  $EST\ IH_L$  para cada fração granulométrica da alumina seca estão representados na tabela 4:

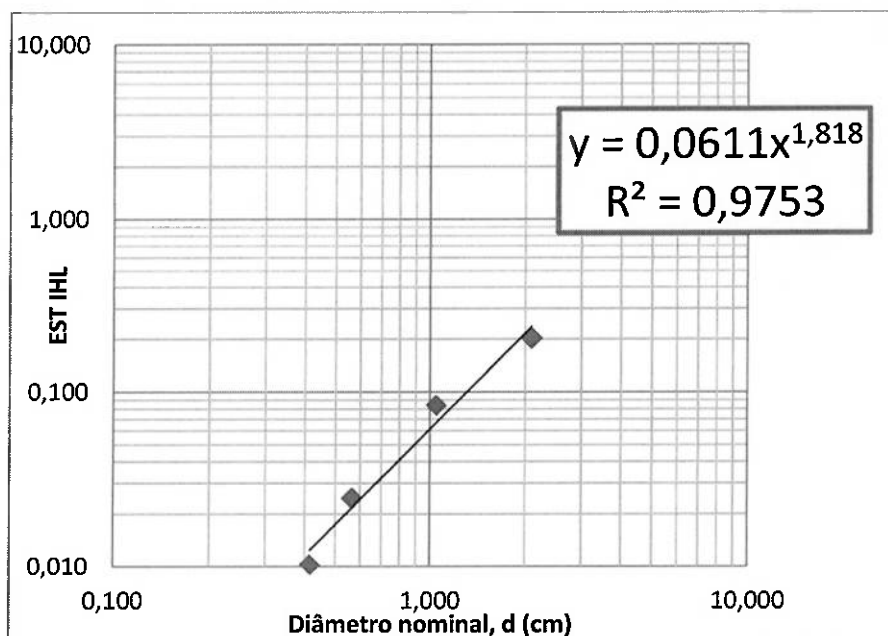
**Tabela 4 - EST IHL para Alumina Seca**

d (cm)	EST $IHL$
2,097	0,202
1,048	0,083
0,566	0,025
0,417	0,010

(Elaborado pela autora)

Com os dados da tabela 4, traçou-se o gráfico di-log, representado na figura 7:

**Figura 7 - Correlação entre IHL e o diâmetro do fragmento – Alumina seca**



(Elaborado pela autora)

Através da equação de reta fornecida pela linha potencial de tendência do gráfico, obtêm-se:

$$k = 0,0611 \text{ e } \alpha = 1,818$$

Sendo então, a fórmula calibrada de Gy, para o minério estudado:

$$s^2 = 0,0611 d^{1,818} \left( \frac{1}{M_s} - \frac{1}{M_L} \right)$$

### 4.2.3 Sílica Seca

Os resultados de  $EST\ IH_L$  para cada fração granulométrica da sílica úmida estão representados na tabela 5:

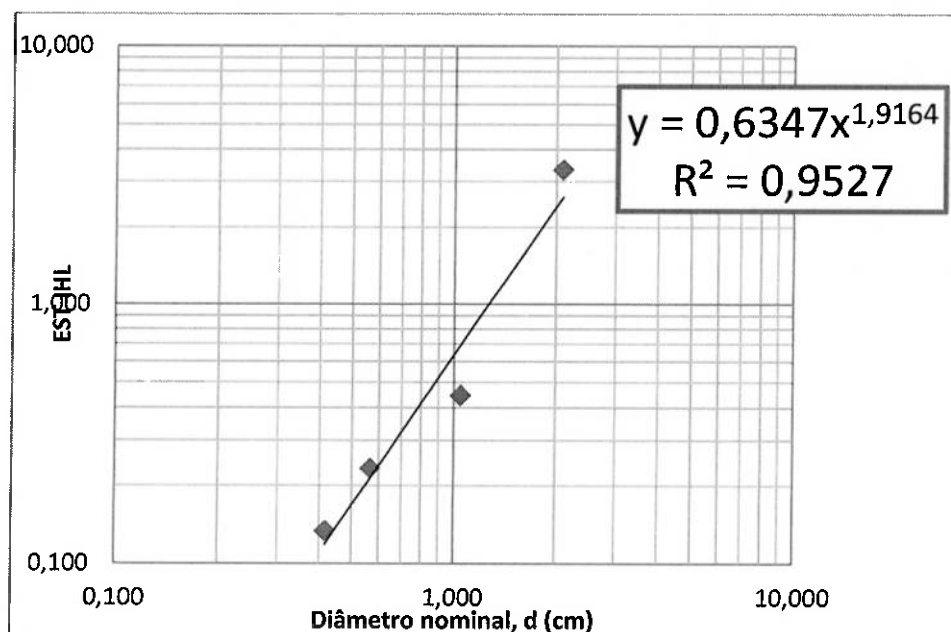
**Tabela 5 - EST IHL para Sílica Seca**

d (cm)	EST $IH_L$
2,097	3,329
1,048	0,444
0,566	0,234
0,417	0,134

(Elaborado pela autora)

Com os dados da tabela 5, traçou-se o gráfico di-log, representado na figura 8:

**Figura 8 - Correlação entre IHL e o diâmetro do fragmento – Sílica seca**



(Elaborado pela autora)

Através da equação de reta fornecida pela linha potencial de tendência do gráfico, obtêm-se:

$$k = 0,6347 \text{ e } \alpha = 1,9164$$

Sendo então, a fórmula calibrada de Gy, para o minério estudado:

$$s^2 = 0,6347 d^{1,9164} \left( \frac{1}{M_s} - \frac{1}{M_L} \right)$$

#### 4.2.4 Sílica Úmida

Os resultados de  $EST\ IH_L$  para cada fração granulométrica da sílica seca estão representados na tabela 6:

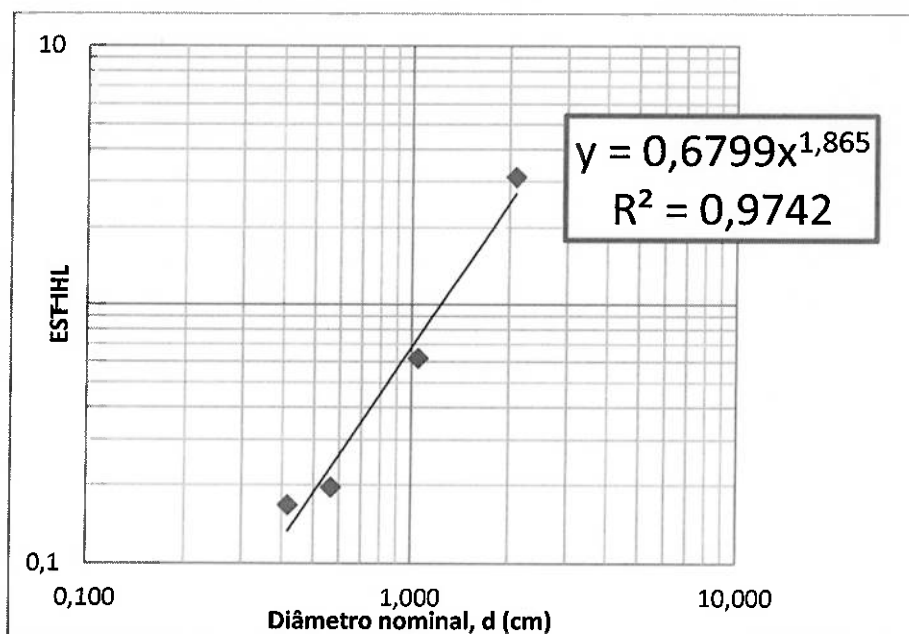
**Tabela 6 - EST IHL para Sílica Úmida**

d (cm)	EST $IHL$
2,097	3,115
1,048	0,616
0,566	0,196
0,417	0,167

(Elaborado pela autora)

Com os dados da tabela 6, traçou-se o gráfico di-log, representado na figura 9:

**Figura 9 - Correlação entre IHL e o diâmetro do fragmento – Sílica úmida**



(Elaborado pela autora)

Através da equação de reta fornecida pela linha potencial de tendência do gráfico, obtêm-se:

$$k = 0,6799 \text{ e } \alpha = 1,865$$

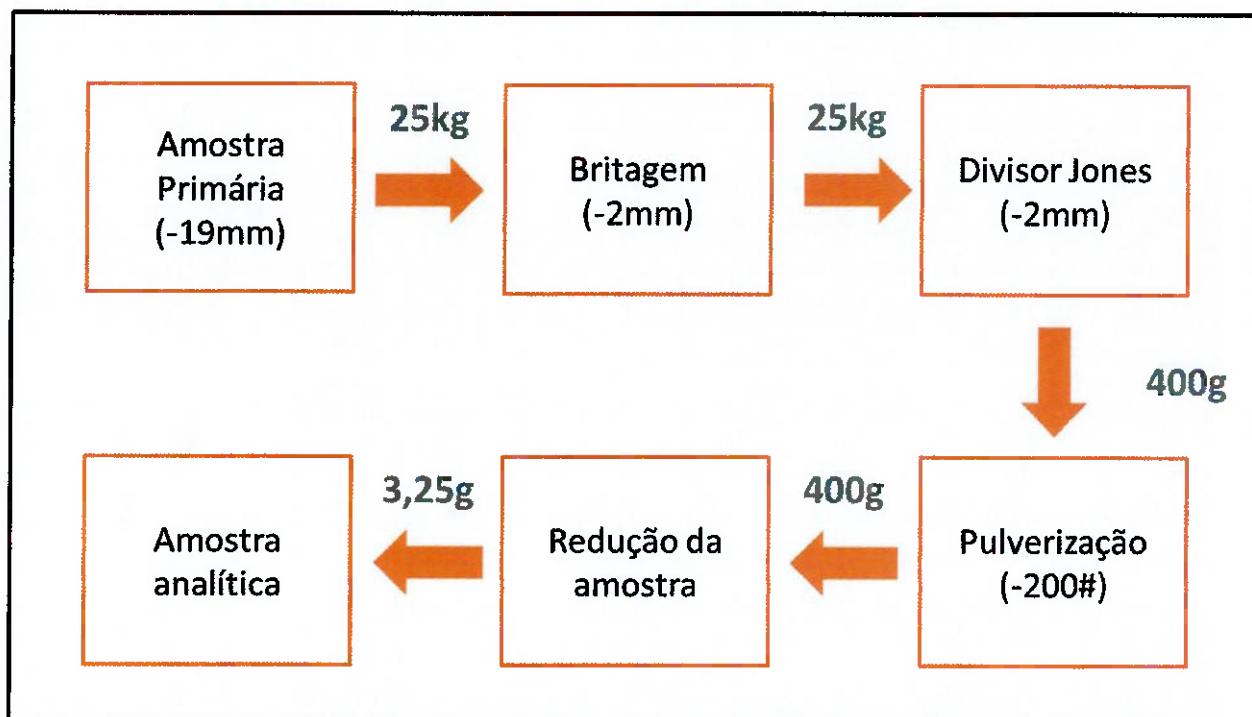
Sendo então, a fórmula calibrada de Gy, para o minério estudado:

$$s^2 = 0,6799 d^{1,865} \left( \frac{1}{M_s} - \frac{1}{M_L} \right)$$

### 4.3 ANÁLISE DO PROTOCOLO AMOSTRAL

O atual protocolo amostral utilizado na região Oeste do Pará está de acordo com o seguinte fluxograma:

Figura 10 - Fluxograma do protocolo amostral atual



(Elaborado pela autora)

As Tabelas 7 e 8 apresentam os cálculos das variâncias relativas do erro fundamental de amostragem  $s_{FSE}^2$  e dos desvios relativos  $s_{FSE}$  para o atual protocolo de preparação de amostras, sem o teste de heterogeneidade (Gy) e com os parâmetros de heterogeneidade calibrados para o minério seco e para o minério úmido sem a menor fração, respectivamente.

Tabela 7 - Variâncias e desvios para o protocolo atual – Alumina

	$M_L$	$M_s$	d (cm)	$S_{FSE}^2$ Gy	$S_{FSE}$ Gy	$S_{FSE}^2$ Alumina Seca	$S_{FSE}$ Alumina seca	$S_{FSE}^2$ Alumina úmida	$S_{FSE}$ Alumina úmida
Amostra Primária	50000000	25000	1,91	0,000044	0,66%	0,000008	0,28%	0,000007	0,26%
Britador	25000	25000	0,2	0,000000	0,00%	0,000000	0,00%	0,000000	0,00%
1º quarteamo	25000	2000	0,2	0,000001	0,08%	0,000002	0,12%	0,000002	0,13%
2º quarteamo	2000	400	0,2	0,000003	0,16%	0,000007	0,26%	0,000008	0,28%
Pulverização	400	400	0,0074	0,000000	0,00%	0,000000	0,00%	0,000000	0,00%
Amostra Analítica	400	3,25	0,0074	0,000000	0,01%	0,000002	0,16%	0,000005	0,22%
<b>TOTAL</b>				0,000047	0,69%	0,000018	0,43%	0,000021	0,46%

(Elaborado pela autora)

Tabela 8 - Variâncias e desvios para o protocolo atual – Sílica

	$M_L$	$M_s$	d (cm)	$S_{FSE}^2$ Gy	$S_{FSE}$ Gy	$S_{FSE}^2$ Sílica Seca	$S_{FSE}$ Sílica seca	$S_{FSE}^2$ Sílica úmida	$S_{FSE}$ Sílica úmida
Amostra Primária	50000000	25000	1,91	0,000995	3,15%	0,000088	0,94%	0,000091	0,95%
Britador	25000	25000	0,2	0,000000	0,00%	0,000000	0,00%	0,000000	0,00%
1º quarteamo	25000	2000	0,2	0,000013	0,36%	0,000013	0,37%	0,000016	0,39%
2º quarteamo	2000	400	0,2	0,000057	0,76%	0,000058	0,76%	0,000068	0,82%
Pulverização	400	400	0,0074	0,000000	0,00%	0,000000	0,00%	0,000000	0,00%
Amostra Analítica	400	3,25	0,0074	0,000000	0,07%	0,000016	0,40%	0,000022	0,47%
<b>TOTAL</b>				0,001066	3,26%	0,000175	1,32%	0,000196	1,40%

(Elaborado pela autora)

Os resultados apresentados nas tabelas anteriores mostram que o erro fundamental de amostragem associado ao atual protocolo de preparação de amostras é baixo e está dentro do limite recomendado para amostragem comercial, onde é requerida uma precisão muito rigorosa (inferior a 1% relativo ao teor de alumina aproveitável), segundo Pitard (1993).

Além disso, é possível notar que os resultados de variância para alumina seca e úmida apresentaram pouca variação, bem como para sílica seca e úmida. Todavia, a diferença nas variâncias calculadas, pela a fórmula de Gy e pelas fórmulas calibradas, mostram a importância do teste de heterogeneidade e sua influencia na confiabilidade dos resultados.

## 5. CONCLUSÃO

O teste de heterogeneidade mostrou uma heterogeneidade relativamente baixa do minério para alumina e relativamente média para sílica. Os resultados da calibração dos parâmetros de heterogeneidade  $K$  e  $\alpha$ , com três ou quatro frações granulométricas, foram consistentes, apresentando coeficientes de correlação de Pearson ( $R^2$ ) variando entre 0,95 e 0,97.

Os protocolos de amostragem foram avaliados com base no cálculo do desvio padrão relativo do erro fundamental de amostragem e são adequados. Segundo Pitard (1993), para a amostragem comercial visando à determinação dos preços de *commodities* é requerida uma precisão muito rigorosa e, portanto, sugere-se um valor relativo máximo do desvio padrão relativo do erro fundamental de amostragem de 1% para metais base e de 2% a 3% para metais preciosos. O desvio padrão total do protocolo de preparação de amostras foi menor que 1%, logo, em relação ao erro fundamental de amostragem, considera-se adequado o protocolo atual.

Todavia, a diferença nas variâncias calculadas, pela fórmula de Gy e pelas fórmulas calibradas, mostram a importância do teste de heterogeneidade e seu impacto na confiabilidade dos resultados. Entretanto, vale lembrar que o erro fundamental é o erro mínimo de amostragem, considerando um processo de amostragem ideal onde todos os outros erros de amostragem que compõem o erro global de estimativa são irrelevantes. Portanto, é essencial que se garanta a ausência de erros sistemáticos (IEE, IDE, IWE e IPE) e a minimização dos demais erros aleatórios (GSE, QFE e HFE).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**ALUMÍNIO**. Anuário Mineral Brasileiro. Parte III: Estatística por Substâncias, 2006. Disponível em: <[www.dnrm.gov.br/assets/galeriaDocumento/AMB2006/III\\_2006.pdf](http://www.dnrm.gov.br/assets/galeriaDocumento/AMB2006/III_2006.pdf)>. Acesso em: 22 de nov. 2018.

BORTOLETO, Daniel Armelin . **Avaliação da heterogeneidade da bauxita de Juriti (PA) visando à otimização dos protocolos de amostragem**. 2015. 102 p. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

CHAVES, A.P.; LIMA, J.R.B. Amostragem. In: CHAVES, A.P. et al. **Manuseio de sólidos granulados**. 2.ed. rev. e aprimorada. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. Cap. 6, p. 226-322. (Teoria e prática do tratamento de minérios, v. 5).

CHIEREGATI, A.C.; PITARD, F.F. Amostragem. In: LUZ, A. B; FRANÇA, S.C.A.; BRAGA, P.F.A. **Tratamento de Minérios**. 6 ed. São Paulo: CETEM/MCTIC, 2018. cap. 2, p. 27-65.

CHIEREGATI, A. C. **Reconciliação pró-ativa em empreendimentos mineiros**. São Paulo, 2007, 201p. Tese de doutorado. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

CHIEREGATI, A. C. et al. **Reconciliação pró-ativa em empreendimentos mineiros**. Ouro Preto, 2008, 297-302 p. Revista Escola de Minas v.61.

CHIEREGATI, A.C.; PITARD, F. Fundamentos teóricos da amostragem. In: CHAVES, A.P. et al. **Manuseio de sólidos granulados**. 2.ed. rev. e aprimorada. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. Cap. 7, p. 323-364. (Teoria e prática do tratamento de minérios, v. 5).

FRANÇOIS-BONGARÇON, D. & GY, P. **Critical aspects in mill and plants: a guide to understanding sampling audits.** In: Journal of the South African IMM, vol. 102, nº 8, África do Sul, 2002.

GY, P. 1998. **Sampling for analytical purposes.** 1st ed., translated by A.G. Royle, John

GY, P.M. **Sampling of heterogeneous and dynamic material systems: theories of heterogeneity, sampling and homogenizing.** Amsterdam: Elsevier, 1992. (Data handling in science and technology, v. 10)

GY P.M. **Introduction to the theory of sampling I. Heterogeneity of a population of uncorrelated units.** Trends in Analytical Chemistry, v. 14, n. 2, p. 67-76, 1995.

PITARD, F.F. **Pierre Gy's sampling theory and sampling practice: heterogeneity, sampling correctness, and statistical process control.** 2<sup>nd</sup>. ed. Boca Raton: CRC Press, 1993.

## APÊNDICE A – DADOS EXPERIMENTAIS ALUMINA SECA

-4,75+3,35 mm			-6,35+4,75 mm			-12,7+6,35 mm			-25,4+12,7 mm		
ID	mass (g)	Al(%)	ID	mass (g)	Al(%)	ID	mass (g)	Al(%)	ID	mass (g)	Al(%)
TH 301	58,0	53,01	TH 401	122,0	52,98	TH 601	196,0	50,60	TH 1201	730,0	57,75
TH 302	50,0	54,06	TH 402	132,0	54,18	TH 602	236,0	52,39	TH 1202	682,0	58,15
TH 303	48,0	52,95	TH 403	106,0	52,94	TH 603	258,0	54,56	TH 1203	488,0	57,99
TH 304	46,0	53,32	TH 404	126,0	52,91	TH 604	104,0	54,12	TH 1204	622,0	58,39
TH 305	44,0	54,73	TH 405	104,0	54,11	TH 605	232,0	53,98	TH 1205	422,0	57,38
TH 306	46,0	54,68	TH 406	120,0	53,05	TH 606	216,0	55,91	TH 1206	532,0	58,46
TH 307	44,0	56,00	TH 407	102,0	54,25	TH 607	198,0	53,91	TH 1207	496,0	56,47
TH 308	44,0	55,12	TH 408	124,0	53,10	TH 608	234,0	53,40	TH 1208	572,0	58,44
TH 309	46,0	54,85	TH 409	116,0	52,39	TH 609	204,0	57,50	TH 1209	390,0	55,08
TH 310	50,0	55,25	TH 410	102,0	54,22	TH 610	212,0	53,03	TH 1210	592,0	54,78
TH 311	48,0	53,70	TH 411	116,0	55,82	TH 611	180,0	54,76	TH 1211	446,0	57,63
TH 312	58,0	53,85	TH 412	98,0	54,52	TH 612	224,0	53,56	TH 1212	550,0	58,00
TH 313	44,0	55,47	TH 413	114,0	55,19	TH 613	188,0	55,76	TH 1213	376,0	56,00
TH 314	56,0	53,11	TH 414	100,0	55,75	TH 614	180,0	55,15	TH 1214	502,0	58,70
TH 315	54,0	52,46	TH 415	112,0	53,37	TH 615	176,0	55,56	TH 1215	364,0	55,34
TH 316	54,0	54,66	TH 416	102,0	52,84	TH 616	198,0	53,39	TH 1216	430,0	52,11
TH 317	44,0	52,73	TH 417	100,0	53,52	TH 617	220,0	53,83	TH 1217	338,0	57,49
TH 318	52,0	52,39	TH 418	118,0	52,93	TH 618	182,0	53,53	TH 1218	502,0	58,99
TH 319	50,0	52,57	TH 419	114,0	53,02	TH 619	206,0	53,77	TH 1219	474,0	57,55
TH 320	50,0	53,07	TH 420	104,0	53,61	TH 620	198,0	54,44	TH 1220	388,0	56,99
TH 321	42,0	52,97	TH 421	114,0	54,30	TH 621	208,0	53,53	TH 1221	340,0	57,83
TH 322	50,0	52,43	TH 422	104,0	54,65	TH 622	182,0	54,29	TH 1222	426,0	55,72
TH 323	56,0	52,69	TH 423	112,0	51,03	TH 623	174,0	56,20	TH 1223	426,0	59,69
TH 324	48,0	52,78	TH 424	104,0	53,27	TH 624	158,0	54,78	TH 1224	366,0	57,43
TH 325	46,0	51,78	TH 425	110,0	52,99	TH 625	190,0	55,62	TH 1225	374,0	56,34
TH 326	58,0	52,02	TH 426	94,0	52,22	TH 626	186,0	55,81	TH 1226	496,0	56,59
TH 327	60,0	53,14	TH 427	118,0	52,66	TH 627	200,0	54,36	TH 1227	382,0	53,55
TH 328	60,0	52,97	TH 428	108,0	54,75	TH 628	168,0	53,54	TH 1228	242,0	55,51
TH 329	60,0	54,74	TH 429	102,0	54,23	TH 629	180,0	52,83	TH 1229	266,0	55,13
TH 330	56,0	51,69	TH 430	106,0	54,53	TH 630	170,0	50,59	TH 1230	458,0	54,91
TH 331	46,0	52,16	TH 431	106,0	53,13	TH 631	174,0	53,65	TH 1231	410,0	55,61
TH 332	48,0	52,37	TH 432	112,0	53,70	TH 632	150,0	55,95	TH 1232	328,0	58,59
TH 333	48,0	52,64	TH 433	100,0	56,08	TH 633	180,0	56,74	TH 1233	368,0	54,89
TH 334	56,0	52,74	TH 434	98,0	54,39	TH 634	144,0	56,32	TH 1234	412,0	58,07
TH 335	54,0	53,84	TH 435	102,0	54,05	TH 635	186,0	53,76	TH 1235	312,0	56,91
TH 336	48,0	54,26	TH 436	104,0	55,98	TH 636	158,0	53,38	TH 1236	380,0	56,71
TH 337	48,0	53,39	TH 437	110,0	53,39	TH 637	146,0	53,82	TH 1237	372,0	56,72
TH 338	50,0	51,61	TH 438	108,0	52,44	TH 638	166,0	55,83	TH 1238	398,0	57,22
TH 339	56,0	52,76	TH 439	106,0	53,16	TH 639	194,0	55,37	TH 1239	294,0	56,17
TH 340	54,0	52,92	TH 440	106,0	52,72	TH 640	156,0	53,16	TH 1240	382,0	56,47
TH 341	48,0	53,26	TH 441	106,0	53,12	TH 641	200,0	53,68	TH 1241	238,0	59,01
TH 342	48,0	52,10	TH 442	110,0	54,41	TH 642	134,0	54,68	TH 1242	630,0	60,14
TH 343	54,0	53,09	TH 443	104,0	53,67	TH 643	196,0	54,77	TH 1243	340,0	57,71
TH 344	52,0	52,29	TH 444	108,0	53,14	TH 644	182,0	58,28	TH 1244	382,0	58,73
TH 345	50,0	53,99	TH 445	106,0	52,67	TH 645	150,0	55,30	TH 1245	330,0	56,85
TH 346	54,0	52,99	TH 446	106,0	54,55	TH 646	188,0	57,15	TH 1246	352,0	57,06
TH 347	54,0	52,89	TH 447	104,0	54,50	TH 647	148,0	56,77	TH 1247	464,0	58,82
TH 348	50,0	51,67	TH 448	104,0	56,13	TH 648	174,0	56,18	TH 1248	392,0	58,66
TH 349	48,0	53,11	TH 449	104,0	52,44	TH 649	132,0	55,07	TH 1249	338,0	58,51
TH 350	54,0	52,03	TH 450	102,0	52,39	TH 650	190,0	52,57	TH 1250	412,0	59,95
<b>Massa Total</b>	<b>2542,0</b>		<b>5410,0</b>			<b>9206,0</b>			<b>21206,0</b>		
<b>Massa Média/Teor Médio</b>	<b>50,8</b>	<b>53,23</b>	<b>108,2</b>	<b>53,71</b>		<b>184,1</b>	<b>54,54</b>		<b>424,12</b>	<b>57,14</b>	

## APÊNDICE B – DADOS EXPERIMENTAIS ALUMINA ÚMIDA

-4,75+3,35 mm			-6,35+4,75 mm			-12,7+6,35 mm			-25,4+12,7 mm		
ID	mass (g)	Al(%)	ID	mass (g)	Al(%)	ID	mass (g)	Al(%)	ID	mass (g)	Al(%)
TH 301	56,0	54,50	TH 401	116,0	55,69	TH 601	220,0	55,13	TH 1201	796,0	58,00
TH 302	54,0	53,87	TH 402	114,0	53,61	TH 602	198,0	55,60	TH 1202	576,0	59,54
TH 303	54,0	55,28	TH 403	114,0	54,83	TH 603	190,0	58,02	TH 1203	446,0	55,07
TH 304	54,0	54,78	TH 404	106,0	52,70	TH 604	214,0	55,97	TH 1204	472,0	58,85
TH 305	54,0	54,47	TH 405	102,0	54,69	TH 605	184,0	56,63	TH 1205	422,0	55,48
TH 306	64,0	54,48	TH 406	104,0	55,40	TH 606	180,0	55,88	TH 1206	398,0	54,61
TH 307	54,0	53,94	TH 407	110,0	55,54	TH 607	212,0	56,20	TH 1207	390,0	52,76
TH 308	60,0	51,08	TH 408	112,0	55,07	TH 608	170,0	56,96	TH 1208	478,0	58,03
TH 309	52,0	55,26	TH 409	108,0	55,96	TH 609	212,0	57,08	TH 1209	462,0	55,97
TH 310	50,0	54,79	TH 410	110,0	54,44	TH 610	166,0	55,94	TH 1210	494,0	57,83
TH 311	58,0	49,68	TH 411	106,0	54,81	TH 611	218,0	54,36	TH 1211	364,0	53,71
TH 312	46,0	50,00	TH 412	112,0	54,35	TH 612	160,0	56,00	TH 1212	478,0	56,87
TH 313	56,0	56,13	TH 413	116,0	54,09	TH 613	196,0	56,01	TH 1213	388,0	55,86
TH 314	44,0	58,94	TH 414	104,0	56,11	TH 614	178,0	55,40	TH 1214	536,0	56,30
TH 315	56,0	55,95	TH 415	100,0	54,06	TH 615	184,0	55,11	TH 1215	478,0	57,00
TH 316	44,0	54,95	TH 416	96,0	53,74	TH 616	174,0	57,70	TH 1216	530,0	55,11
TH 317	56,0	53,13	TH 417	100,0	56,39	TH 617	208,0	55,17	TH 1217	504,0	58,19
TH 318	44,0	55,59	TH 418	98,0	53,41	TH 618	156,0	56,72	TH 1218	564,0	57,17
TH 319	56,0	54,88	TH 419	98,0	54,73	TH 619	192,0	56,75	TH 1219	428,0	54,51
TH 320	52,0	53,18	TH 420	98,0	53,69	TH 620	156,0	58,45	TH 1220	584,0	58,36
TH 321	44,0	50,51	TH 421	98,0	54,58	TH 621	158,0	56,12	TH 1221	528,0	55,56
TH 322	56,0	57,03	TH 422	106,0	54,16	TH 622	194,0	56,03	TH 1222	466,0	55,81
TH 323	44,0	56,99	TH 423	102,0	54,81	TH 623	154,0	55,66	TH 1223	470,0	55,32
TH 324	50,0	56,90	TH 424	104,0	55,81	TH 624	184,0	54,84	TH 1224	376,0	56,56
TH 325	52,0	54,26	TH 425	108,0	53,46	TH 625	148,0	57,51	TH 1225	388,0	57,73
TH 326	44,0	54,96	TH 426	98,0	54,96	TH 626	176,0	54,13	TH 1226	332,0	55,43
TH 327	52,0	54,97	TH 427	102,0	53,86	TH 627	158,0	54,92	TH 1227	450,0	53,48
TH 328	44,0	55,04	TH 428	102,0	54,07	TH 628	176,0	55,97	TH 1228	358,0	57,48
TH 329	52,0	55,34	TH 429	102,0	53,23	TH 629	158,0	56,20	TH 1229	328,0	53,93
TH 330	42,0	56,42	TH 430	106,0	53,72	TH 630	176,0	59,08	TH 1230	328,0	54,10
TH 331	52,0	58,20	TH 431	100,0	53,37	TH 631	158,0	55,49	TH 1231	458,0	54,99
TH 332	42,0	57,11	TH 432	100,0	55,95	TH 632	168,0	56,07	TH 1232	436,0	55,94
TH 333	52,0	56,75	TH 433	102,0	54,09	TH 633	150,0	57,61	TH 1233	578,0	55,77
TH 334	42,0	57,34	TH 434	96,0	53,53	TH 634	176,0	56,15	TH 1234	394,0	56,89
TH 335	44,0	56,01	TH 435	100,0	53,80	TH 635	154,0	59,10	TH 1235	386,0	57,12
TH 336	52,0	55,08	TH 436	108,0	53,07	TH 636	154,0	56,21	TH 1236	342,0	53,51
TH 337	50,0	58,82	TH 437	108,0	54,16	TH 637	142,0	58,42	TH 1237	316,0	54,86
TH 338	40,0	58,90	TH 438	106,0	52,18	TH 638	158,0	57,81	TH 1238	388,0	56,80
TH 339	44,0	57,31	TH 439	104,0	53,52	TH 639	140,0	56,96	TH 1239	450,0	55,62
TH 340	40,0	56,96	TH 440	102,0	54,68	TH 640	156,0	58,03	TH 1240	392,0	57,06
TH 341	40,0	57,12	TH 441	100,0	54,07	TH 641	144,0	59,21	TH 1241	462,0	58,09
TH 342	42,0	56,17	TH 442	100,0	53,87	TH 642	138,0	57,76	TH 1242	406,0	56,99
TH 343	38,0	56,33	TH 443	96,0	54,49	TH 643	132,0	58,99	TH 1243	454,0	58,34
TH 344	42,0	57,24	TH 444	94,0	52,81	TH 644	158,0	57,35	TH 1244	498,0	56,42
TH 345	42,0	57,57	TH 445	102,0	54,14	TH 645	130,0	58,15	TH 1245	472,0	56,13
TH 346	54,0	55,48	TH 446	100,0	53,13	TH 646	154,0	57,15	TH 1246	354,0	56,51
TH 347	42,0	57,17	TH 447	100,0	59,21	TH 647	136,0	54,17	TH 1247	442,0	60,33
TH 348	52,0	54,88	TH 448	100,0	53,51	TH 648	154,0	57,47	TH 1248	468,0	52,52
TH 349	40,0	56,77	TH 449	100,0	54,09	TH 649	136,0	55,66	TH 1249	424,0	55,96
TH 350	50,0	55,45	TH 450	102,0	55,28	TH 650	142,0	58,23	TH 1250	500,0	55,69
<b>Massa Total</b>	<b>2444,0</b>		<b>5172,0</b>			<b>8430,0</b>			<b>22432,0</b>		
<b>Massa Média/ Teor Médio</b>	<b>48,9</b>	<b>55,48</b>	<b>103,4</b>	<b>54,38</b>		<b>168,6</b>	<b>56,63</b>		<b>448,64</b>	<b>56,20</b>	

## APÊNDICE C – DADOS EXPERIMENTAIS SÍLICA ÚMIDA

-4,75+3,35 mm			-6,35+4,75 mm			-12,7+6,35 mm			-25,4+12,7 mm		
ID	mass (g)	Al(%)	ID	mass (g)	Al(%)	ID	mass (g)	Al(%)	ID	mass (g)	Al(%)
TH 301	56,0	3,79	TH 401	116,0	3,54	TH 601	220,0	3,57	TH 1201	796,0	2,82
TH 302	54,0	3,59	TH 402	114,0	3,63	TH 602	198,0	4,11	TH 1202	576,0	3,28
TH 303	54,0	3,87	TH 403	114,0	3,64	TH 603	190,0	3,46	TH 1203	446,0	3,00
TH 304	54,0	3,40	TH 404	106,0	3,83	TH 604	214,0	3,11	TH 1204	472,0	2,96
TH 305	54,0	3,85	TH 405	102,0	3,62	TH 605	184,0	3,44	TH 1205	422,0	3,21
TH 306	64,0	3,77	TH 406	104,0	3,76	TH 606	180,0	3,49	TH 1206	398,0	3,14
TH 307	54,0	3,82	TH 407	110,0	3,51	TH 607	212,0	3,62	TH 1207	390,0	2,62
TH 308	60,0	3,57	TH 408	112,0	3,30	TH 608	170,0	3,45	TH 1208	478,0	2,95
TH 309	52,0	3,90	TH 409	108,0	3,42	TH 609	212,0	3,31	TH 1209	462,0	3,34
TH 310	50,0	3,59	TH 410	110,0	3,38	TH 610	166,0	3,40	TH 1210	494,0	2,83
TH 311	58,0	4,58	TH 411	106,0	3,60	TH 611	218,0	3,64	TH 1211	364,0	3,59
TH 312	46,0	4,56	TH 412	112,0	3,78	TH 612	160,0	3,15	TH 1212	478,0	2,39
TH 313	56,0	4,32	TH 413	116,0	3,71	TH 613	196,0	3,13	TH 1213	388,0	2,93
TH 314	44,0	3,73	TH 414	104,0	3,58	TH 614	178,0	3,30	TH 1214	536,0	4,07
TH 315	56,0	3,74	TH 415	100,0	3,49	TH 615	184,0	3,74	TH 1215	478,0	3,54
TH 316	44,0	3,75	TH 416	96,0	3,56	TH 616	174,0	3,67	TH 1216	530,0	3,30
TH 317	56,0	3,67	TH 417	100,0	3,31	TH 617	208,0	3,34	TH 1217	504,0	2,83
TH 318	44,0	3,50	TH 418	98,0	3,43	TH 618	156,0	3,09	TH 1218	564,0	3,32
TH 319	56,0	3,56	TH 419	98,0	3,57	TH 619	192,0	3,52	TH 1219	428,0	3,50
TH 320	52,0	3,61	TH 420	98,0	3,57	TH 620	156,0	3,31	TH 1220	584,0	3,40
TH 321	44,0	3,68	TH 421	98,0	3,56	TH 621	158,0	3,23	TH 1221	528,0	2,85
TH 322	56,0	4,31	TH 422	106,0	3,62	TH 622	194,0	3,66	TH 1222	466,0	3,47
TH 323	44,0	3,95	TH 423	102,0	3,68	TH 623	154,0	3,37	TH 1223	470,0	3,10
TH 324	50,0	3,94	TH 424	104,0	3,47	TH 624	184,0	3,37	TH 1224	376,0	3,41
TH 325	52,0	3,46	TH 425	108,0	3,29	TH 625	148,0	3,55	TH 1225	388,0	2,93
TH 326	44,0	3,57	TH 426	98,0	3,77	TH 626	176,0	3,64	TH 1226	332,0	2,60
TH 327	52,0	3,52	TH 427	102,0	3,76	TH 627	158,0	3,29	TH 1227	450,0	2,32
TH 328	44,0	3,85	TH 428	102,0	3,54	TH 628	176,0	3,38	TH 1228	358,0	3,04
TH 329	52,0	3,62	TH 429	102,0	3,74	TH 629	158,0	2,92	TH 1229	328,0	2,87
TH 330	42,0	3,76	TH 430	106,0	3,66	TH 630	176,0	3,44	TH 1230	328,0	2,97
TH 331	52,0	3,70	TH 431	100,0	2,55	TH 631	158,0	4,09	TH 1231	458,0	3,69
TH 332	42,0	3,93	TH 432	100,0	4,07	TH 632	168,0	3,57	TH 1232	436,0	2,71
TH 333	52,0	3,86	TH 433	102,0	3,56	TH 633	150,0	3,71	TH 1233	578,0	2,94
TH 334	42,0	3,81	TH 434	96,0	3,67	TH 634	176,0	3,52	TH 1234	394,0	2,70
TH 335	44,0	3,53	TH 435	100,0	3,59	TH 635	154,0	3,84	TH 1235	386,0	3,04
TH 336	52,0	3,41	TH 436	108,0	3,64	TH 636	154,0	4,43	TH 1236	342,0	3,38
TH 337	50,0	3,41	TH 437	108,0	3,54	TH 637	142,0	3,74	TH 1237	316,0	3,41
TH 338	40,0	3,56	TH 438	106,0	3,72	TH 638	158,0	3,88	TH 1238	388,0	2,71
TH 339	44,0	3,71	TH 439	104,0	3,49	TH 639	140,0	3,17	TH 1239	450,0	3,04
TH 340	40,0	4,18	TH 440	102,0	3,43	TH 640	156,0	3,67	TH 1240	392,0	3,11
TH 341	40,0	3,55	TH 441	100,0	3,69	TH 641	144,0	4,03	TH 1241	462,0	2,76
TH 342	42,0	3,81	TH 442	100,0	3,59	TH 642	138,0	3,67	TH 1242	406,0	3,12
TH 343	38,0	4,55	TH 443	96,0	3,74	TH 643	132,0	3,13	TH 1243	454,0	3,16
TH 344	42,0	3,94	TH 444	94,0	3,53	TH 644	158,0	3,65	TH 1244	498,0	3,16
TH 345	42,0	4,09	TH 445	102,0	3,56	TH 645	130,0	3,74	TH 1245	472,0	3,17
TH 346	54,0	3,87	TH 446	100,0	3,24	TH 646	154,0	3,61	TH 1246	354,0	3,07
TH 347	42,0	3,76	TH 447	100,0	3,51	TH 647	136,0	3,29	TH 1247	442,0	3,31
TH 348	52,0	4,10	TH 448	100,0	3,85	TH 648	154,0	3,88	TH 1248	468,0	2,84
TH 349	40,0	3,52	TH 449	100,0	3,77	TH 649	136,0	4,00	TH 1249	424,0	3,23
TH 350	50,0	3,31	TH 450	102,0	3,48	TH 650	142,0	3,59	TH 1250	500,0	3,56
<b>Massa Total</b>	<b>2444,0</b>		<b>5172,0</b>			<b>8430,0</b>			<b>22432,0</b>		
<b>Massa Média/ Teor Médio</b>	<b>48,9</b>	<b>3,79</b>	<b>103,4</b>	<b>3,57</b>		<b>168,6</b>	<b>3,54</b>		<b>448,64</b>	<b>3,09</b>	

## APÊNDICE D – DADOS EXPERIMENTAIS SÍLICA SECA

-4,75+3,35 mm			-6,35+4,75 mm			-12,7+6,35 mm			-25,4+12,7 mm		
ID	mass (g)	Al(%)	ID	mass (g)	Al(%)	ID	mass (g)	Al(%)	ID	mass (g)	Al(%)
TH 301	58,0	4,62	TH 401	122,0	4,37	TH 601	196,0	3,90	TH 1201	730,0	4,47
TH 302	50,0	4,54	TH 402	132,0	4,45	TH 602	236,0	4,22	TH 1202	682,0	3,19
TH 303	48,0	4,68	TH 403	106,0	3,76	TH 603	258,0	4,03	TH 1203	488,0	3,38
TH 304	46,0	4,56	TH 404	126,0	4,41	TH 604	104,0	3,89	TH 1204	622,0	3,41
TH 305	44,0	4,48	TH 405	104,0	4,08	TH 605	232,0	4,03	TH 1205	422,0	3,62
TH 306	46,0	4,52	TH 406	120,0	4,19	TH 606	216,0	4,24	TH 1206	532,0	3,32
TH 307	44,0	4,51	TH 407	102,0	3,89	TH 607	198,0	4,23	TH 1207	496,0	3,84
TH 308	44,0	4,26	TH 408	124,0	4,42	TH 608	234,0	4,01	TH 1208	572,0	3,49
TH 309	46,0	4,48	TH 409	116,0	4,24	TH 609	204,0	4,31	TH 1209	390,0	3,14
TH 310	50,0	4,39	TH 410	102,0	3,93	TH 610	212,0	4,08	TH 1210	592,0	3,70
TH 311	48,0	4,86	TH 411	116,0	4,24	TH 611	180,0	3,52	TH 1211	446,0	2,78
TH 312	58,0	4,89	TH 412	98,0	4,47	TH 612	224,0	3,77	TH 1212	550,0	2,82
TH 313	44,0	4,19	TH 413	114,0	4,59	TH 613	188,0	3,57	TH 1213	376,0	3,24
TH 314	56,0	4,77	TH 414	100,0	4,09	TH 614	180,0	3,66	TH 1214	502,0	3,03
TH 315	54,0	4,96	TH 415	112,0	4,21	TH 615	176,0	4,16	TH 1215	364,0	3,60
TH 316	54,0	4,54	TH 416	102,0	4,17	TH 616	198,0	3,85	TH 1216	430,0	3,43
TH 317	44,0	4,05	TH 417	100,0	4,19	TH 617	220,0	3,62	TH 1217	338,0	3,53
TH 318	52,0	4,26	TH 418	118,0	4,51	TH 618	182,0	3,89	TH 1218	502,0	3,45
TH 319	50,0	4,32	TH 419	114,0	4,71	TH 619	206,0	3,74	TH 1219	474,0	3,49
TH 320	50,0	4,04	TH 420	104,0	4,70	TH 620	198,0	3,82	TH 1220	388,0	3,25
TH 321	42,0	4,05	TH 421	114,0	4,45	TH 621	208,0	4,00	TH 1221	340,0	2,74
TH 322	50,0	4,34	TH 422	104,0	4,78	TH 622	182,0	4,00	TH 1222	426,0	3,58
TH 323	56,0	4,34	TH 423	112,0	4,23	TH 623	174,0	3,83	TH 1223	426,0	3,30
TH 324	48,0	4,16	TH 424	104,0	4,01	TH 624	158,0	4,27	TH 1224	366,0	3,67
TH 325	46,0	3,96	TH 425	110,0	4,23	TH 625	190,0	4,50	TH 1225	374,0	3,47
TH 326	58,0	4,78	TH 426	94,0	4,12	TH 626	186,0	4,21	TH 1226	496,0	3,55
TH 327	60,0	5,15	TH 427	118,0	3,96	TH 627	200,0	4,15	TH 1227	382,0	2,91
TH 328	60,0	4,78	TH 428	108,0	4,61	TH 628	168,0	4,77	TH 1228	242,0	3,07
TH 329	60,0	4,59	TH 429	102,0	4,50	TH 629	180,0	4,02	TH 1229	266,0	3,39
TH 330	56,0	4,26	TH 430	106,0	4,73	TH 630	170,0	3,90	TH 1230	458,0	3,07
TH 331	46,0	4,1	TH 431	106,0	4,98	TH 631	174,0	4,00	TH 1231	410,0	2,85
TH 332	48,0	4,06	TH 432	112,0	4,81	TH 632	150,0	3,97	TH 1232	328,0	3,34
TH 333	48,0	4,09	TH 433	100,0	4,51	TH 633	180,0	3,97	TH 1233	368,0	4,09
TH 334	56,0	4,09	TH 434	98,0	4,50	TH 634	144,0	4,03	TH 1234	412,0	3,47
TH 335	54,0	4,46	TH 435	102,0	4,46	TH 635	186,0	3,79	TH 1235	312,0	3,43
TH 336	48,0	4,57	TH 436	104,0	4,39	TH 636	158,0	4,28	TH 1236	380,0	2,79
TH 337	48,0	4,01	TH 437	110,0	4,11	TH 637	146,0	4,23	TH 1237	372,0	3,08
TH 338	50,0	4,20	TH 438	108,0	4,19	TH 638	166,0	4,18	TH 1238	398,0	3,23
TH 339	56,0	4,39	TH 439	106,0	4,22	TH 639	194,0	4,55	TH 1239	294,0	3,33
TH 340	54,0	4,26	TH 440	106,0	4,21	TH 640	156,0	3,96	TH 1240	382,0	3,30
TH 341	48,0	4,19	TH 441	106,0	4,07	TH 641	200,0	3,90	TH 1241	238,0	3,88
TH 342	48,0	4,09	TH 442	110,0	4,09	TH 642	134,0	3,53	TH 1242	630,0	3,25
TH 343	54,0	4,35	TH 443	104,0	3,98	TH 643	196,0	3,55	TH 1243	340,0	3,84
TH 344	52,0	4,11	TH 444	108,0	3,85	TH 644	182,0	4,15	TH 1244	382,0	2,96
TH 345	50,0	4,60	TH 445	106,0	4,18	TH 645	150,0	4,48	TH 1245	330,0	3,54
TH 346	54,0	4,93	TH 446	106,0	4,65	TH 646	188,0	3,84	TH 1246	352,0	3,28
TH 347	54,0	3,95	TH 447	104,0	4,69	TH 647	148,0	3,96	TH 1247	464,0	2,89
TH 348	50,0	4,44	TH 448	104,0	4,45	TH 648	174,0	3,58	TH 1248	392,0	3,06
TH 349	48,0	4,05	TH 449	104,0	4,15	TH 649	132,0	3,95	TH 1249	338,0	3,63
TH 350	54,0	4,23	TH 450	102,0	4,13	TH 650	190,0	3,90	TH 1250	412,0	3,36
<b>Massa Total</b>	<b>2542,0</b>		<b>5410,0</b>			<b>9206,0</b>			<b>21206,0</b>		
<b>Massa Média/ Teor Médio</b>	<b>50,8</b>	<b>4,39</b>	<b>108,2</b>	<b>4,32</b>		<b>184,1</b>	<b>4,00</b>		<b>424,12</b>	<b>3,35</b>	

