



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
UNIDADE ARAXÁ

ANDRÉ DE MAGALHÃES BRAGA

**DESENVOLVIMENTO DE *SOFTWARE* PARA
DETERMINAÇÃO DO GRAU DE LIBERAÇÃO DE
PARTÍCULAS MINERAIS**

Araxá/MG

2018

ANDRÉ DE MAGALHÃES BRAGA

**DESENVOLVIMENTO DE *SOFTWARE* PARA
DETERMINAÇÃO DO GRAU DE LIBERAÇÃO DE
PARTÍCULAS MINERAIS**

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

Orientador: Prof. Me. Douglas Geraldo Magalhães

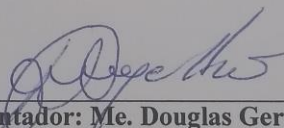
Araxá/MG
2018

André de Magalhães Braga

**DESENVOLVIMENTO DE *SOFTWARE* PARA
DETERMINAÇÃO DO GRAU DE LIBERAÇÃO DE
PARTÍCULAS MINERAIS**

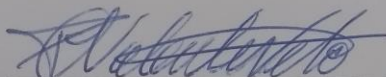
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Minas do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Minas.

Araxá, 05 de julho de 2018



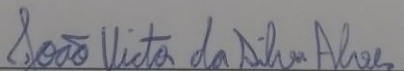
Presidente e Orientador: Me. Douglas Geraldo Magalhães

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG – Unidade Araxá



Membro Titular: Prof. Francisco de Castro Valente Neto

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG – Unidade Araxá



Membro Titular: João Victor Silva Alves

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG – Unidade Araxá

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, irmãos, namorada, amigos e professores que me deram apoio em toda minha jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Marilene e Marcílio por seu amor e suporte durante toda vida. Obrigado a vocês por me proporcionarem a oportunidade de conhecimento e da realização de um sonho, sem vocês esse sonho não seria possível.

Ao Professor Douglas Geraldo Magalhães pela orientação, apoio e conhecimento passado durante todo período no qual esse trabalho foi realizado.

Ao grande amigo Lucas Tonaco por todo suporte no desenvolvimento e testes realizados no trabalho.

Ao Técnico do Laboratório De Tratamento Dos Minérios do CEFET-MG, João Victor, por toda sua disposição e auxílio durante os procedimentos realizados.

Aos demais Professores pelo conhecimento, pelo apoio e por toda amizade fornecida durante todo o período da graduação.

A todos os amigos, companheiros de república, e todos aqueles que de alguma forma ajudaram durante a realização da graduação.

A melhor maneira de não fazer nada é acreditar que nada pode ser feito.

Cortella M.S

RESUMO

A análise de grau de liberação tem total importância nos processos minerais, seus resultados interpretados de maneira incorreta podem inviabilizar projetos e dar falsas esperanças a investidores. O método de determinação do grau de liberação mais utilizado é o de Gaudin, que é altamente dependente do operador, e pode possuir erros de processo. Esse trabalho tem por objetivo propor um novo *software* fácil e intuitivo para tal análise, com resultados de maior confiabilidade em relação ao método atualmente utilizado, por meio de análises de imagens retiradas das amostras tanto preparadas em laboratório, quanto *in situ*. Para sua comprovação, foram comparados resultados do *software* em questão com análises realizadas da forma convencional por meio de um estereomicroscópio, os resultados foram bastante satisfatórios com uma maior facilidade e gama de opções para o *software*, com resultados variando de 82,40% a 31,95% de grau de liberdade para uma mesma amostra de *sinter feed* variando o intervalo que consideramos as partículas totalmente liberadas, de 75% para 100%, os resultados obtidos serão utilizados para melhoramento do *software* que apresentou algumas variações inesperadas nas amostras *in situ*, que podem ter sido decorrentes de diversos fatores, desde a qualidade da imagem, a erros de comando. Entretanto mesmo com algumas falhas a serem corrigidas, conclui-se que o futuro das análises de grau de liberdade provavelmente será feito por meio da computação, devido sua velocidade, precisão e acurácia, substituindo em um curto período de tempo o método tradicional de Gaudin.

Palavras-Chave: Análise Computacional. Grau de Liberdade. Liberação Mineral.

ABSTRACT

The analysis of degree of release has total importance in the mineral processes, its incorrectly interpreted results can make projects unfeasible and give false hopes to investors, the most used method is that of Gaudin, who is highly dependent on the operator, and may have errors of This work aims to propose a new software that is easy and intuitive for such an analysis, with results of greater reliability in relation to the currently used method, through analysis of images taken from the samples both prepared in the laboratory and in situ for its analysis. , results were compared with conventional analyzes by means of a stereomicroscope, the results were quite satisfactory with a greater ease and range of options for the software, with results varying from 82.40% to 31.95 % of degree of freedom for the same sample of sinter feed varying the interval considered 75% to 100%, the results obtained will be used to improve the software that presented some unexpected variations in the In Situ samples, which may have been due to several factors, from image quality to command. However, even with some flaws to be corrected, it is concluded that the future of the degree of freedom analyzes will probably be done by means of computation, due to its speed, precision and accuracy, replacing Gaudin's traditional method in a short period of time

Key-words: Computational Analysis. Degree of Freedom. Mineral Release

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1-CLASSIFICAÇÃO DAS MINAS PELO PORTE DE PRODUÇÃO.	16
QUADRO 2-ANÁLISE ÓTICA DA AMOSTRA (A) IN SITU.....	38
QUADRO 3-ANÁLISE ÓTICA DA AMOSTRA (B) IN SITU.....	38
QUADRO 4-ANÁLISE ÓTICA PELLET FEED AMOSTRA (A).	41
QUADRO 5-ANÁLISE ÓTICA PELLET FEED AMOSTRA (A).	41
QUADRO 6- SÍNTER FEED AMOSTRA (A).	44
QUADRO 7-SÍNTER FEED AMOSTRA (B).....	44
QUADRO 8- GRANULADO AMOSTRA (A).....	46
QUADRO 9-GRANULADO AMOSTRA (B).....	46
QUADRO 10- CÁLCULO GRAU DE LIBERAÇÃO (A) ÓTICO.....	49
QUADRO 11- CÁLCULO GRAU DE LIBERAÇÃO (B) ÓTICO.....	49
QUADRO 12- CÁLCULO GRAU DE LIBERAÇÃO COMPUTACIONAL (A).	50
QUADRO 13-CÁLCULO GRAU DE LIBERAÇÃO COMPUTACIONAL (B).....	51

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- LOCALIZAÇÃO DAS PRINCIPAIS RESERVAS MINERAIS DE ALUMÍNIO, COBRE, ESTANHO, FERRO, MANGANÊS, NIÓBIO, NÍQUEL E OURO.	17
FIGURA 2 -CLASSES DE COMPOSIÇÃO DE CONCENTRAÇÕES DAS PARTÍCULAS.	20
FIGURA 3- ILUSTRAÇÃO DO EFEITO DO AUMENTO DE LIBERAÇÃO MINERAL COM A DIMINUIÇÃO DA GRANULOMETRIA.	22
FIGURA 4- PRINCIPAIS MEIOS DENSOS UTILIZADOS.	23
FIGURA 5- REPRESENTAÇÃO DE UMA IMAGEM DIGITAL.	24
FIGURA 6- EXEMPLO DA VARIAÇÃO DE RESOLUÇÃO EM UMA IMAGEM DIGITAL.	25
FIGURA 7- JOGO DE IMITAÇÃO.	28
FIGURA 8 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DE ALTURA SEGUNDO A LÓGICA CONVENCIONAL E A LÓGICA FUZZY.	30
FIGURA 9- FLUXOGRAMA ESQUEMÁTICO UTILIZADO.	32
FIGURA 10- AMOSTRAS COLETADAS.	33
FIGURA 11-PENEIRADOR SUSPENSO UTILIZADO.	34
FIGURA 12-PLACA DE PETRI E PINÇAS UTILIZADAS.	35
FIGURA 13- GRÁFICO AMOSTRAS IN SITU.	39
FIGURA 14- CONTAGEM DAS PARTÍCULAS DA AMOSTRA A IN SITU.	40
FIGURA 15-CONTAGEM DAS PARTÍCULAS DA AMOSTRA B IN SITU.	40
FIGURA 16- AMOSTRAS PELLET FEED.	41
FIGURA 17- RESULTADO COMPUTACIONAL PELLET FEED (A).	42
FIGURA 18- RESULTADO COMPUTACIONAL PELLET FEED (B).	43
FIGURA 19- SÍNTER FEED AMOSTRA.	44
FIGURA 20-CONTAGEM DE PARTÍCULAS AMOSTRA SÍNTER FEED (A).	45
FIGURA 21-CONTAGEM DE PARTÍCULAS AMOSTRA SÍNTER FEED (B).	45
FIGURA 22- GRANULADO AMOSTRA.	47
FIGURA 23- CONTAGEM DE PARTÍCULAS AMOSTRA GRANULADO (A).	47
FIGURA 24- CONTAGEM DE PARTÍCULAS AMOSTRA GRANULADO (B).	48

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 Minerais e seus usos.....	15
2.2 Processamento de Minérios e Liberação Mineral.....	18
2.3 Liberação e Análise de Liberabilidade.....	18
2.3.1 Método de Gaudin.....	19
2.3.2 Fracionamento em Líquidos Densos.....	21
2.4 Imagem Digital.....	23
2.4.1 Processamento e Análise Digital de Imagens (PADI)	26
2.5 Programas e Conceitos Utilizados.....	26
2.5.1 Computador e Programas	26
2.6 Inteligência Artificial.....	27
2.7 Aprendizado De Máquinas	28
2.8 Lógica Fuzzy	29
2.9 Linguagem <i>Python</i>	30
3. METODOLOGIA	32
3.1 Preparação das amostras.....	33
3.2 Separação granulométrica.....	34
3.3 Grau de liberação.....	35
3.3.1 Método convencional	35
3.3.2 Método computacional	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	38
4.1 Amostras <i>in situ</i>	38
4.1.1 Método Convencional	38
4.1.2 Método Computacional	39
4.2 Amostras Pellet Feed	41
4.2.1 Método Convencional.....	41
4.2.2 Método Computacional.....	42
4.3 Amostras <i>Sínter Feed</i>	43
4.3.1 Método Convencional.....	43
4.4 Amostras Granulado.....	46
4.4.1 Método Convencional.....	46

4.4.2 Método Computacional.....	47
4.5 Comparativo dos resultados	48
5. CONCLUSÃO	52
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA.....	54

1. INTRODUÇÃO

Ao conhecer os métodos atuais mais utilizados no estudo de grau de liberação de partículas minerais, fica visível a dependência de um operador com vasta experiência e confiança total em seu trabalho. Além desses detalhes preocupantes, os erros inerentes aos métodos atuais se mostram como desvantagens para tal, uma vez conhecida sua grande importância no estudo e beneficiamento mineral, seja para escolha dos equipamentos necessários ou mesmo para viabilizar ou não um empreendimento.

Um novo panorama está se tornando cada vez mais pertinente ao meio, o estudo de grau de liberação utilizando de análises computacionais de imagens, como por exemplo o programa ImageJ, ou alguns outros que tem surgido para tentar sanar essa carência operacional do método de estudo de grau de liberdade mineral.

O trabalho em questão propõe a criação de um programa capaz de fazer análises de imagens, em parceria com *softwares* matemáticos, que forneçam resultados quantitativos e gráficos em tempo real, sobre o grau de liberação de um minério, além disso, o programa desenvolvido terá de apresentar valores satisfatórios, com relação às técnicas atualmente usadas, para comprovar sua eficiência, podendo mudar o panorama de diversos processos minerais, dando agilidade e simplicidade nas suas fases de caracterização. São utilizados programas pré-existentes como *MATLAB* e linguagem *Python*, além de acesso a bibliotecas como a *SQL*, para proporcionar resultados com maior confiabilidade, utilizando de linhas de códigos próprios.

É proposto uma interface de simples acesso e fácil utilização, a fim de que qualquer usuário consiga obter resultados satisfatórios no estudo de grau de liberação de partículas minerais. Com isso é possível proporcionar a não dependência de mão de obra especializada para esse fim, diminuindo o custo e aumentando a velocidade com o estudo em geral, sem comprometer a confiabilidade dos resultados obtidos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão abordados diversos conceitos para uma melhor exemplificação do contexto desse trabalho.

2.1 Minerais e seus usos

A comissão de novos minerais e nomenclaturas minerais da Associação Mineralógica Internacional (CNMMN/IMA) descreve o termo mineral como substância sólida, inorgânica e cristalina com composição química e propriedades físicas bem definidas, resultado de um processo geológico terrestre, sem intervenção humana.

O estudo mineralógico aplicado às etapas de beneficiamento mineral tem papel fundamental nas etapas posteriores, pelo conhecimento necessário do material proveniente do *run of mine*, para que todos os processos subsequentes tenham a máxima eficiência possível. Levando em consideração que nem sempre relatórios de pesquisas geológicas, contendo informações como petrografia, litoestratigrafia, geologia estrutural e econômica são realmente úteis para processos de beneficiando mineral Hamilton *et al.* (2010) a importância de um estudo aprofundado levando em considerações características qualitativas e quantitativas se mostram indispensáveis para posteriores escolhas de métodos de concentração e separação dos minerais de interesse, podendo viabilizar ou não todo um processo mineral.

Atividades industriais e agrícolas, metalúrgicas e de indústrias químicas além da construção civil e cultivos agrícolas utilizam minerais e seus derivados. Fertilizantes, metais, ligas metálicas, matérias primas da construção civil, além de tantos outros também são provenientes da indústria mineral (LUZ; LINS, 2010).

A importância dos minerais sobre o desenvolvimento humano se encontra cada vez mais associados, devido ao aumento populacional atual, podemos observar também uma relação direta de países desenvolvidos com consumo *per capita* de minerais de 3 a 6 vezes maior que países em desenvolvimento (LUZ; LINS 2010).

Alguns países tem a mineração como uma expressiva participante da economia, como Chile e Austrália, com valores que passam os 20% de seu PIB (Produto Interno Bruto), com uma menor participação em relação ao PIB o Brasil, entretanto se mostra como uma potência na indústria mineral (KOPPE, 2007). Consoante ao mesmo autor, cerca de 4,5% do PIB nacional era proveniente da indústria mineral, e que no ano de 2004, 2370 minas se encontravam em operação no país, com uma tendência de crescimento constante nos últimos anos.

Quadro 1-Classificação das minas pelo porte de produção.

Produção ROM T/ANO	Classificação das Minas	Número de minas
>1.000.000	Grandes	94
100.000 a 1.000.000	Médias	554
<100.000	Pequenas	1719

Fonte: (DNPM, 2005).

Como mencionado, o Brasil tem diversas reservas minerais já conhecidas, anualmente o DNPM (Departamento Nacional De Produção Mineral) divulga um relatório com os principais dados minerais relativos a produção, reservas, e características brasileiras do setor minerário, ao longo do tempo novas reservas são descobertas e a tendência é que esse panorama continue com o avanço das pesquisas e de novas tecnologias para tal. Tais descobertas se tornam imprescindíveis para aumento e/ou manutenção do cenário minerário nacional, uma vez que grande parte das reservas encontradas atualmente apresentam menores teores e maiores dificuldades em relação a exploração quando comparadas com reservas antigas, por estarem com minérios menos liberados e maiores profundidades, o que demanda uma maior tecnologia para sua exploração em relação a reservas que já se encontram em fase de exploração e reservas exauridas.

Em relação as reservas minerais brasileiras, elas se encontram divididas em diversos estados, com destaque para Minas Gerais, Goiás e Pará que concentram uma significativa parte das reservas nacionais, quando se tratando de bens minerais metálicos como apresentados na Figura 1.

PRINCIPAIS RESERVAS MINERAIS

Al, Au, Cu, Fe, Mn, Nb, Ni, Sn
2015

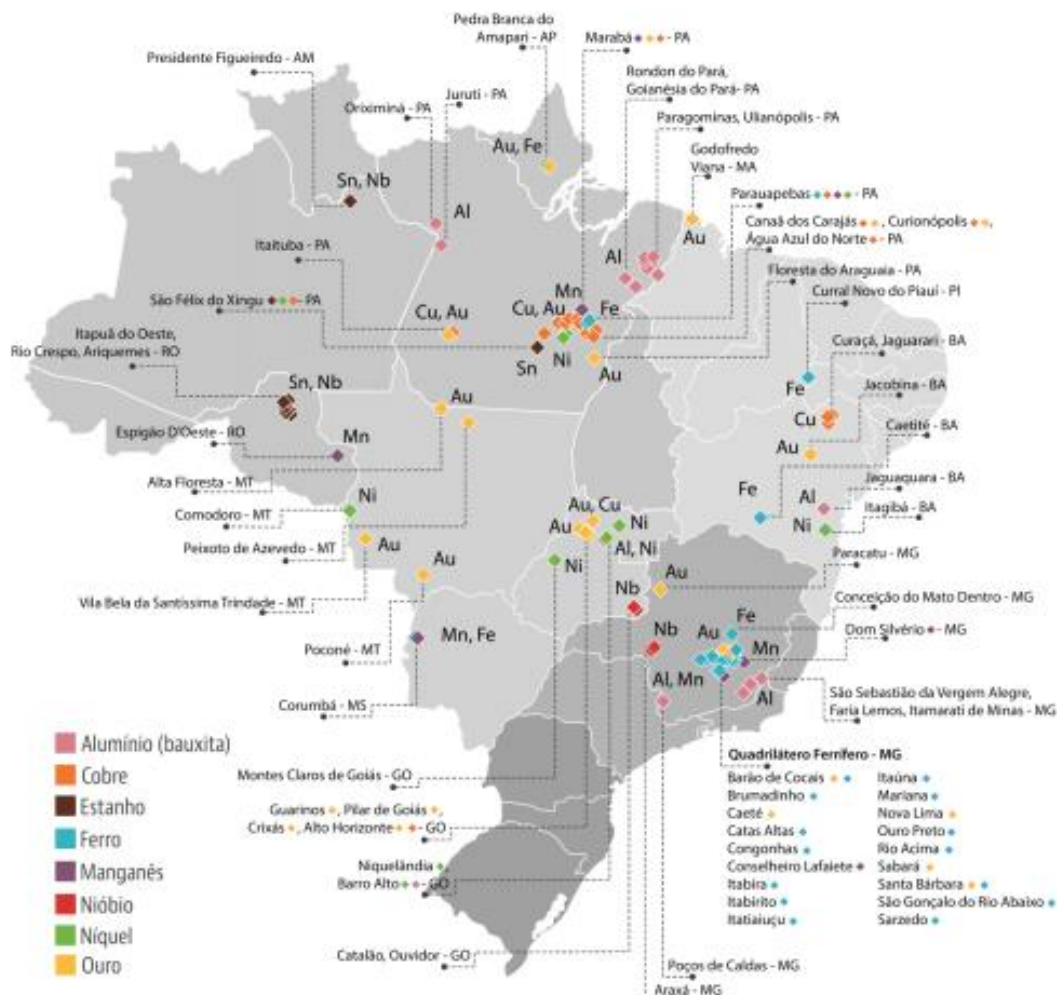


Figura 1- Localização das principais reservas minerais de alumínio, cobre, estanho, ferro, manganês, nióbio, níquel e ouro.

Fonte: DNPM (2005).

Segundo o Anuário Nacional (2016) apresentado pelo DNPM “Em 2015, as substâncias da classe dos metálicos responderam por cerca de 76% do valor total da produção mineral comercializada brasileira. Dentre essas substâncias, oito destacam-se por corresponderem a 98,5% do valor da produção comercializada da classe, quais sejam: alumínio, cobre, estanho, ferro, manganês, nióbio, níquel e ouro”.

2.2 Processamento de Minérios e Liberação Mineral

A operação de concentração na indústria mineral tem por objetivo básico a separação do mineral minério do estéril, para obtenção de produtos a serem utilizados nas etapas industriais subsequentes. Baseadas nas diferenças físicas e químicas entre as espécies minerais caracterizadas pela propriedade diferenciadora que são principalmente: massa específica (Concentração Gravítica), susceptibilidade magnética (Concentração Magnética) e propriedades de superfície (Flotação) (FERREIRA, 2013).

Em certos tipos de depósitos minerais, o minério pode se encontrar naturalmente liberado, como são os casos de minérios densos provenientes de depósitos fluviais, porém na grande maioria dos casos os minérios se encontram consolidados, associados a estéril, com maior ou menor grau de associação, inviabilizando assim sua concentração direta, necessidade de aumentar o grau de liberação mineral, por meio de processos de cominuição.

Segundo Ferreira (2013), existe uma correlação intuitiva de que quanto mais fragmentado determinado minério, maior é seu grau de liberação, porém existem duas razões para uma limitação da fragmentação ao estritamente necessário:

- i. Elevado custo das operações de cominuição, seja pela energia necessária ou pelo desgaste dos equipamentos;
- ii. Desempenho insatisfatório de partículas ultrafinas nos processos de concentração.

2.3 Liberação e Análise de Liberabilidade

De acordo com Chaves (2006), a liberação mineral é um requisito básico e fundamental para minérios de ferro, assim como o ferro, diversos outros minerais necessitam possuir uma determinada liberação em relação a outros minerais de interesse e sua ganga em questão, desta forma, liberação mineral pode ser caracterizado como sendo uma espécie mineral que se encontra liberada em relação a outras espécies de um determinado minério, considerando livres aquelas partículas cuja concentração se caracteriza por apenas 1 espécie, e mistas aquelas com partículas de composição multiminerais. (Hamilton *et al.* 2010).

Espectro de liberação em síntese, é a distribuição dos componentes de uma população específica, na grande maioria dos minérios várias fases estão presentes, com ao menos uma de valor econômico, e outra estéril. Dessa forma partículas com apenas uma fase são chamadas de liberadas, todas as outras são compostas (NEUMANN; SCHNEIDER; NETO, 2010). Ainda sobre os mesmos autores, em muitos casos minérios de múltiplas fases podem ser considerados binários, como por exemplo alguns itabiritos que contem goethita, magnetita hematita podem ser consideradas fases ferruginosas e quartzo e outros minerais como silicatos que são considerados apenas como estéril.

Segundo Ferreira (2013), nos estudos relacionados à liberação mineral um importante quesito é a medição do grau de liberação, ou do espectro de liberação de uma amostra, seja ela de ROM (*Run of Mine*), alimentação de um processo de concentração, ou mesmo do concentrado ou rejeito. Geralmente toma-se o grau de liberação do mineral útil no minério, mas no caso do minério de ferro, especialmente na flotação reversa, usualmente é medido o grau de liberação do quartzo, o mineral de ganga para melhores previsibilidades.

Existe uma grande variedade de métodos de determinação do grau de liberação e do espectro de liberação, sendo alguns deles: método de Gaudin, separação em meio denso, que segundo a literatura atual são os mais utilizados, existindo também separação em suspensões coloidais ferromagnéticas sob campo magnético externo, método da análise química e análise de imagens, que vem tendo seu uso aumentado com o passar dos anos, devido seus avanços de velocidade e precisão na análise de dados.

2.3.1 Método de Gaudin

Gaudin (1939) define grau de liberação como sendo a porcentagem da espécie mineral que ocorre como partícula livre em relação ao somatório de partículas mistas e livres. O grau de associação então é o percentual correspondente de determinado mineral em relação ao total de partículas mistas.

O método tradicional utilizado é o de *Gaudin* (1939) em que para o cálculo é utilizada a equação a seguir:

$$Gl = \frac{Pl}{Pl + Pm} * 100$$

Em que:

GI= Grau de liberação;

P_l = Área mineralizada da partícula livre

P_m = Área mineralizada das partículas mistas

Por ser o pioneiro no desenvolvimento de cálculos sobre grau de liberação *Gaudin* (1939) conseguiu difundir seu método em larga escala até os dias atuais, principalmente se tratando de minérios de ferro.

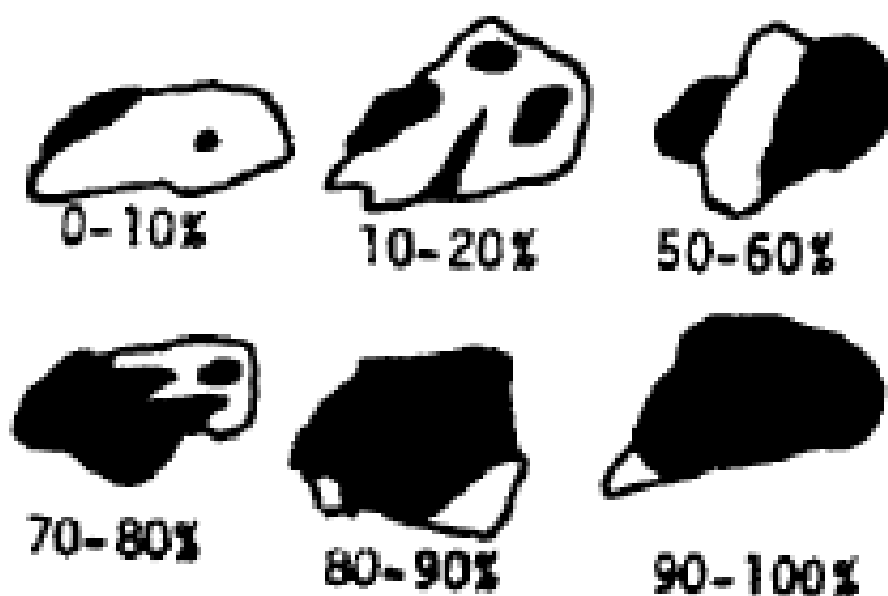


Figura 2 -Classes de composição de concentrações das partículas.

Fonte: Petruk (2000).

O método de *Gaudin* (1939) tem a vantagem de poder ser utilizado para verificar o grau de liberação de diferentes minerais, utilizando o método de contagem, em que o mineral a ser analisado pode ser escolhido pelo responsável pela contagem, necessitando apenas ter uma cor visualmente diferente em relação as outras a fim de serem separadas, podendo ser aplicados graus de liberação a diferentes minerais constantes em uma mesma amostra, ou diferentes amostras com os mesmos minerais, de forma a tornar o método bastante aplicável na indústria mineral.

Esse método contém falhas e erros inerentes ao seu processo, como a alta dependência de um operador com experiência na contagem, dependência da idoneidade do operador em relação a contagem de valores, por ser um processo

totalmente intuitivo e visual, ficando difícil a contraprova dos valores fornecidos na operação, sendo dependente de uma segunda opinião, realizada por um segundo técnico que também teria os mesmos detalhes de processos inerentes aos do primeiro operador, além disso existem aspectos que dizem respeito a dinamicidade do processo, sendo esse método lento quando comparado a novas formas de análises computacionais de imagem, que dão uma maior dinamicidade a todos os processos subsequentes da indústria mineral.

Existe ainda um fator de correção proposto por Gaudin (1939) de correção de erros referentes a quantificação de partículas à primeira vista livres, que após uma análise minuciosa se apresentam mistas, tal erro é devido ao método de seccionamento das partículas, que pode gerar uma secção totalmente livre, provocando um erro ao processo, ainda segundo Gaudin o número de partículas a serem contadas deve ser estimado pelo método dos mínimos quadrados de Gauss, em que o erro varia com a raiz quadrada do número de partículas a serem analisadas, ou seja ao ser quadruplicada o número de partículas a precisão é apenas duplicada.

2.3.2 Fracionamento em Líquidos Densos

Com todos esses detalhes, medir o espectro de liberação não é tão fácil, se não essa medição seria de praxe em todas as plantas de tratamento, existindo métodos diretos e indiretos para tal determinação, uma técnica bastante utilizada é a de fracionamentos em líquidos densos (FILHO *et al.*, 2016)

Existe um detalhe na aplicação de técnicas de fracionamento em meios densos, a dificuldade e/ou impossibilidade se baseia no fato de que determinados minérios tem densidade do mineral de interesse próximos a densidades da ganga, com isso o método não teria eficiência por sua propriedade diferenciadora não conseguir agir de maneira eficiente no minério em questão, como por exemplo a apatita e magnesita.

A técnica de fracionamento em líquidos densos tem sido utilizada na indústria do carvão mineral por décadas, que se tornou uma modalidade de tratamento de minérios a parte, por contar com sua própria literatura e jargões próprios, justamente pelos engenheiros terem se baseado em estudos de espectro de liberação,

conhecidos no ramo do carvão mineral como curva de lavabilidade. De acordo com Neuman *et al.* (2004), líquidos densos não tem uma aplicação satisfatória no fracionamento de sulfetos e óxidos, devido às altas densidades envolvidas, e alguns outros minérios tem densidades de estéril e minério muito similares, o que também inviabiliza tal aplicação.

Segundo Hamilton; Barbosa; Bertolino (2010) a liberação mineralógica em simples observações visuais é facilmente detectada, com algumas limitações como a impossibilidade de preparação de soluções densas superiores a densidade de 4,3 da solução de *clerice* (mistura de malonato de tálio com formiato de tálio).

Na Figura 3 podem ser vistos 4 tubos de ensaio utilizados no processo de separação por diferença de densidade, com o objetivo de observar a liberação mineral em diferentes faixas granulométricas, com os tubos preenchidos de líquidos de faixas de densidade variando de (2,6 a 3,3).

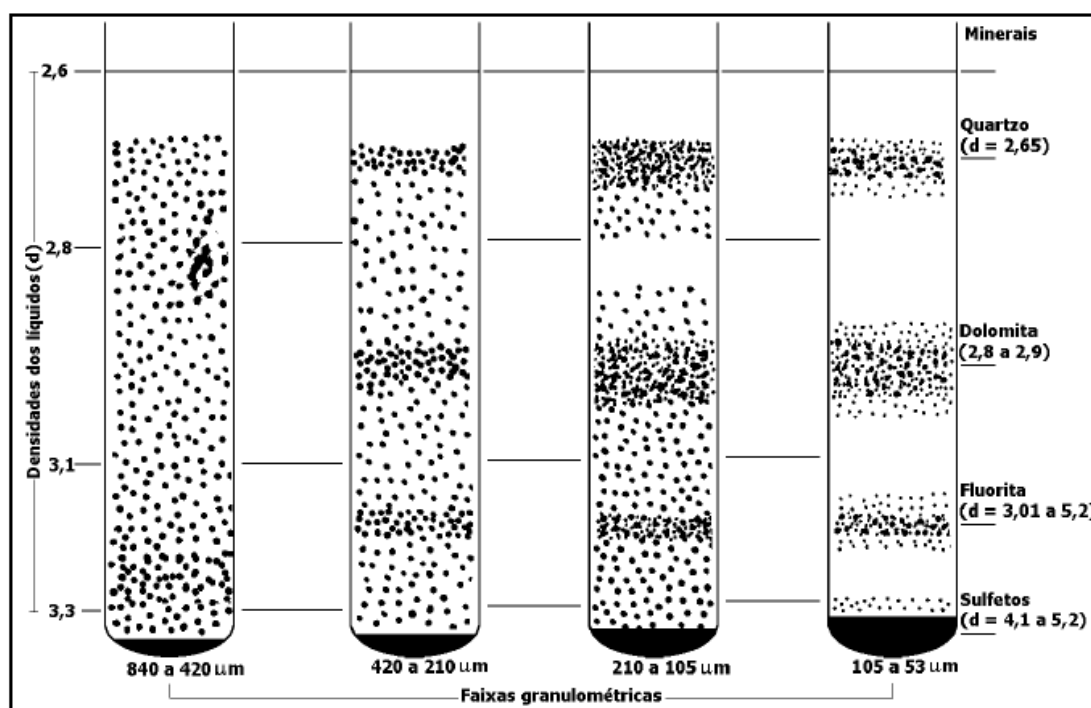


Figura 3- Ilustração do efeito do aumento de liberação mineral com a diminuição da granulometria.

Fonte: CETEM

Diversos líquidos densos podem ser utilizados na preparação dos testes de fracionamento em líquidos densos, com densidades variando de 1,59 para o tetracloreto de carbono, até 4,3 da solução de *Clerici*, a escolha do líquido ou dos líquidos a serem utilizados, tem um embasamento teórico ligado aos minerais

presentes na amostra, à medida que a densidade do líquido tem de ser entre dois dos minerais presentes na amostras, com o objetivo de um flutuar e o outro afundar, podendo fazer a separação por densidade das amostras a serem pesquisadas. Na Figura 4, podem ser vistos os líquidos densos mais utilizados na indústria mineral, com suas respectivas densidades, fórmula química, e solventes.

Líquido Denso	Fórmula Química	Densidade 20°C	Solvente
Tetracloro de Carbono	CCl_4	1,590	Benzeno
Percloroetileno		1,620	Shell Nafta
Solução de Cloreto de Zinco	ZnCl_2	1,800	Água
Solução de Cloreto de Sódio	NaCl	2,1-2,2	Água
Brometo de Metileno	CH_2Br_2	2,590	Álcool éter etílicos
Bromofórmio	CHBr_3	2,890	Tetracloro de carbono, álcool etílico, fercloroetileno, Shell nafta, acetona e éter etílico
Tetrabrometano	$\text{CHBr}_2\text{CHBr}_2$	2,967	Tetracloro de carbono, benzeno, éter etílico e acetona
Solução de Thoulet*		3,190	Água, álcool etílico
Iodeto de Metileno	CH_2I_2	3,325	Metanol, benzol, éter etílico e tetracloro de carbono
Solução de Clerici**	$\text{CH}_2(\text{COOTe})_2$ HCOOTI	4,30	

* Solução de Thoulet: é uma solução de mercúrio e potássio.

** Solução de Clerici: mistura de malonato de tálio com formiato de tálio.

Figura 4- Principais meios densos utilizados.

Fonte: CETEM

2.4 Imagem Digital

Segundo Delbem (2014) uma imagem digital pode ser definida como uma função $f(X, Y)$ bidimensional, em que os valores de X e Y são coordenadas espaciais, e o valor de f em qualquer par de coordenadas (X, Y) , é um número inteiro que representa a intensidade da cor naquele ponto, chamado de *pixel*. A Figura 5 apresenta uma imagem digital monocromática na escala de cinza em 8 *bits* (256 níveis de cinza), além da escala numérica de localização (X, Y) , pode ser vista também a seleção de uma pequena parte da imagem, em que são demonstrados a intensidade dos *pixels* na escala do cinza utilizado.

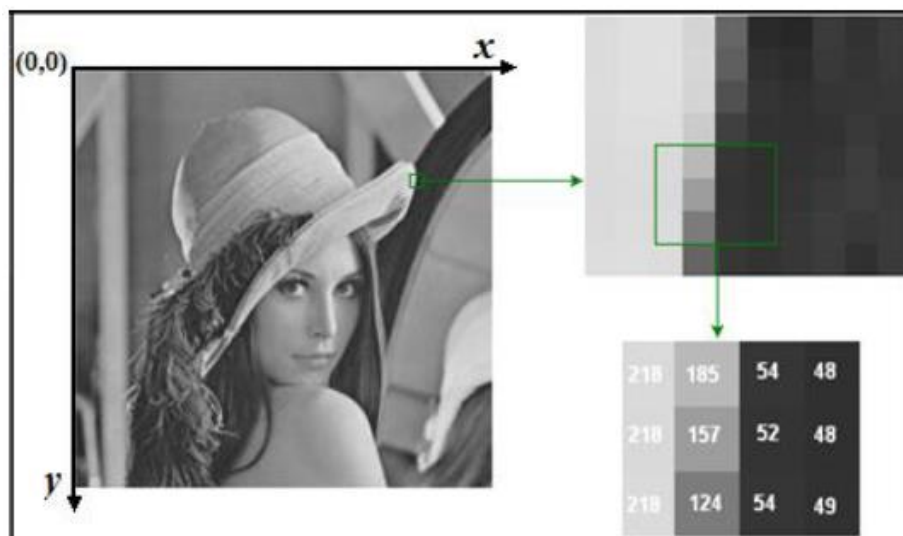


Figura 5- Representação de uma imagem Digital.

Fonte: Apud. Delbem (2012).

Para uma imagem digital na escala de cinza, os níveis podem variar de 0 (preto absoluto) até 255 (Branco absoluto), variando de maneira constante à medida que as cores vão mudando a tonalidade.

Segundo Delbem (2014), outro fator associado às imagens é sua resolução, intimamente ligada à quantidade de pixels presentes por unidade de área, conhecidos muitas vezes por *PPI* (“*pixels per inch*”) ou *pixels* por polegada em tradução direta, sendo assim uma grandeza, que quanto maior, melhor será a qualidade da imagem, e maior será sua definição. Na Figura 6, vemos imagens na escala de cinza, que representam tanto a intensidade das cores, quanto suas resoluções.

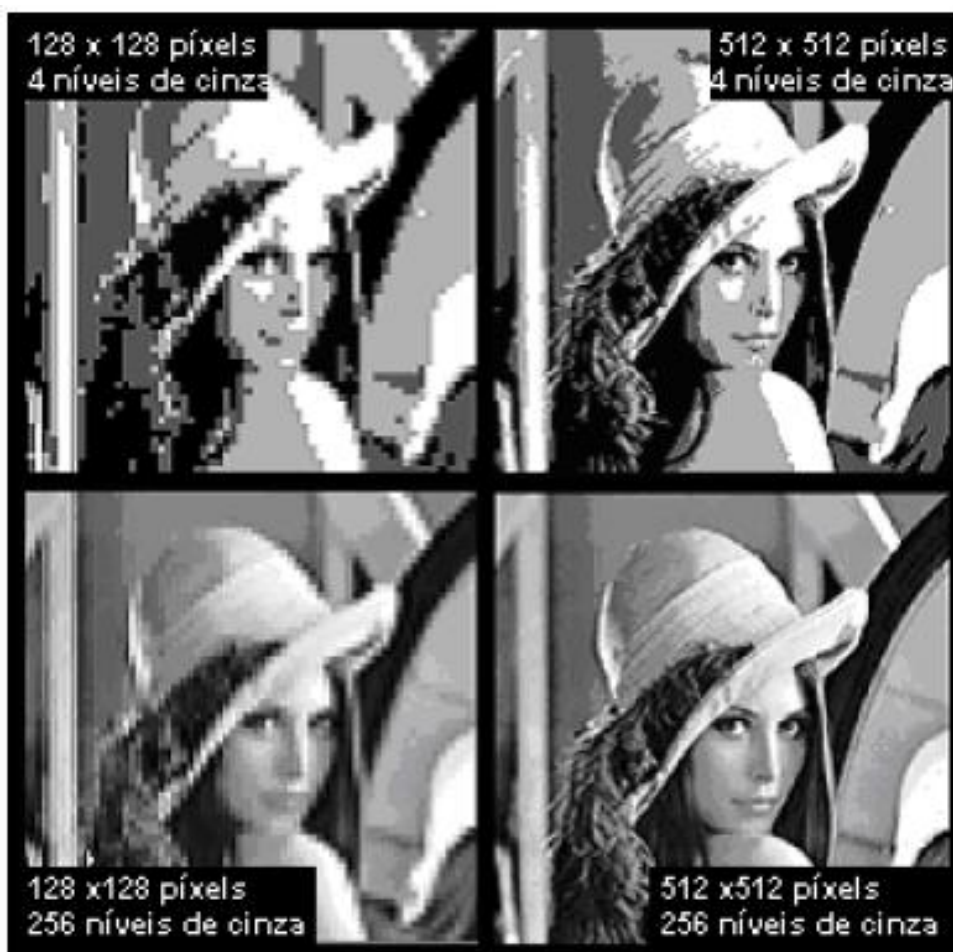


Figura 6- Exemplo da variação de resolução em uma imagem digital.
 Fonte: Apud. Delbem (2014)

A qualidade das imagens digitais tem importância fundamental nos processos de análise de imagem, pois podem variar os resultados encontrados, mascarar valores, ou mesmo fornecer valores incorretos devido à falta de qualidade da imagem analisada, em que o contraste entre duas ou mais fases da imagem, a fim de poder segmentá-las, ou visualizá-las, dando maiores precisões nos resultados.

Contudo, nem sempre, a maior resolução e intensidade, representam a melhor solução para um determinado caso. O aumento indiscriminado desses parâmetros pode levar a imagem digital a possuir informações desnecessárias ou até mesmo sem sentido físico (WOJNAR; KURZYDLOWSKI, 2000).

O ajuste preciso do brilho e do contraste de uma imagem tem importância imprescindíveis, devido as possibilidades de melhorar a aparência, e possibilitar a melhor aplicação de várias técnicas de processamento e análises de imagens (DELBEM, 2014).

2.4.1 Processamento e Análise Digital de Imagens (PADI)

As técnicas relacionadas ao PADI têm uma fundamental importância no desenvolvimento e aprimoramento de estudos de caracterização mineral, as imagens digitais geradas segundo Delbem (2010), são obtidas a partir de microscópios eletrônicos de varredura (MEV), e/ou microscópios óticos (MO). Sendo possível a partir dessas técnicas determinar o grau de liberação, utilizando ideias parecidas com o que foi proposto por Gaudin (1939), além de quantificar as fases minerais presentes.

São necessários alguns cuidados para utilização desse tipo de análise, que vão desde preparação de amostras, até o processo de aquisição das imagens pelo microscópio. Ainda segundo Delbem (2010), para o estudo de liberação mineral, as amostras devem ser classificadas em curtas faixas de tamanhos granulométricos, por exemplo seguindo a série de *Tyler* de peneiras. A preparação das amostras é feita em sessões polidas, com uma fração de cada tamanho embutida em resina epóxi, que na sequência é desbastada e polida, para se chegar as características necessárias. Esses procedimentos têm por objetivo produzir superfícies planas, para evitar influências topográficas das imagens obtidas pelos microscópios.

2.5 Programas e Conceitos Utilizados

2.5.1 Computador e Programas

Segundo Setzer (2007) computadores são máquinas matemáticas, lógicas e algorítmicas, rigorosamente um computador nunca executa uma instrução, ele a interpreta, por estar em linguagem de máquina, além disso, a matemática utilizada é restrita, só trabalhando com símbolos de um conjunto finito no qual podem ser atribuídos a um sistema numérico.

Conforme o mesmo autor um programa é caracterizado como uma sequência de instruções, que podem ser uma sequência bem definidas, ou seja válida. Porém esse programa pode entrar em uma serie infinita de ações, certamente com repetições, na qual não há nenhum novo dado de entrada, então não é caracterizado como algoritmo.

Nossas primeiras ligações com computadores são provenientes de máquinas da década de 1940, com milhares de partes, entretanto os cérebros humanos contem bilhões de células, computadores atuais representam uma transição nesse sentido, com milhões de partes, e outros com bilhões de partes virão a ser construídos para o uso da inteligência artificial (MINSKY, 1985).

Diversos pensadores como Fetzer e Searle ou Roger Penrose, não consideram o cérebro como máquinas, ou mesmo que as máquinas algum dia conseguiram se comportar como o cérebro humano, seja pela incapacidade das máquinas agirem de forma sintáticas e nunca semânticas, ou mesmo que o nosso pensamento não se parece em nada com um algoritmo (SETZER, 2007).

Como visto por diversos pensadores, existe serias discussões sobre as diferenças entre homens e máquinas, e qual o real limite destas diferenças, alguns pensadores acreditando que estamos caminhando para o alcance das máquinas ao cérebro humano, e outros acreditando que nunca a máquina conseguira chegar ao mesmo patamar, sendo assim a discussão calorosa entre mentes, computadores e programas, tende a permanecer viva por muito tempo, até pelo fato que o desconhecido desperta medo, e o medo desperta argumentos e ações de repressão para uma sensação de segurança do agente em questão.

2.6 Inteligência Artificial

Segundo Ribeiro (2010), o homem tem uma capacidade única de raciocínio e durante milhares de anos procuram entender como esse processo de raciocínio é feito, a inteligência artificial busca não apenas compreender, mas também construir entidades dotadas de inteligência.

A inteligência artificial em si é uma ciência recente, que teve seu início após a segunda guerra mundial, que pode abranger diversos campos, como percepção e aprendizado e campos específicos, como jogo de xadrez, demonstração de teoremas matemáticos e diagnósticos de doenças (Ribeiro, 2010).

Ainda segundo Ribeiro (2010), é difícil ter uma definição previa do que exatamente é a inteligência artificial, podendo funcionar como sistemas que pensam e que agem como seres humanos. Alan Turing (1950) foi o “primeiro” a articular uma visão real da inteligência artificial, em seu artigo “*Computing Machinery and*

intelligency”, onde propunha um teste que fosse incapaz de distinguir entre entidades inegavelmente inteligentes “humanos”, em que o computador passará por testes em que um interrogador humano, depois de propor algumas perguntas, for incapaz de descobrir se a resposta é proveniente de uma máquina ou de um humano, no caso dos testes as respostas deveriam ser dadas escritas ou se possível datilografadas, para que a voz, ou tom de voz não atrapalha-se no critério de escolha (GUNKEL, 2017).

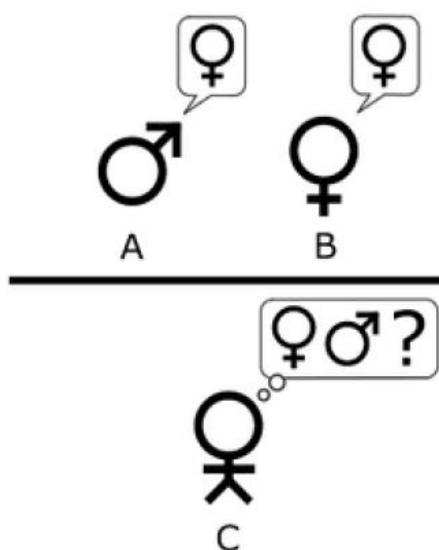


Figura 7- Jogo de imitação.
Fonte: Gunkel (2017).

2.7 Aprendizado De Máquinas

Segundo Prati (2006), o aprendizado de máquinas pode ser caracterizado por uma série de práticas voltadas para solução de problemas nos quais inicialmente não se conhece uma modelagem ou fórmula para resolvê-lo, o que se conhece são séries de exemplos (fatos), que tendem a descrever situações, comportamentos, ou mesmo objetos, com intuito de encontrar soluções a partir de tais fatos.

Setzer (2007) atribui um exemplo a explicação acima, em 1997 o *Deep Blue (DB)* computador da *IBM*, ganhou um torneio de Xadrez do campeão mundial e referência no esporte, o russo Kasparov (*K*), em que *DB* saiu vitorioso em 2 jogos, foi derrotado em 1 jogo, e ainda houveram 3 empates. Conforme Setzer (2007), muitas pessoas celebraram a vitória do *DB*, acreditando que as máquinas haviam superado os homens, entretanto o mesmo autor acredita que ao analisar o contexto,

a realidade é um pouco diferente, considerando o xadrez um jogo puramente matemático, em que as posições e regras podem ser classificadas com algoritmos matemáticos de coordenadas 2D.

Ainda conforme o mesmo autor, é demonstrado que o DB era uma máquina programada apenas para o xadrez, que poderia testar 36 bilhões de movimentos no tempo de 3 minutos permitidos, além de possuir gravações de jogos antigos de Kasparov, podendo tentar entender e supor possíveis futuros movimentos, baseados no aprendizado de máquinas.

Então a pergunta que realmente fica é como foi possível uma máquina matemática, jogando um jogo matemático perder para um humano e empatar outras 3 vezes? Setzer (2007) chega a uma conclusão lógica que que Kasparov não estava testando possíveis combinações de possibilidades, mas sim usando sua intuição para fazer movimentos, nem sempre os mais esperados pela máquina, com isso conclui também que intuição não pode ser descrita matematicamente, por se tratar de um pensamento que vem do “nada” sendo a intuição totalmente “anticientífica”.

2.8 Lógica Fuzzy

Segundo Marro *et.al* (2010), o termo *fuzzy* pode ter vários significados na língua inglesa, que podem variar de acordo com o contexto nas quais se localizam, sempre tendo relação com “vago, incerto, impreciso”, com isso a tradução para o português não é uma unanimidade, sendo associada a palavras como “nebuloso, difuso”, que são os exemplos mais populares encontrados.

Ainda segundo o próprio Marro, a lógica *fuzzy* ou multivalorada, foi inicialmente introduzida em 1930, pelo polonês, Jan Lukasiewicz, o filósofo Max Black, propôs a ideia de graus para descrever uma continuidade, descrevendo o primeiro conjunto *fuzzy*, e propôs algumas ideias de operação utilizando esse conceito, entretanto foi só em 1965 que Lofti Zadeh, publicou o artigo “*Fuzzy sets*”, que posteriormente foi chamada da lógica multivalorada, ficando Lofti conhecido como “mestre” da lógica *fuzzy*.

Consoante a Marro (2010), tal lógica, pode ser interpretada como uma forma de representação de elementos reais de forma imprecisa, apesar de parecer negativo significado para tal palavra no contexto da ciência, se mostra bastante útil para

representar situações reais, nas quais não podem ser representadas por valores fixos, o mesmo autor ainda afirma que a lógica descrita se trata de uma extensão do conceito da lógica *booleana*, que admite apenas valores precisos, como verdadeiro ou falso (1 ou 0), enquanto a lógica *Fuzzy* permite valores intermediários, como pouco verdadeiro, ou muito falso por exemplo.

De acordo com Marro *et al.* (2010), um exemplo claro em relação a diferença entre a lógica clássica e a lógica *fuzzy*, é que uma pessoa com 1 metro e 70 centímetros de altura é considerada na lógica clássica como média ou alta, nunca ambos, o que reflete uma separação de classes que muitas vezes não refletem a realidade, entretanto a lógica *fuzzy* tem por objetivo refletir a forma como as pessoas pensam, tornando os sistemas mais “inteligentes ou humanos”, como visto na Figura 8.

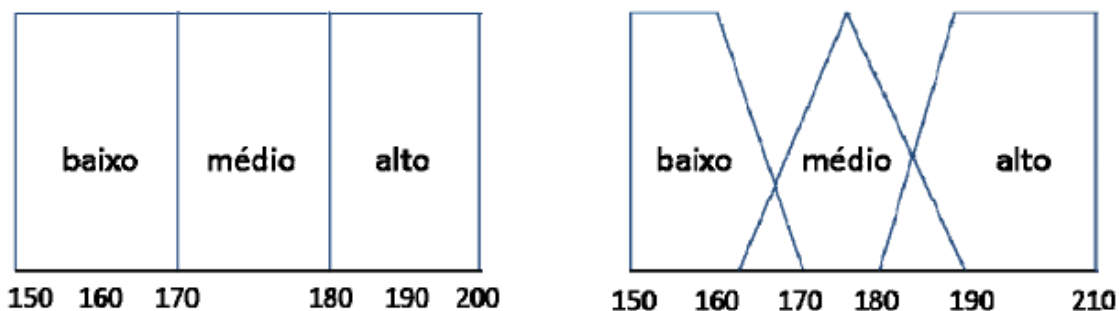


Figura 8 - Representação gráfica de altura segundo a lógica convencional e a lógica Fuzzy.
Fonte: (Marro *et al.*, 2010).

2.9 Linguagem *Python*

Segundo Ribeiro (2011), *Python* pode ser descrita como a linguagem de programação orientada a objetos, com linguagem simples e compatível com a maioria dos sistemas operacionais, como *Windows*, *Linux* e *Mac OS*, além de oferecer opções de interface de multiplataformas, sendo sua criação simplificada um dos fatores que fazem com que diversos pesquisadores façam uso.

Segundo Perico; Shinohara; Sarmiento (2014), essa linguagem é dinâmica, rápida e muito acessível, ainda tem disponível opções de manipulações de dados, que podem ser usados na manipulação de tratamento de erros, ainda segundo os mesmo autores, os códigos escritos em *Python* tem tamanho reduzido quando

comparados com outras linguagens como *C++* ou *Java* (um terço a um quinto do tamanho), além do código não necessitar de previa compilação para rodar.

De acordo com Ribeiro (2011), é importante também lembrar que o *Python*, também é usado em diversos meios como administração de sistemas, sites de internet, interface gráfica, motores de busca (*Google*), redes de computadores, e não apenas no meio acadêmico, ainda são citados exemplos de utilizações da linguagem *Python*, como relatado acima, esses exemplos são:

- Interfaces gráficas
- *API* padrão de bancos de dados
- Bioinformática
- Suporte a *Delphi*
- *Microsoft foundation classes* através de extensões *Win32*
- Desenvolvimento *WEB*
- Banco de dados
- Suporte a *scripts HTML E XML*
- Escrever *scripts CGI*
- Educação
- *Frameworks* para desenvolvimento de jogos: *Pygames* e *Pykyra*

3. METODOLOGIA

O trabalho proposto envolve a preparação da amostra e a realização de dois procedimentos para determinação do grau de liberação, método convencional via microscopia ótica e método computacional. Toda parte experimental foi realizado no laboratório de tratamento de minérios do Centro Federal de Educação Tecnológico de Minas Gerais (CEFET-MG) unidade Araxá. Os procedimentos realizados podem ser visualizados no fluxograma da Figura 9.

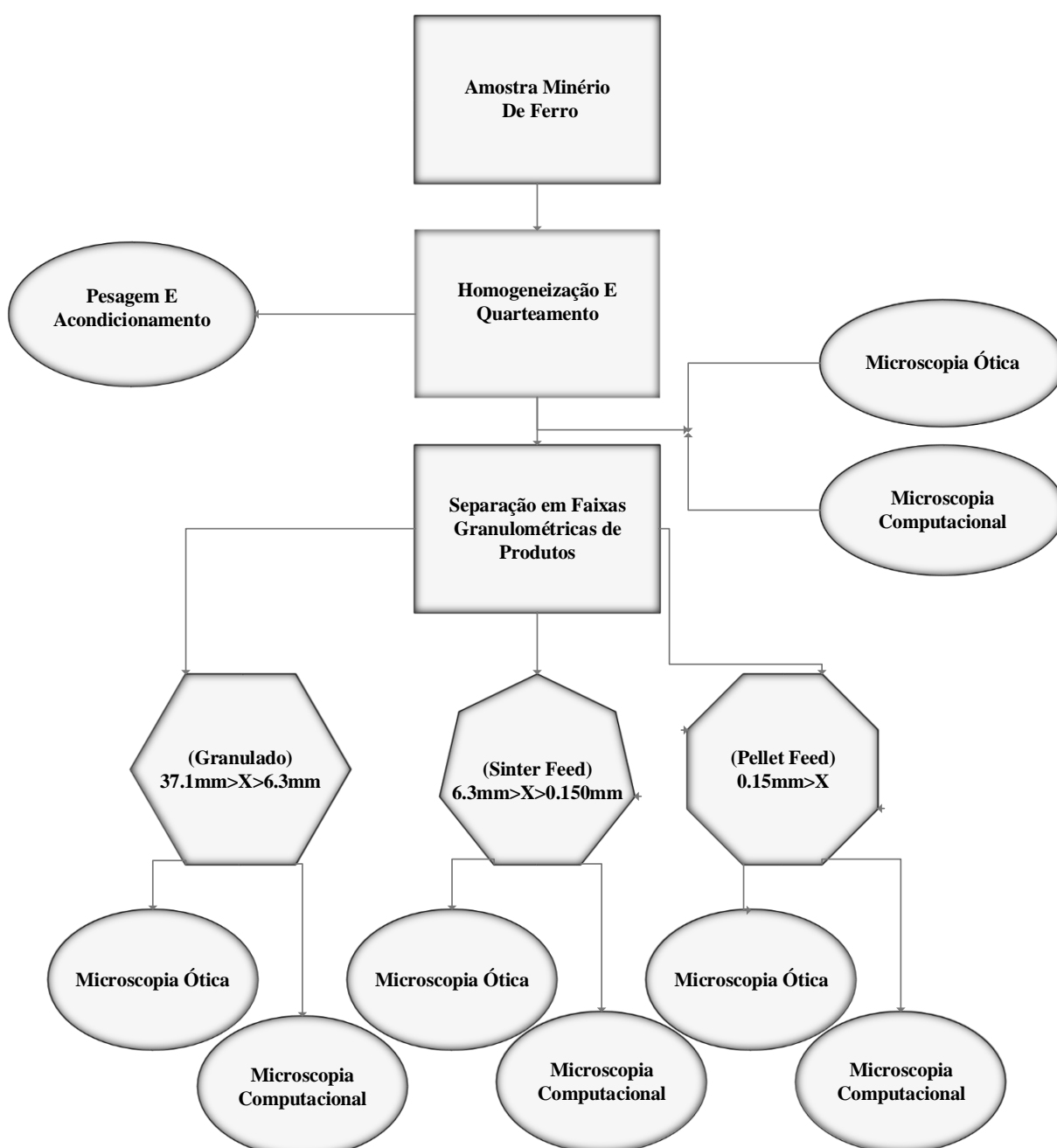


Figura 9- Fluxograma Esquemático Utilizado.

3.1 Preparação das amostras

As amostras de minério de ferro utilizadas são provenientes do depósito do Jambreiro, localizado no município de Guanhões MG, distante 250 km da capital Belo Horizonte. Foram coletadas 2 amostras distintas e enviadas para o Laboratório De Tratamento De Minérios do CEFET-MG unidade Araxá.

As amostras foram divididas em duas partes, uma metade foi destinada a processos de laboratório, tais como lavagem e separação em faixas granulométricas, enquanto a outra metade, com o intuito de simular as características de uma amostra *in situ*, não passou por nenhum processo de preparação. A Figura (10-B) ilustra a amostra que foi retirada de uma frente de lavra ao norte da mina, já a amostra (10-A) foi retirada de uma pilha de homogeneização, utilizada para fazer a blendagem dos produtos, por possuir uma concentração de ferro menor que as especificações necessárias para o mercado.

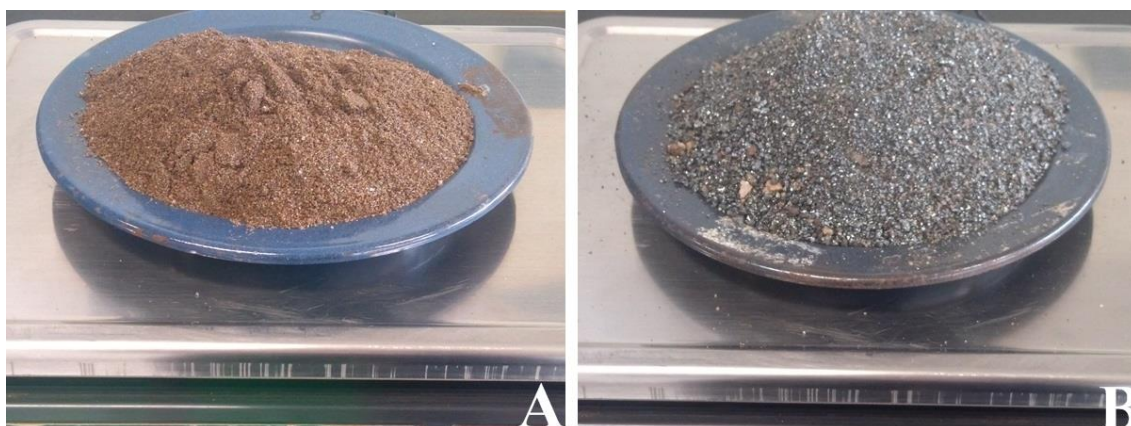


Figura 10- Amostras coletadas

Inicialmente cada amostra foi pesada e em seguida homogeneizada pelo processo de tombamento por meio de uma pilha cônica, repetindo o movimento de 8 ciclos completos. Posteriormente com o auxílio de uma bandeja alimentou-se o quarteador do tipo Jones de forma uniforme, sendo o material dividido pelas canaletas em duas partes. Esse procedimento foi realizado com objetivo de obter amostras representativas de menor massa.

Finalizado os procedimentos de amostragem ambas foram pesadas e destinadas, metade para o processo de separação em faixas granulométricas e a

outra metade, separada para uma análise direta do grau de liberação, sem passar por nenhuma etapa de preparação.

3.2 Separação granulométrica

A separação granulométrica foi realizada por meio do peneiramento a úmido, com o uso do peneirador suspenso (CDC, modelo PV-08), Figura 11, com auxílio de peneiras de alívio. As peneiras utilizadas foram: 16#, 100#, 200#, 270#, 325# e 400#. O processo foi realizado tanto para as amostras (A) e (B).

O peneiramento foi realizado com o objetivo de separar o material em faixa de produtos do minério de ferro, esses produtos são *pellet feed* (partículas abaixo de 0,15 mm), *sínter feed* (partículas com tamanho entre 0,15 mm e 6,3 mm) e granulado (com granulometria entre 6,3 mm e 31,7 mm).



Figura 11-Peneirador Suspenso Utilizado

O material retido nas peneiras foi seco em uma estufa a 100°C por um período de 24 horas.

3.3 Grau de liberação

A determinação do grau de liberação foi realizada de duas maneiras distintas, inicialmente pelo método convencional utilizando um microscópio estereoscópico e posteriormente com o auxílio de softwares para análise de fotomicrografias.

3.3.1 Método convencional

Após concluídas as etapas de preparação da amostra, foram realizadas as análises do grau de liberação pelo método convencional utilizando um microscópio estereoscópico. As alíquotas de cada faixa de produto das amostras A e B foram acondicionadas em uma placa de *Petri*, Figura 12, e com a ajuda de pinças foram analisadas partícula por partícula até que o número mínimo de 800 fosse atingido. Os intervalos de liberação utilizados para o estudo foram: (0-25%), (25%-50%), (50-75%) e (75-100%) de minério.

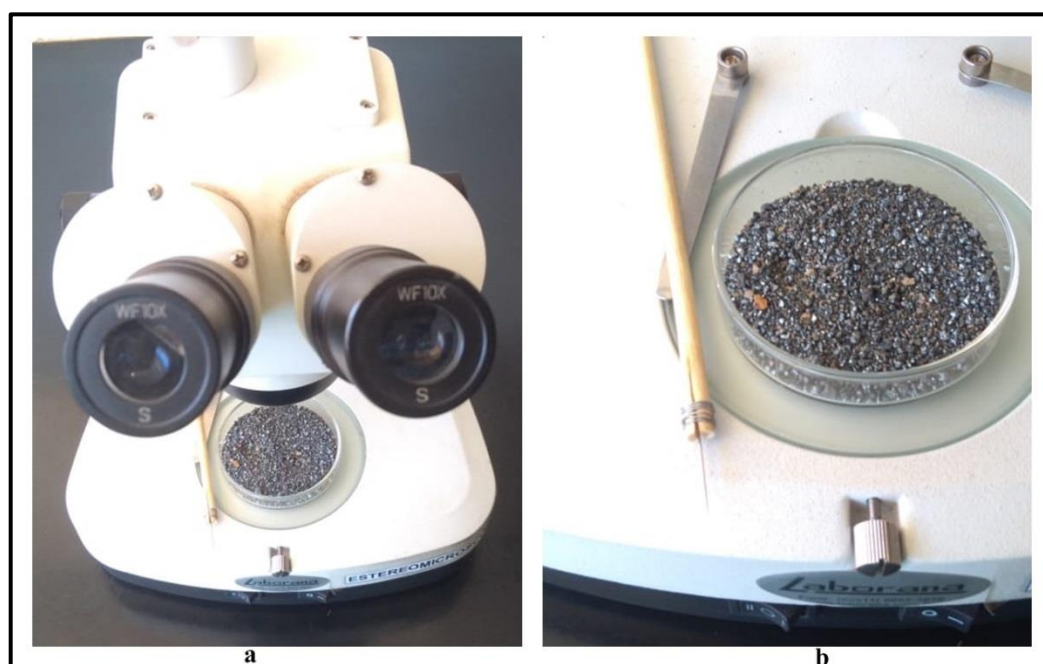


Figura 12-Placa de Petri e Pinças utilizadas

O cálculo do grau de liberação foi baseado na metodologia proposta por Gaudin (1939), que propunha uma fórmula matemática, levando em consideração partículas consideradas livres, divididas por partículas mistas somadas com partículas livres, como pode ser visto na equação a seguir:

$$Gl = \frac{Pl}{Pl + Pm} * 100$$

Em que:

Gl= Grau de liberação;

P_l= Área mineralizada da partícula livre

P_m= Área mineralizada das partículas mistas

3.3.2 Método computacional

Para obtenção das fotomicrografias, foi usado uma câmera do modelo *Lenovo K6plus*, 16 *MegaPixels*, com resolução máxima de 4608 X 3456 *pixels*, de estabilização digital e autofocus. As imagens geradas foram armazenadas em um *pen-drive* da marca *Kingston* modelo DT101G2/4GBZ) e posteriormente inseridas em um computador para realizar as análises do grau de liberação com auxílio de *softwares*.

É válido esclarecer que é possível fazer uma leitura instantânea, isso é, o equipamento de aquisição de imagens – uma câmera do microscópio, uma câmera profissional ou até mesmo usando uma câmera de celular conectada na internet (*stream*) – devidamente configurado.

Para determinação do grau de liberação optou-se por usar dois softwares diferentes no desenvolvimento: o *MATLAB* e também *Python* (com a biblioteca *OpenCV*). A utilização destes se justifica na necessidade de correção de possíveis redundâncias no desenvolvimento e metodologia usando *scripts* e comandos do *MATLAB* e assegurar a qualidade dos dados e correção de possível desvio de padrão. O *Python* e a biblioteca *OpenCV* são ambos gratuitos, o que faz com que possa posteriormente ser disponibilizado para devidos fins acadêmicos.

É necessário a verificação das características da imagem, uma vez que a qualidade da análise está diretamente relacionada com sua aquisição. Não são recomendadas técnicas de compactação, com *ZIP*. A aquisição de imagens pode

ser feita por vídeo, no formato adequado *MP4* com no mínimo 11 *FPS* em 720p. A análise consiste em cinco etapas básicas:

1. Realizar a leitura da imagem para binarização, segmentação e contagem das partículas.
2. Definir valores mínimos e máximos para cada padrão *RGB* para o usuário definir qual será a leitura do Grau de Liberação conforme queira, sendo do mais escuro para o mais claro.
3. Função de separação por método *Watershed*.
4. Definir valores em % conforme a cor selecionada, fazendo assim a escala do Grau de Liberação.
5. Registro em um banco de dados e plotagem de gráficos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados das análises realizadas tanto pelo método convencional, quanto de maneira computacional, para os quatro cenários de produtos, para as amostras A e B.

4.1 Amostras *in situ*

As amostras analisadas *in situ* representam as características do material em campo, para viabilizar a utilização do software nas frentes de lavra, as amostras retiradas não podiam passar por processos de separação granulométrica, nem limpeza de sua superfície.

4.1.1 Método Convencional

A análise consistiu na contagem de 800 partículas aleatoriamente dentro do intervalo amostral em questão, separando em faixas de liberação como mostrados no Quadro 3. A presença do mineral de interesse, neste caso o escuro, em relação ao transparente variava em intervalos de (25 em 25%), sendo caracterizada com 0% as partículas que continham apenas o material transparente e 100% as partículas que continham apenas materiais escuros. Os Quadros 2 e 3 apresentam os dados de contagem para as amostras (A) e (B).

Quadro 2-Análise ótica da amostra (A) *in situ*.

Intervalo de Liberação	0-25%	25-50%	50-75%	75-100%
Número de Partículas	404	12	90	294
Grau de liberação	87,25%			

Quadro 3-Análise ótica da amostra (B) *in situ*.

Intervalo de Liberação	0-25%	25-50%	50-75%	75-100%
Número de Partículas	183	11	6	600
Grau de liberação	97,88%			

Em sequência foram gerados gráficos que representassem a divisão das partículas nos intervalos em que as continham, de maneira a facilitar a visualização dos valores propostos, como pode ser visto pela Figura 13.

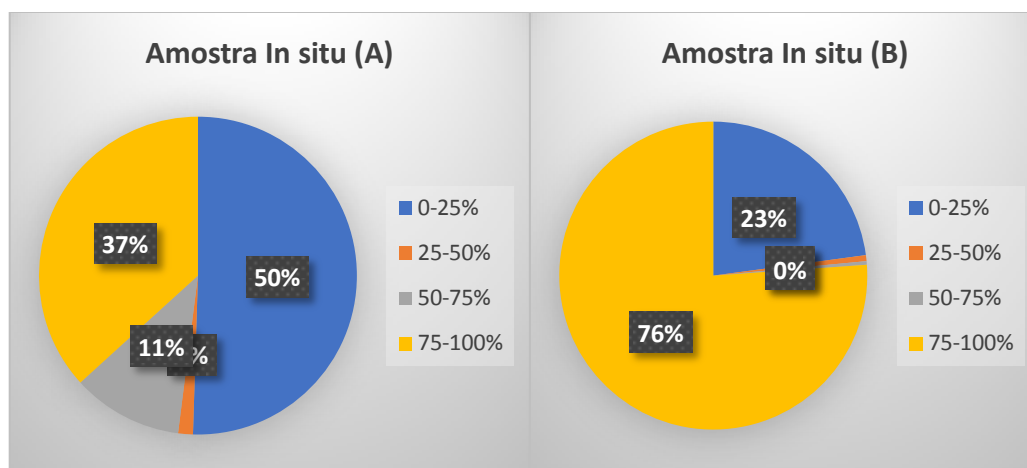


Figura 13- Gráfico Amostras In Situ

É possível verificar que a grande maioria das partículas analisadas em (A) continham menor concentração de material de interesse (Escuro), com 37% delas no intervalo de 75-100%, o que visualmente indicam que a amostra A, continha um menor teor em relação a amostra (B), que apresentavam 76% das amostras nos intervalos de (75-100%), enquanto possuíam 23% de amostras no intervalo de 0-25%, contra 50% da amostra (A). O grau de liberação para A foi de 87,25% e para (B) foi de 97,88%, considerando os intervalos de (0-25% e 75-100%) como totalmente liberados.

4.1.2 Método Computacional

A contagem das partículas para as amostras *in situ* (A) e (B) são apresentadas nas Figuras 14 e 15.

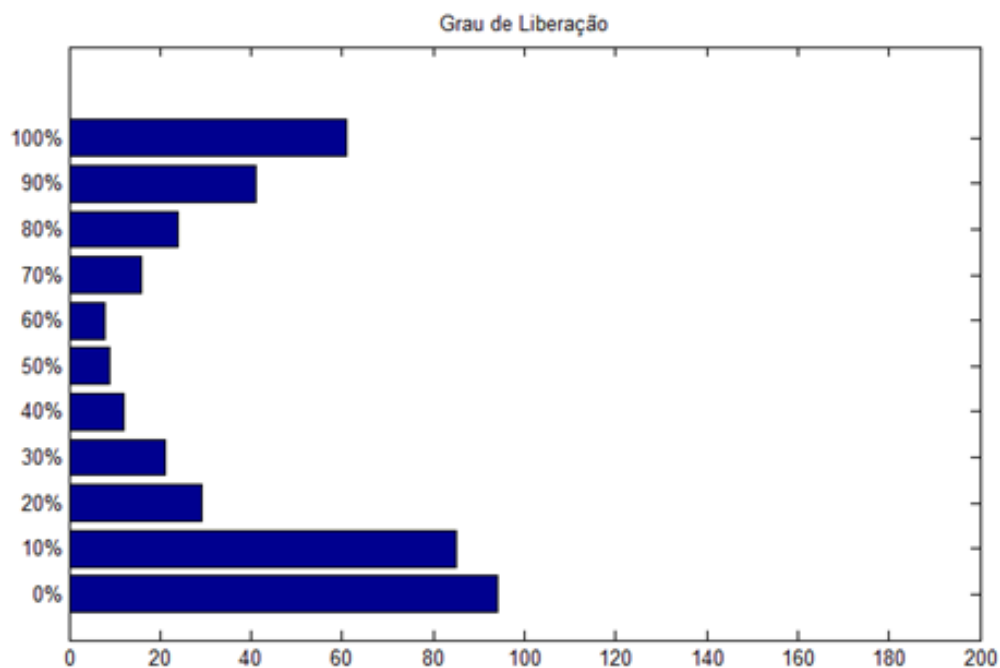


Figura 14- Contagem das partículas da amostra A *in situ*.

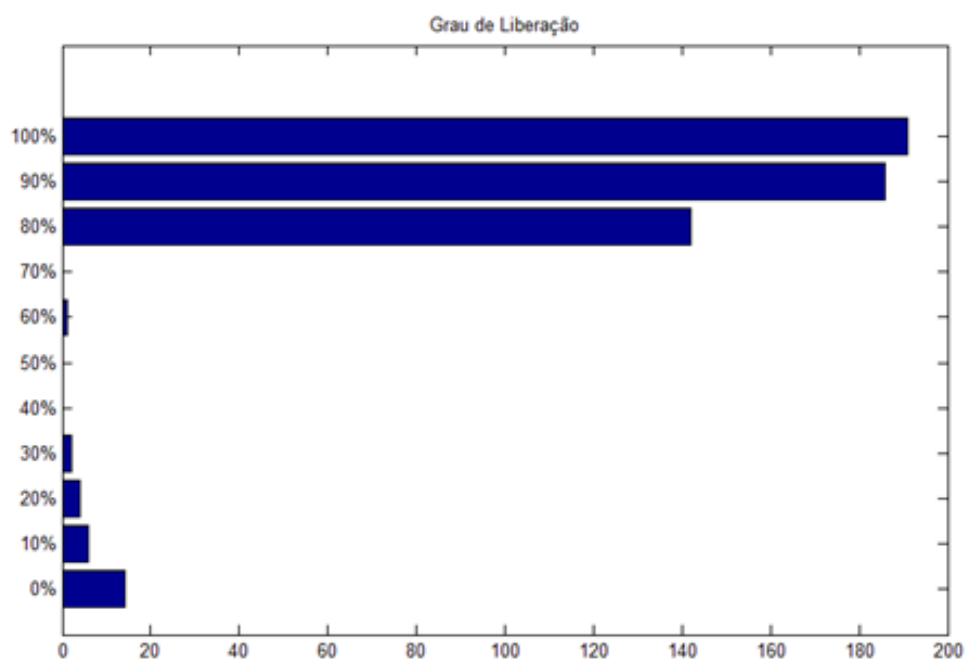


Figura 15-Contagem das partículas da amostra B *in situ*.

O grau de liberação nesse caso pode ser medido de diversas formas, dependendo da consideração de qual intervalo é o liberado, para efeito de comparação com o método visual, os mesmos intervalos foram selecionados (0-25%) e (75-100%) como liberado, e (25-50%) e (50-75%) como partículas mistas, e os resultados foram de 81,50% de G.L na amostra (A) e 86,26% de G.L na amostra (B).

4.2 Amostras Pellet Feed

As amostras de *pellet feed* de tamanho entre 0,037mm e 0,15mm são mostradas a seguir.

4.2.1 Método Convencional

As análises óticas em questão foram realizadas da mesma forma das amostras *in situ*, em que foram analisadas 800 partículas aleatoriamente. A contagem realizada visualmente por meio ótico, foi expressa na forma de tabela, que pode ser vista nos Quadros 4 e 5.

Quadro 4-Análise ótica *pellet feed* amostra (A).

Intervalo de Liberação	0-25%	25-50%	50-75%	75-100%
Número de Partículas	433	0	0	367
Grau de Liberação	100%			

Quadro 5-Análise ótica *pellet feed* amostra (A).

Intervalo de Liberação	0-25%	25-50%	50-75%	75-100%
Número de Partículas	440	1	0	470
Grau de Liberação	99,89%			

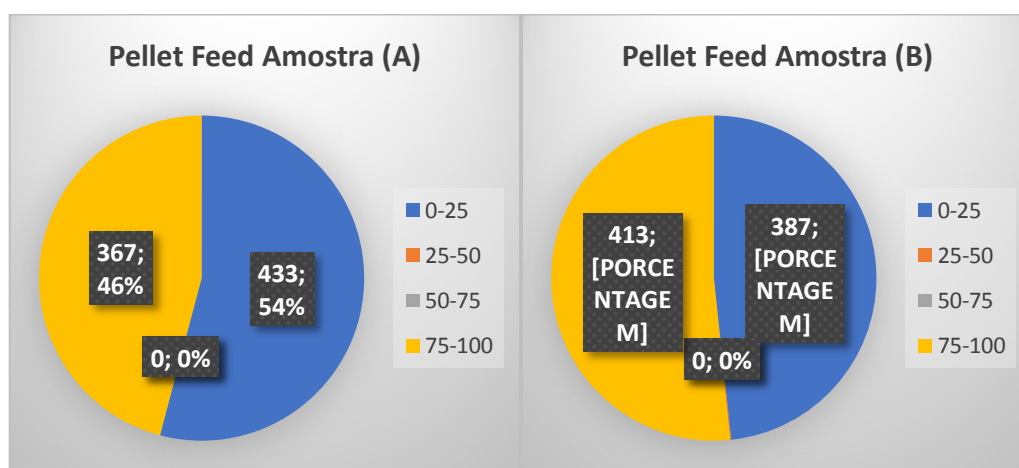


Figura 16- Amostras *pellet feed*.

Em relação aos valores visualizados pelos gráficos, foi possível verificar que as partículas no tamanho de Pellet Feed visualizada, tinham enorme tendência a estarem totalmente separadas, e conseqüentemente apresentarem altos valores de grau de liberação, tal fato se dá principalmente pelo fato do pellet feed ser a menor faixa de produtos, com a tendência natural de quanto menores as partículas, mais liberadas tendem a estar.

4.2.2 Método Computacional

O resultado da contagem de partículas para as amostras de *Pellet Feed* (A) e (B) são apresentadas nas Figuras 17 e 18. É possível verificar um comportamento esperado, por ser o tamanho de menores partículas escolhidos, o número de partículas mistas tende a diminuir, em que a grande maioria das partículas se encontram altamente liberadas, seja composta de hematita e magnetita (100%) ou de quartzo (0%), comportamento semelhante ao visto pelo método ótico anteriormente analisado.

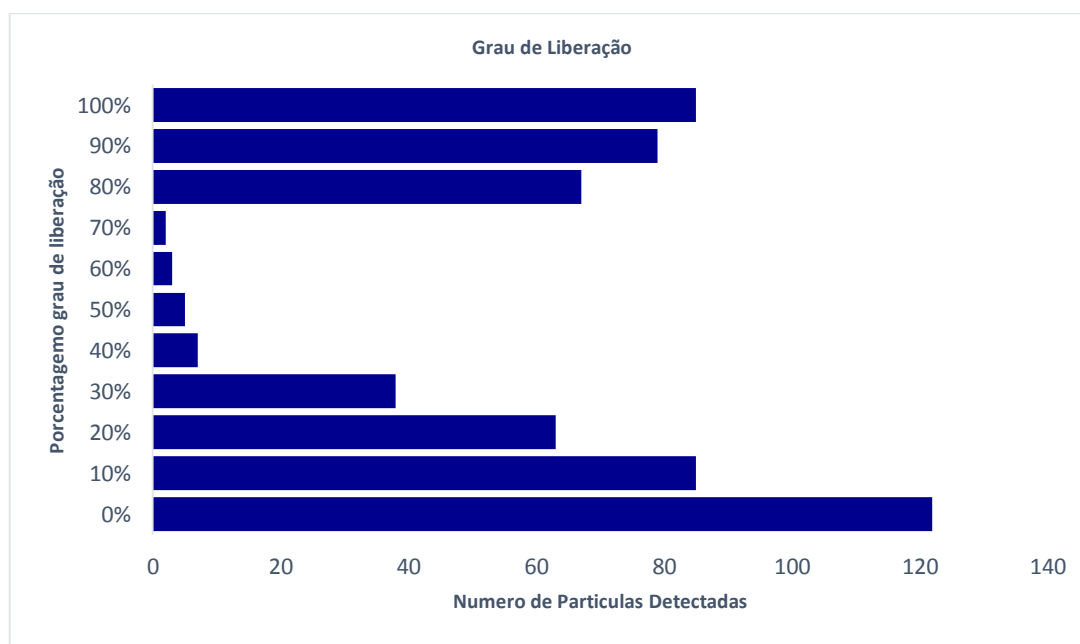


Figura 17- Resultado computacional *pellet feed* (A).

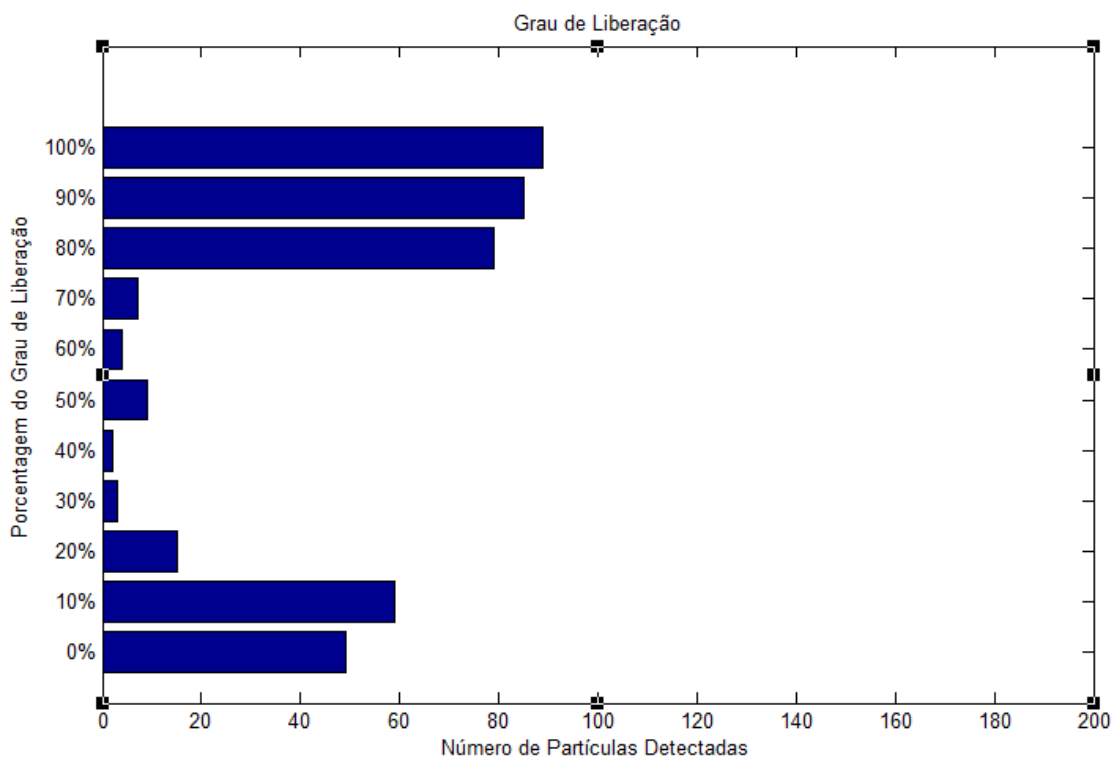


Figura 18- Resultado computacional *pellet feed* (B).

4.3 Amostras *Sínter Feed*

O *sínter feed* também é considerado uma faixa granulométrica de vendas de produtos de minério de ferro, a faixa corresponde de (0,15mm a 6.3mm), os ensaios realizados seguem os mesmos parâmetros dos realizados no tamanho de *pellet feed*.

4.3.1 Método Convencional

A contagem realizada visualmente por meio ótico, foi expressa na forma de tabela, que pode ser vista nos Quadros 6 e 7.

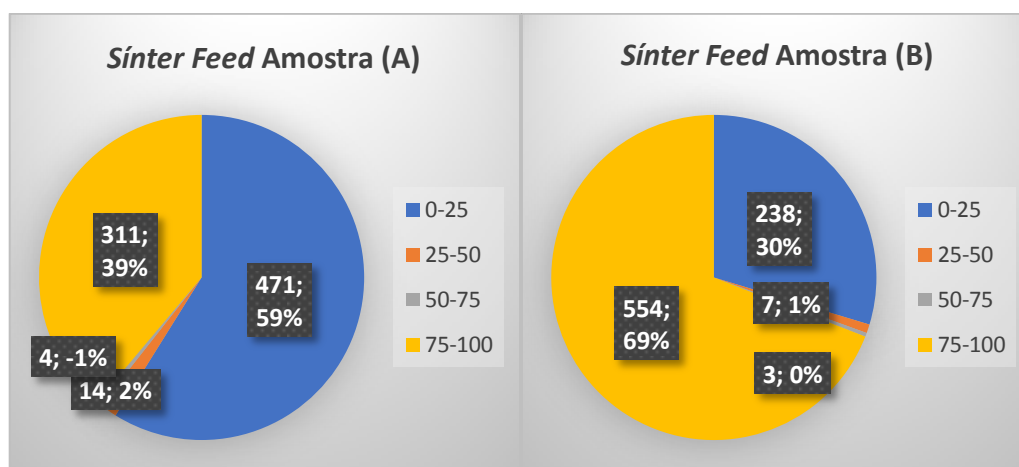
Quadro 6- *Sínter feed amostra (A).*

Intervalo de Liberação	0-25%	25-50%	50-75%	75-100%
Número de Partículas	471	14	4	311
Grau de Liberação	97,75%			

Quadro 7- *Sínter feed amostra (B).*

Intervalo de Liberação	0-25%	25-50%	50-75%	75-100%
Número de Partículas	238	7	3	554
Grau de Liberação	98,75%			

Posteriormente foram gerados gráficos, que facilitam a interpretação visual dos valores observados durante a análise, como pode ser observado na Figura 19.

Figura 19- *Sínter feed amostra.*

Como esperado os valores gráficos apresentam uma lógica quando analisado em relação aos outros tamanhos, em que na amostra (A) a maioria das partículas apresentavam valores no primeiro intervalo de frequência (0-25%), representados com 59% de toda a amostra, enquanto a amostra (B) apresentava a maioria das partículas em intervalo de concentrações superiores de minério útil (69%).

4.3.2 Método Computacional

O resultado da contagem de partículas para as amostras de *sinter feed* (A) e (B) são apresentadas nas Figuras 20 e 21.

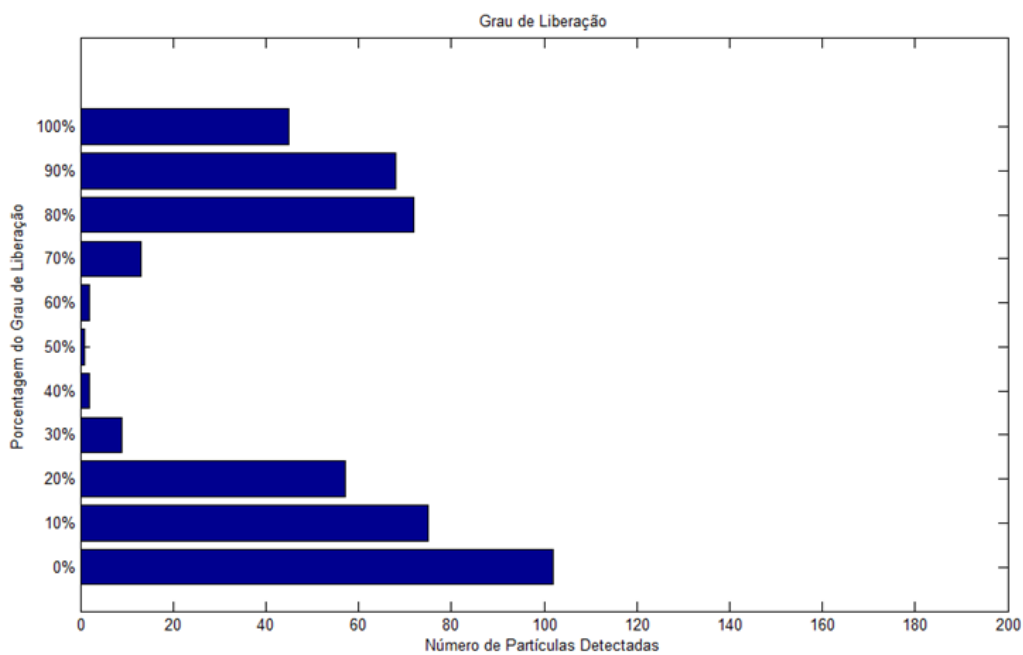


Figura 20-Contagem de partículas amostra *sinter feed* (A).

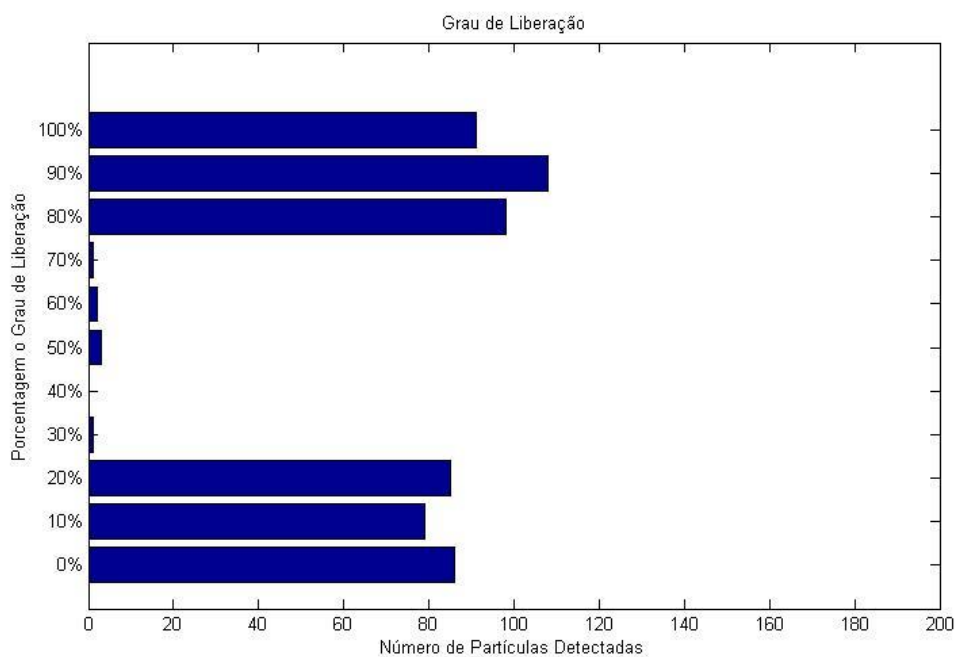


Figura 21-Contagem de partículas amostra *sinter feed* (B).

4.4 Amostras Granulado

As amostras de granulado, são representadas por tamanhos que variam de 6,3 mm a 31,7 mm, que tem uma tendência de produção cada vez menores, devido a menor disponibilidade de minérios ricos de tamanhos consideráveis, sendo as reservas cada vez mais complexas e tendo de fazer uma redução granulométrica considerável para chegar em um grau de liberação aceitável.

4.4.1 Método Convencional

O resultado da contagem de partículas para as amostras de granulado A e B são apresentadas nos Quadros 8 e 9.

Quadro 8- Granulado amostra (A).

Intervalo de Liberação	0-25%	25-50%	50-75%	75-100%
Número de Partículas	121	11	131	537
Grau de Liberação	82,25%			

Quadro 9-Granulado amostra (B).

Intervalo de Liberação	0-25%	25-50%	50-75%	75-100%
Número de Partículas	35	15	9	741
Grau de Liberação	97,00%			

Novamente foram gerados gráficos para facilitar a visualização dos valores encontrados, os gráficos são bastante representativos quando pensamos na lógica da liberação mineral.

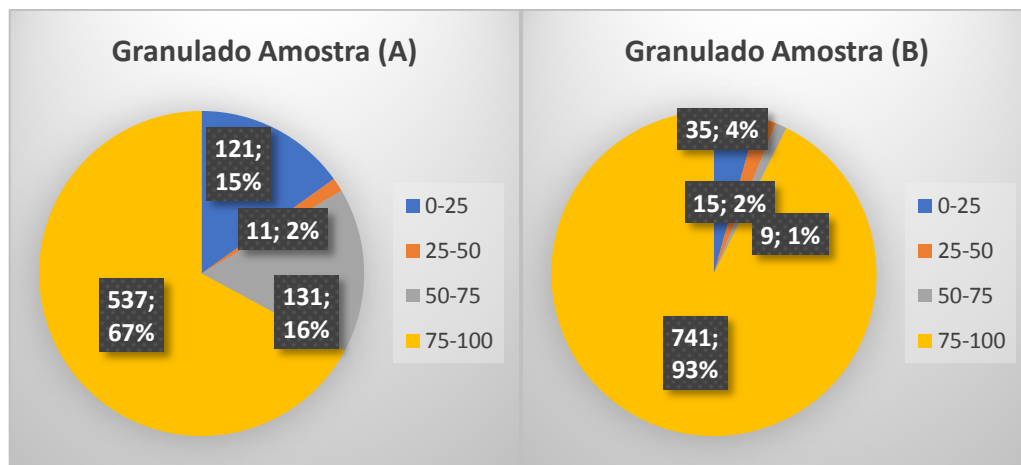


Figura 22- Granulado Amostra

Os gráficos da Figura 22 tiveram um comportamento com tendências esperadas, o aumento do tamanho das partículas tende a diminuir os valores do grau de liberação das mesmas, o número de partículas mistas também cresceu bastante quando comparado com as outras faixas de produtos (*sínter e pellet*).

4.4.2 Método Computacional

O resultado da contagem de partículas para as amostras de granulado A e B são apresentadas nas Figuras 23 e 24.

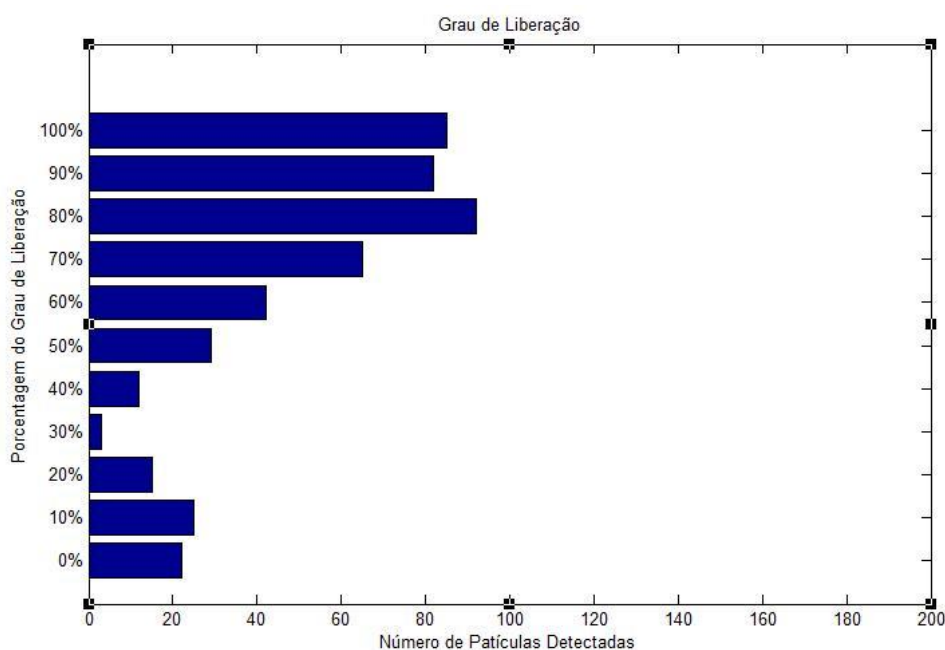


Figura 23- Contagem de partículas amostra granulado (A).

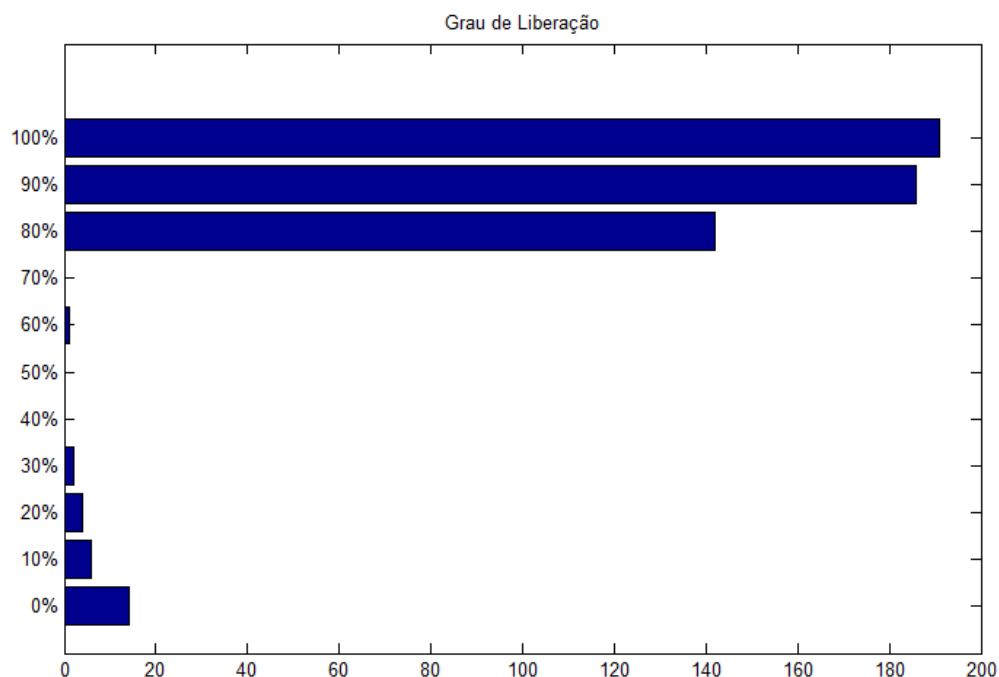


Figura 24- Contagem de partículas amostra granulada (B).

4.5 Comparativo dos resultados

Conforme os Quadros 10 e 11, os resultados dos métodos convencionais estão coerentes ao se analisar o aumento do grau de liberação com a diminuição das partículas, em que ambas amostras, A e B seguem de maneira coerente com o esperado, além desse detalhe, podemos destacar também um grau de liberação médio para as partículas consideradas “*in situ*”, que apresentam grau de liberação intermediário em relação aos tamanhos apresentados, que faz bastante sentido ao se constatar que as partículas apresentam tamanhos variados, por não terem passado por processo de separação granulométrica.

Quadro 10- Cálculo Grau de Liberação (A) ótico.

Amostra	Intervalos de Liberação				G. L
	0-25	25-50	50-75	75-100	
<i>In situ</i>	404	12	90	294	87,22%
<i>Pellet Feed</i>	433	0	0	367	100,00%
<i>Sínter Feed</i>	471	14	4	311	97,75%
Granulado	121	11	131	537	82,25%

Quadro 11- Cálculo Grau de Liberação (B) ótico.

Amostra	Intervalos de Liberação				G. L
	0-25	25-50	50-75	75-100	
<i>In situ</i>	183	11	6	600	97,88%
<i>Pellet Feed</i>	387	0	0	413	100,00%
<i>Sínter Feed</i>	238	7	3	554	98,75%
Granulado	35	15	9	741	97,00%

Os resultados apresentam altos índices de Grau de Liberação, que pode ser explicado por dois fatores principais, o primeiro e mais simples é que as amostras já estavam bastante liberadas, mesmo que em tamanhos maiores como o granulado, por exemplo, o segundo motivo se dá pelo fato dos intervalos selecionados serem muito amplos, e considerarem como partículas liberadas, algumas que provavelmente seriam partículas mistas se o intervalo fosse reduzido para 10% por exemplo.

Os valores de grau de liberação encontrados no método computacional são claramente menores que os valores da maneira convencional, que podem ser analisados pela diferença existente na maneira como os valores são encontrados, em que um operador pode considerar que tal partícula tenha um valor, que não seja o seu real, sendo bastante intuitivo, podendo dessa maneira mascarar os valores para os intervalos em questão, o que não ocorre com a máquina.

De acordo com os Quadros 12 e 13, ao se analisar a relação direta de diminuição do grau de liberação, com o aumento do tamanho das partículas, os resultados são bastantes satisfatórios, com uma ressalva para as partículas *in situ*, que por teoria, deveriam apresentar valores de grau de liberação intermediários, o que não ocorreu, tal fato pode se dar por um erro do programa, ou por fatores como qualidade das imagens ou mesmo entrada e/ou escolha de limites de cores de RGB que não contemplassem parte do intervalo.

Quadro 12- Cálculo Grau de Liberação computacional (A).

Intervalos de Liberação/ Partículas Detectadas	Pellet Feed	Sínter Feed	Granulado	<i>In situ</i>
	556	446	472	400
0%	122	102	22	94
10%	85	75	25	85
20%	63	57	15	29
30%	38	9	3	21
40%	7	2	12	12
50%	5	1	29	9
60%	3	2	42	8
70%	2	13	65	16
80%	67	72	92	24
90%	79	68	82	41
100%	85	45	85	61
G.L (25%)	82,01%	81,95%	63,88%	81,50%
G.L (10%)	66,73%	65,02%	45,34%	70,25%
G.L (0%)	37,23%	32,96%	22,67%	38,75%

Quadro 13-Cálculo Grau de Liberação computacional (B).

Intervalos de Liberação/ Partículas Detectadas	<i>Pellet Feed</i>	<i>Sínter Feed</i>	Granulado	<i>In situ</i>
	401	554	443	546
0%	49	86	54	14
10%	59	79	32	6
20%	15	85	32	4
30%	3	1	7	2
40%	2	0	6	0
50%	9	3	4	0
60%	4	2	15	1
70%	7	1	21	0
80%	79	98	91	142
90%	85	108	88	186
100%	89	91	93	191
Gaudin (25%)	83,29%	82,40%	77,31%	86,26%
Gaudin (10%)	70,32%	65,70%	60,27%	72,71%
Gaudin (0%)	34,41%	31,95%	33,18%	37,55%

Para comparação entre os métodos computacional e convencional, foram utilizados parâmetros iguais em uma primeira análise, que consideravam (0-25%) e (75-100%) as partículas livres, e (25-50%) e (50-75%) partículas mistas, que geraram resultados altos de grau de liberação em ambas as amostras (A) e (B), com tendências de aumento do G.L com a diminuição das partículas.

Foram analisados também outros dois cenários que consideravam partículas liberadas (0-10%) e (90-100%) no primeiro cenário, que apresentaram valores satisfatórios, e logicamente menores que os de um intervalo maior, e um segundo cenário que considerava partículas liberadas apenas as de (0%) e (100%), que apresentavam valores bem reduzidos quando comparados com as outras análises, por ser um intervalo altamente seletivo, as ressalvas quanto as partículas *in situ* continuam, em que ambos os cenários os valores encontrados podem apresentar algum erro.

5. CONCLUSÃO

Com esse trabalho, pode ser visto que a computação em geral tem buscado seu espaço, os resultados quando comparados a mão de obra humana, apresentam menor velocidade de realização, menor custo, e maiores precisões, por não depender tanto da subjetividade do operador.

Em relação ao software tema desse trabalho, os resultados são bastante satisfatórios a medida que o operador tem autonomia para adaptar os parâmetros de cores de RGB para chegar em uma melhor resposta, além da facilidade de leitura dos resultados gerados, que apresentam imagens e gráficos do passo a passo realizado pela máquina.

Os valores encontrados nas análises computacionais estão de acordo com a realidade, e em sua maioria condizentes também com o método atualmente utilizado (Gaudin), as ressalvas quanto aos valores encontrados com as amostras *in situ* continuam, em que irão ser feitos novos testes variando os parâmetros colocados, melhorando a qualidade das imagens retiradas, ou mesmo buscando o erro no próprio *software*, a fim de localizar falhas que possam estar contidas no processo, e que talvez tenham passado despercebidas.

O melhoramento do *software* também se mostra necessário, com o intuito de inseri-lo na indústria, ou no meio acadêmico, seu funcionamento tem de estar próximo da perfeição, e qualquer falha ou erro de processamento tem de ser localizado e consertado a fim de, evitar prejuízos futuros, por análises errôneas, que poderiam levar a tomada de decisões que muitas vezes não seriam as melhores se os resultados tivessem sido feitos de outra maneira.

Em relação a variação dos parâmetros dentro do próprio *software* a facilidade e interatividade já se encontram satisfatórias, mas também podem melhorar, com resultados prévios que demonstrem com maior clareza o que se esperar da análise

De maneira geral o *software* apresentou comportamento satisfatório, com resultados que tem sentido quando comparados com o método atual utilizado, além da possibilidade do aumento da gama de atributos de resultados que possam ser gerados com ele, como leitura de teores, e caracterização de granulometria da partícula, e a possibilidade futura de leitura em 3D, com o uso de mais câmeras colocadas em pontos estratégicos que possibilitem a análise, tudo isso com a

facilidade de entendimento proporcionado pela geração de gráficos e imagens de todo o processo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

A, Turing Computing Machines and Intelligence. Mind 59; 433-460, 1950.

BENVINDO DA LUZ, Adão; ANTÔNIO FREITAS LINS, Fernando. INTRODUÇÃO AO TRATAMENTO DE MINÉRIOS. In: BENVINDO DA LUZ, Adão; ALVES SAMPAIO, João; CRISTINA ALVES FRANÇA, Silvia Cristina Alves França. **Tratamento de Minérios**. 5. ed. [S.l.: s.n.], 2010. cap. 1, p. 3-20. v. 1.

Brasil. Departamento Nacional de Produção Mineral. Anuário Mineral Brasileiro: Principais Substâncias Metálicas / Coord. Geral Wagner Fernandes Pinheiro, Osvaldo Barbosa Ferreira Filho, Carlos Augusto Ramos Neves; Equipe Técnica por Marina Marques Dalla Costa... [et. Al.]; – Brasília: DNPM, 2016.

CHAVES, A. P., PERES, A. E. C. **Teoria e prática do tratamento de minério/ britagem, peneiramento e moagem, volume 3** – 3 eds. São Paulo: Signus Editora, 2006, 674p.

DELBEM, Itamar Daniel. **CARACTERIZAÇÃO AUTOMATIZADA DE MINÉRIOS DE FERRO VIA MICROSCOPIA ÓTICA DE LUZ REFLETIDA**. 2014. 121 p. Dissertação (Doutorado em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas) - UFMG, [S.l.], 2014. 1.

DELBEM, Itamar Daniel. **Processamento e Análise Digital de Imagens Aplicados aos Estudos de Liberação Mineral**. 2010. 99 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) - UFMG, [S.l.], 2010. 1.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. Anuário Mineral Brasileiro – Brasília Ano – XXXVIII - 2010. ISSN 0100 – 9303. Disponível em <http://www.dnpm.gov.br/porta/relatorios/amb/Completo2010.pd> Acesso: 03/02/2018.

FERREIRA, R. F. Estudo de liberação das fases minerais em minérios de ferro. 2013. 211f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013.

GAUDIN, A. M. Principles of mineral dressing. London: McGraw-Hill, 1939 apud WILLS, B. A. Wills' Mineral Processing Technology: an introduction to the practical aspects of ore treatment and mineral recovery. 7th. ed. Oxford: Elsevier, 2006. 444 p.

GUNKEL, Comunicação e inteligência artificial: novos desafios e oportunidades para a pesquisa em comunicação. **Galáxia**, n. 34, 2017

HAMILTON PORPHÍRIO, Ney; INÊS M. BARBOSA, Marília; CARLOS BERTOLINO, Luiz. **Tratamento de Minérios**. 5. ed. [S.l.: s.n.], 2010. 57-84 p. v. 1.

KOPPE, Jair (2007). A lavra e a indústria mineral no Brasil: estado da arte e tendências tecnológicas. In: Castilhos, Zuleica; Luz, Adão Benvindo da; Matos, Gerson de (Eds.), Tendências – Brasil 2015 – Geociências e Tecnologia Mineral. Parte II. CETEM/MCT, Rio de Janeiro

MARRO, A. A. et al. O. “Lógica Fuzzy: conceitos e aplicações”. Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) Natal – RN – Brasil, 2010.

Minsky, Marvin Lee (1985). The society of mind. New York: Simon and Schuster. ISBN 0-671-60740-5. The first comprehensive description of the Society of Mind theory of intellectual structure and development.

NEUMANN, Reiner; SCHNEIDER, Claudio Luiz; NETO, Arnaldo Alcover. Caracterização Tecnológica de Minérios Parte II. In: LUZ, Adão Benvindo; SAMPAIO, João Alves; FRANÇA, Sílvia Cristina Alves. **Tratamento de Minérios**. 5. ed. [S.l.: s.n.], 2010. cap. 3, p. 85-137. v. 1.

OSÓRIO, F. S.; BITTENCOURT, J. R; OSÓRIO, F. S. Sistemas Inteligentes baseados em redes neurais artificiais aplicados ao processamento de imagens. In: **Workshop de inteligência artificial**. 2000.

PERICO, ALISSON PERICO; SHINOHARA, CINDI SAYUMI; SARMENTO, CRISTIANO DELLANI. **SISTEMA DE RECONHECIMENTO DE VOZ PARA AUTOMATIZAÇÃO DE UMA PLATAFORMA ELEVATÓRIA**. 2014. 97 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Computação) - UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, [S.I.], 2014. 1.

PRATI, Ronaldo Cristiano. **Novas Abordagens em Aprendizado de Máquina Para a Geração de Regras, Classes Desbalanceadas e Ordenação de Casos**. 2006. 167 p. Tese (Doutorado em Ciências de Computação e Matemática Computacional) - USP- São Carlos, [S.I.], 2006. 1.

RIBEIRO, Lucas Mikilita. **Desenvolvimento de Biblioteca Paralela em Python Para Aplicação Em Engenharia Biomédica**. 2011. 31 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Computação) - USP, [S.I.], 2011. 1.

RIBEIRO, R. **Uma Introdução à Inteligência Computacional: Fundamentos, Ferramentas e Aplicações**. Rio de Janeiro: IST-Rio, 2010.

SETZER, V. W. **IA: inteligência artificial ou imbecilidade automática? as máquinas podem pensar e sentir?** Florianópolis: UFSC. Disponível em: <http://www.ime.usp.br/~vwsetzer/IAtrad.html> Acesso em: 07/06/2018.

WOJNAR, L., KURZYDLOWSKI, K. J., **Analysis and interpretation**, In: ASM International. *Practical Guide to Image Analysis. Materials*, Park OH, USA, p. 145-202, 2000.