

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS
Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais
Curso de Especialização em Engenharia de Recursos Minerais

MONOGRAFIA

**AVALIAÇÃO DO ADENSAMENTO DE REJEITOS FINOS DE MINÉRIO DE
FERRO E SUA ASSOCIAÇÃO COM A MINERALOGIA**

Aluno: Leandro Azevedo da Silva

Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto de Magalhães Viana

Coorientador: Eng. MSc. Mardon Borges Mendes

Setembro 2014

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO.....	4
2. OBJETIVO E RELEVÂNCIA.....	5
3. LOCALIZAÇÃO.....	6
4. FISIOGRAFIA.....	7
5. GEOLOGIA.....	8
6. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO.....	10
7. MÉTODO DE PESQUISA.....	16
8. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	36
9. CONCLUSÕES.....	66
10. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	68
11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69

RESUMO

A vida útil de reservatórios de disposição de rejeito, barragens ou cavas exauridas, é uma das questões mais abordadas no contexto da geotecnia aplicada à mineração. O controle é periódico, podendo apresentar uma frequência alta (diária), dependendo da fase operacional que se encontra a estrutura de disposição de rejeito. Entretanto, as incertezas e as imprecisões no cálculo da capacidade remanescente e, conseqüentemente, da vida útil, podem apresentar erros com escalas maiores que o valor obtido da variável “tempo” como resultado. As principais incertezas estão na determinação de uma densidade específica seca equivalente e na flutuação mássica de rejeito transportado. As imprecisões são derivadas do levantamento plani-altimétrico ou batimetria, e por desconsiderar efeitos de consolidação do rejeito depositado ao longo do tempo com o acréscimo do nível de tensões por elevação do reservatório. Este trabalho teve por objetivo apresentar avaliações da influência dos efeitos de consolidação do rejeito depositado no incremento de capacidade de reservatório utilizado para deposição de rejeitos finos de minério de ferro, ou seja, “overflow” da ciclonagem. Para avaliar a consolidação do “overflow” foram realizados ensaios de HCT (Hydraulic Consolidation Test) variando o corte de massa do ciclone para “underflow”, impactando diretamente na granulometria e na densidade dos grãos que são direcionados para o “overflow”. Esses ensaios mostram o resultado da redução do índice de vazios em função das tensões, assim como a variação da permeabilidade em função do índice de vazios. Para o melhor entendimento dos resultados de consolidação também foram feitas análises de mineralogia através de microscopia óptica e granuloquímica. Os resultados mostraram que a redução no índice de vazios (adensamento) está diretamente ligada a permeabilidade inicial e a capacidade de redução dessa permeabilidade. Pode-se observar também a influência da granulometria, uma vez que amostras com maiores variações granulométricas apresentaram maiores reduções no índice de vazios e permeabilidade.

ABSTRACT

The lifetime of dams or open pits for tailings disposal is one of the issues addressed in the context of geotechnics applied to mining. The control is periodic, and may have a high frequency (daily), depending on the operational phase. However, the uncertainties and inaccuracies in the calculation of the remaining capacity and, consequently, of lifetime, may have errors obtained with scales larger than the value of the variable "time" as a result. The major uncertainties are in determining an equivalent specific density and dry weight range of tailings conveyed. The inaccuracies are derived from the planimetric-altimetric surveying or bathymetry and disregarding effects consolidation of the waste deposited over time with increasing level of stress for lifting the tailings layer. This work aims at presenting reviews of the influence of the effects of consolidation of the tailings deposited in the reservoir capacity increment used for deposition of thin iron ore tailings, or "overflow" of the cyclone. And to evaluate the consolidation of the "overflow", HCT (Hydraulic Consolidation Test) were performed varying the cutoff mass for the cyclone "underflow", impacting directly on the particle size and density of the grains that are directed to the "overflow". To better understand the results of consolidation also mineralogical analysis were made by light microscopy and chemical by particle size. The results achieved in laboratory tests showed that the reduction in void ratio (consolidation) is directly linked to the initial permeability and to the reduction capacity of this permeability. One can also observe the influence of particle size, since samples with larger variations in particle size had larger reductions in void ratio and permeability.

1. INTRODUÇÃO

A implantação e operação de barragens de rejeitos ciclados é largamente empregada em mineração no mundo, inclusive na própria Vale. A prática comum considera que os rejeitos oriundos do processamento industrial do minério (ROM) são em geral ciclados na crista da barragem, sendo o material do overflow (mais fino) lançado no interior do reservatório e o material do underflow (mais grosso) empregado no alteamento do paramento de jusante do barramento em questão.

Rejeitos são cada vez mais estudados nos dias atuais. A característica desse material depende diretamente do tipo de minério bruto a ser lavrado e do processo industrial de beneficiamento. Atualmente existe uma geração de grandes volumes de rejeitos devido à elevada produção de minério e também ao aproveitamento de reservas com teores mais baixos, e a tendência é trabalhar com teores cada vez menores e conseqüentemente gerar cada vez mais rejeito.

Na região em estudo, Quadrilátero Ferrífero, que se estende por uma área de aproximadamente de 7000 Km², existe uma imensa reserva de minério de ferro ainda a ser lavrada, porém o sucesso dessa lavra depende da existência de barragens que suportem em volume e segurança dessa produção.

Diferentes processos de concentração mineral são utilizados pela Vale. O rejeito estudado neste trabalho passou por concentração magnética e não foi submetido a flotação, portanto não teve contato com nenhum tipo de reagente normalmente utilizado, tais como depressores e coletores.

2. OBJETIVO E RELEVÂNCIA

Este trabalho teve por objetivo apresentar avaliações da influência da mineralogia na consolidação do rejeito depositado no reservatório, utilizado para deposição de rejeitos finos de minério de ferro, ou seja, “overflow” da ciclonagem.

Visando uma melhor acurácia na estimativa da vida útil da barragem, e conseqüentemente um melhor planejamento com relação a necessidade de construção de outras barragens, este trabalho pretende entender melhor a consolidação do rejeito dentro de uma barragem e para isso foram realizados ensaios de HCT (Hydraulic Consolidation Test).

No ensaio uma taxa de fluxo é imposta à amostra para a retirada da água da sua parte inferior por uma bomba. A amostra adensa devido ao fluxo descendente imposto, sendo que a diferença de pressão através dela é medida por um transdutor diferencial de pressão. A mesma taxa de fluxo é mantida até que a diferença de pressão através da amostra seja constante. Posteriormente ensaios de carregamento em estágios e permeabilidade são realizados com o intuito de obterem-se dados de compressibilidade e permeabilidade em uma taxa de tensão efetiva alta.

Este estudo é de grande relevância, tendo em vista que com um melhor entendimento do comportamento da consolidação dos rejeitos, pode-se obter uma maior previsibilidade em relação a vida útil das barragens, assim como provisionar melhor os gastos da empresa.

Foram feitas análises granuloquímicas nas amostras, assim como química global, e mineralogia com o auxílio de microscópio ótico. Com essas informações, foi feita uma tentativa de correlação entre a mineralogia/química mineral com os resultados de adensamento.

3. LOCALIZAÇÃO

A barragem Forquilhas IV (Figura 3.1), receberá rejeito das minas do complexo minerador de Fábrica, que está inserido nos processos DNPM 291.601/35, 2.952/35, 1603/40, 8.664/44, 579/46, 438/46, 890/53 e 807.042/68. A Mina de Fábrica está localizada aproximadamente a 65 km ao sul de Belo Horizonte-MG, e a aproximadamente 17 km do município de Congonhas-MG.

O acesso a Barragem Forquilhas IV, se dá através da rodovia BR-040, entrando pela portaria principal localizada no Km 598, sentido Rio de Janeiro. Geologicamente, encontra-se inserida no extremo sudoeste do Quadrilátero Ferrífero.

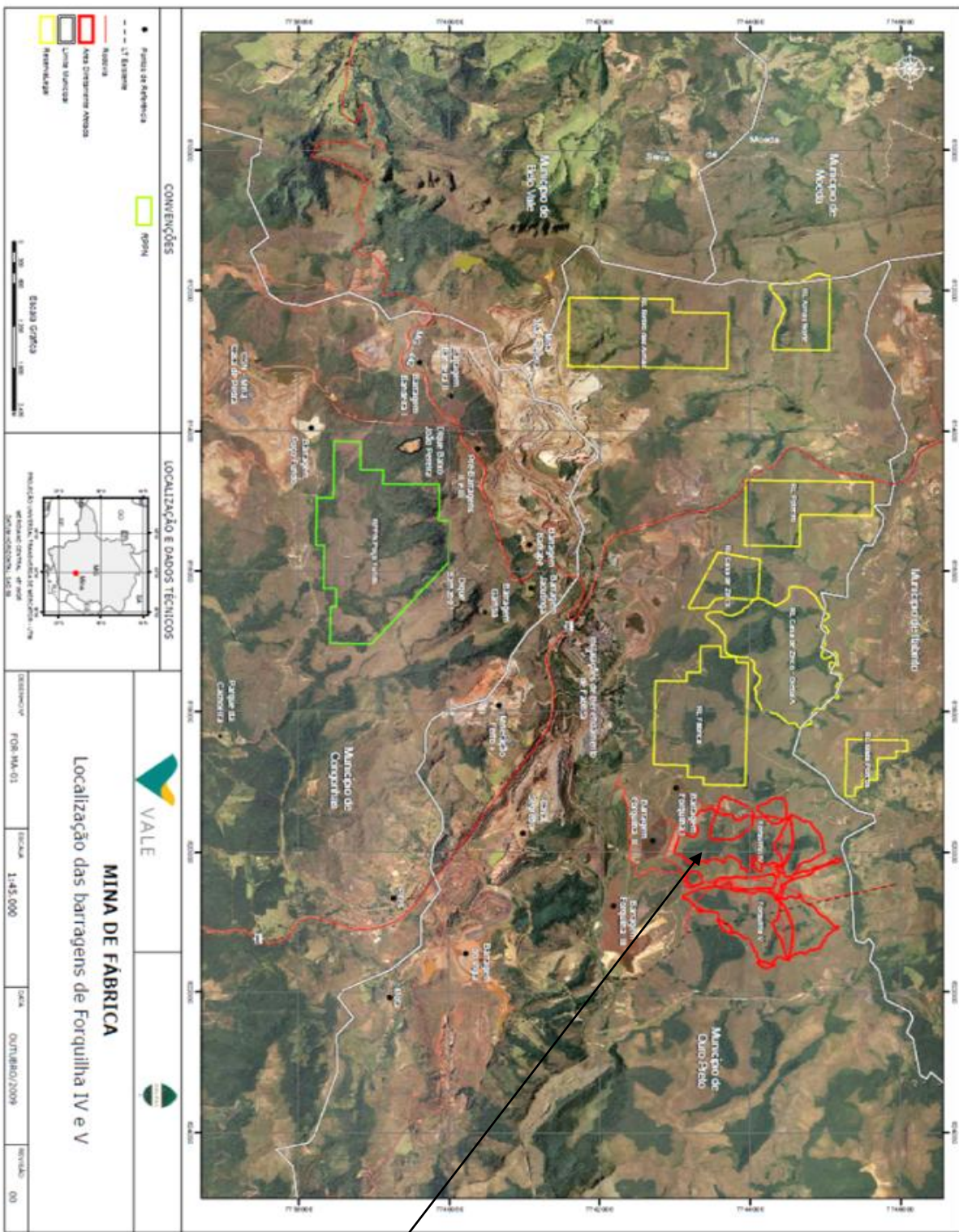


Figura 3.1: Localização Forquilha IV.

4. FISIOGRAFIA

4.1 Hidrografia

O Complexo de Fábrica está localizado regionalmente na bacia do rio São Francisco, e a região pode ser dividida em três meso-bacias. Uma vertente para norte, outra vertente para sul e a outra vertente para oeste do complexo. A vertente norte deságua no rio da Velhas, as vertentes sul e oeste deságuam no rio Paraopeba, sendo que os dois rios são afluentes de primeira ordem do rio São Francisco.

A drenagem norte é realizada pelo Córrego das Almas e pelo Ribeirão da Prata, ambos afluentes de primeira ordem do Ribeirão Mata-Porcos.

A sul, a drenagem segue pelo Córrego Santo Antônio e seus afluentes: Córrego do Meio e Córrego Poço Fundo. O Córrego Santo Antônio é Afluente de primeira ordem do Rio Maranhão e de terceira ordem do Rio Paraopeba.

A sudeste, a drenagem corre pelo córrego dos Cordeiros, afluente de primeira ordem do rio Preto, que deságua no Rio Maranhão, à montante da cidade de Congonhas-MG. O rio Maranhão é afluente de primeira ordem do rio Paraopeba.

A oeste, a Serra da Moeda configura o maior divisor hidrográfico da área, nesta porção, a drenagem é realizada pelos afluentes de primeira e segunda ordem do rio Paraopeba.

4.2 Clima

Segundo a classificação de Köppen, fundamentada no curso dos valores médios da temperatura do ar e da precipitação pluviométrica, o clima na região de Fábrica é do tipo Cwa, Clima temperado úmido com inverno seco e verão quente, a temperatura do mês mais frio é inferior a 18° e a do mês mais quente passa dos 22°. O total das chuvas do mês mais seco é inferior a 30 mm.

5. GEOLOGIA

O Quadrilátero Ferrífero (Dorr, 1969), está localizado geotectonicamente ao sul do Cráton de São Francisco (Almeida 1977). Sua estratigrafia de acordo com Marshak e Alkmim (1989) é constituída por quatro conjuntos litoestratigráficos. Complexos Metamórficos, compostos por terrenos granito- gnáissicos de idade arqueana; Supergrupo Rio das Velhas, formado por seqüência arqueana de rochas metavulcano- sedimentares tipo *greenstone belt*; Supergrupo Minas, formado por metassedimentos clásticos e químicos de idade proterozóica; e Grupo Itacolomi, formado por metassedimentos clásticos proterozóicos.

O principal conjunto litoestratigráfico do ponto de vista de reserva de minério de ferro é o Supergrupo Minas, ele possui uma seqüência de rochas metassedimentares de origem fluvial a marinha plataformal de idade paleoproterozóica e é subdivido, da base para o topo, em cinco grupos: Tamanduá, Caraça, Itabira, Piracicaba e Sabará, que juntos totalizam 4.000 metros de espessura (Derby, 1906; Harder & Chamberlin, 1915; Dorr, 1969; Rosière *et al.*, 1993; Alkmim & Marshak, 1998, *apud* Oliveira 2006) Figura 5.1.

O Grupo Itabira é constituído por seqüências de sedimentos químicos plataformais que são englobados em duas formações: Cauê (base) e Gandarela (topo) (Dorr, 1958^a, *apud* Oliveira 2006).

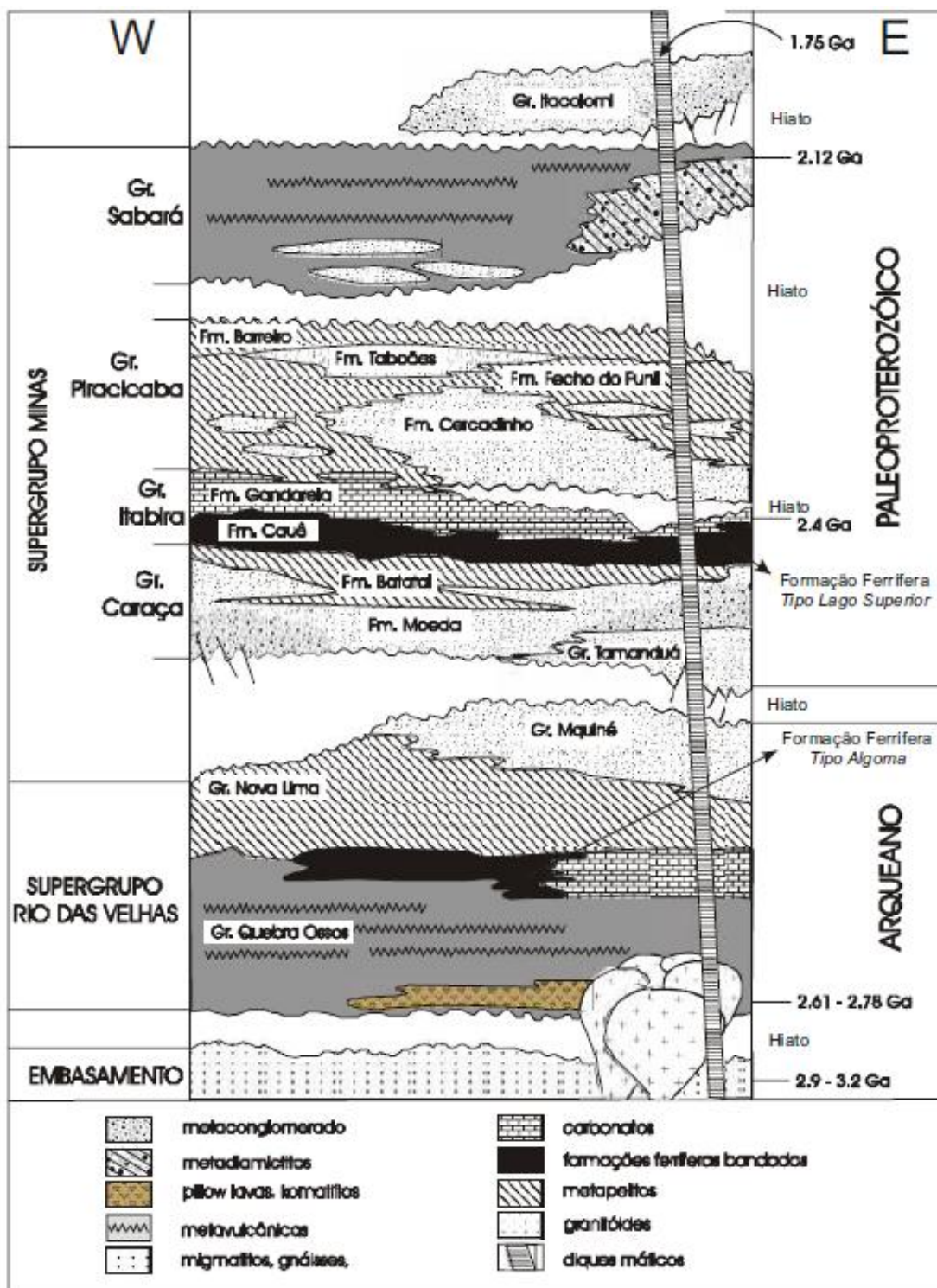


Figura 5.1: Coluna litoestratigráfica do QF. A porção direita representa a correlação com a região leste do QF, enquanto que a porção esquerda representa a correlação com a região oeste do QF. Datações radiométricas fornecem amarrações para estas correlações (Segundo Alkmim & Marshak, 1998, *apud* Oliveira 2006).

A Formação Cauê, que possui as mais importantes reservas de minério de ferro da região, é predominantemente caracterizada por formações ferríferas bandadas (BIF) do tipo Lago Superior (Gross, 1965) e subordinadamente caracterizada por lentes de quartzitos ferruginosos, itabiritos manganíferos e filitos. Essas formações ferríferas foram metamorfisadas em fácies xisto-verde a anfibolito, configurando algumas variedades litológicas como: itabiritos, itabiritos anfibolíticos, itabiritos dolomíticos e “*hematititos*” (corpos de minérios compostos predominantemente por hematita). A Formação Gandarela sucede gradacionalmente à unidade anterior e é constituída por rochas carbonáticas, principalmente dolomitos, e subordinadamente filitos dolomíticos e dolomitos ferruginosos.

Essa variedade mineralógica, assim como a Geologia Estrutural formadora desses depósitos, interfere diretamente na qualidade do minério, e conseqüentemente no tipo de beneficiamento e na rota de processo no qual será submetido, gerando assim diferentes tipos de rejeitos de acordo com seu beneficiamento.

6. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

6.1 Hidrociclones

O ciclone é um equipamento de desenvolvimento relativamente recente e foi inventado na Holanda. Hoje é o equipamento padrão para classificação fina, entre 150 µm e 2 µm (CHAVES 2012).

Ainda segundo CHAVES 2012, os ciclones apresentam diversas vantagens em relação aos equipamentos que fazem o mesmo serviço, tais como:

- Alta capacidade levando-se em consideração o volume ou área ocupada.
- Controle operacional de fácil manuseio.
- Operação relativamente estável e entrada em regime em curto período de tempo.
- Fácil manutenção (quando bem projetado).

- Baixo investimento, tornando viável manter estoque reserva, permitindo manter uma boa disponibilidade física.

Como qualquer equipamento, o ciclone também apresenta algumas desvantagens:

- Um maior custo operacional em relação aos classificadores espirais, em função da energia gasta no bombeamento.
- Eficiência de classificação entre 60% e 70 %, menor que o classificador espiral (entre 85% e 90%)
- Incapacidade de armazenar grandes volumes de polpa, sendo assim não consegue ter um efeito regulador.

De acordo com Valadão 2007, o hidrociclone é um aparelho que se caracteriza por usar o efeito de centrifugação como principal agente de classificação de partículas minerais. É constituído basicamente por uma parte cilíndrica e uma cônica e possui três orifícios, um para entrada da polpa chamado injetor (*inlet*) e outros dois orifícios para saída, *apex* e *vortex*. É um equipamento que não possui partes móveis, onde a alimentação da polpa é realizada sob pressão, criando um fluxo descendente em espiral ao longo das paredes internas. Um outro fluxo ascendente é criado, pela região de baixa pressão na parte central do aparelho. Atualmente é o equipamento mais utilizado para a classificação fina.

6.2 Princípio de Funcionamento dos Hidrociclones

Os hidrociclones fazem a classificação do material alimentado. A separação das partículas ocorre de acordo com suas taxas de sedimentação na fase fluida.

Essa classificação gera dois produtos:

Underflow, um fluxo contendo partículas com maior velocidade de sedimentação e, portanto, maiores ou de maior densidade. Esse fluxo tem geralmente elevada concentração de sólidos.

O outro produto, ***Overflow***, contém as partículas com menor velocidade de sedimentação e a maior quantidade da água presente na alimentação.

O hidrociclone é basicamente constituído por uma parte cilíndrica, outra cônica e três orifícios (uma entrada e duas saídas) vide Figura 6.1.

A polpa é alimentada sob pressão tangencialmente à seção cilíndrica, descrevendo uma trajetória espiral, Vortex primário na superfície interna das paredes cilíndrica e cônica, com direção ao ápice do cone. No *Apex*, somente uma parte do líquido é descarregada como *underflow*, arrastando preferencialmente as partículas grossas com pequenas quantidades de finos.

O movimento espiral da polpa cria, no centro do hidrociclone, uma região de baixa pressão que conduz à formação de um vortex secundário girando em torno do eixo, em movimento ascendente. Nesse *vortex* a maior parte da fase líquida, contendo as partículas finas, é dragada forçando sua descarga através da saída superior - *overflow*.

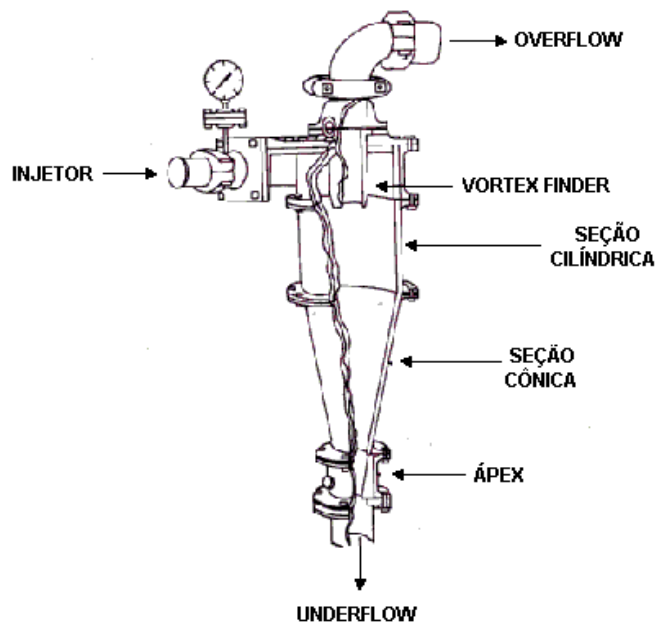


Figura 6.1: Componentes Hidrociclone (Tratamento de minério 2004)

De acordo com Wills 2006 existem quatro diferentes áreas dentro do ciclone onde a classificação ocorre de forma diferenciada (Figura 6.2).

Na região “A”, o material encontrado é similar a alimentação, ou seja, nesse local a classificação é praticamente nula.

Na região “B”, encontram-se partículas de maiores tamanhos (ou densidades), que serão descarregadas pelo *Underflow*.

Encontra-se na região “C”(parte superior da seção cônica, em torno do *vortex finder*) predominantemente as partículas finas que serão descarregadas como *overflow*.

Por fim, a região “D” é uma toróide que fica localizada entre as três seções anteriores, é o lugar geométrico do ciclone onde ocorre efetivamente a classificação. Essa área possui tamanhos de partículas intermediários se comparado a alimentação.

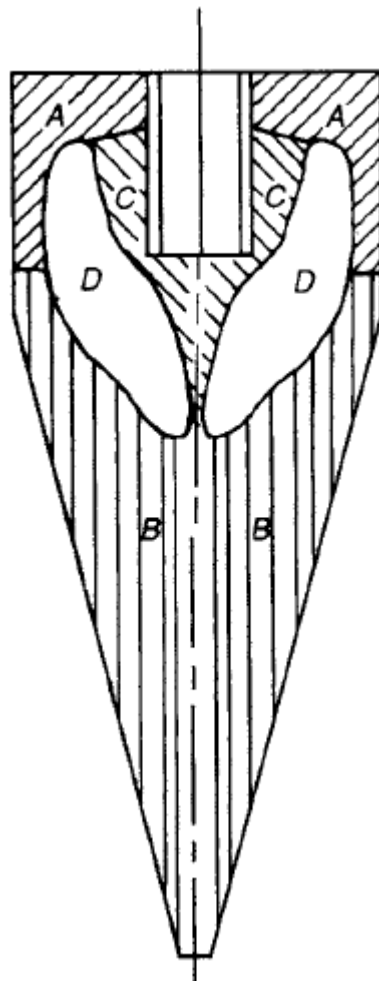


Figura 6.2: Áreas com tamanhos de grãos similares (Wills 2006).

6.3 Variáveis de Projeto e Processo

Existem diversos tipos de variáveis que afetam o desempenho dos ciclones, elas podem ser divididas em dois grupos: As variáveis de projeto (que dependem da geometria do ciclone) e as variáveis operacionais. Uma vez que a maioria dessas variáveis apresentam interações entre si, é extremamente complicado avaliá-las individualmente. O desempenho do ciclone é usualmente avaliado a partir da curva de partição, da relação entre *overflow* e *underflow*, além da pressão de alimentação.

Segundo CARRISSO 2004, as variáveis decorrentes da geometria do ciclone são:

- Diâmetro do hidrociclone: Define a capacidade e o diâmetro de corte dos hidrociclones. Aumentando o diâmetro, aumentam a capacidade do hidrociclone e o diâmetro de corte.
- Diâmetro do *vortex finder*: A variação de seu diâmetro possibilita regular a capacidade e o diâmetro de corte. O diâmetro máximo é limitado pela possibilidade do material ir diretamente para o *overflow*. A altura deve ser suficiente para ultrapassar o ponto inferior da abertura de entrada.
- Área da abertura de entrada: Aumentando a área da abertura de entrada, aumentam a capacidade do hidrociclone e o diâmetro de corte.
- Altura da seção cilíndrica: Aumentando a altura, diminui o diâmetro de corte.
- Diâmetro do *ápex*: Uma das maneiras de avaliar as condições de operação do hidrociclone é alisando o tipo de descarga do *ápex*. Na Figura 6.3 observa-se os três tipos de descargas.

- 1- Descarga em cordão: o diâmetro do ápex é insuficiente. Com isso, partículas grossas dirigem-se para o *overflow*. Pode ser usado intencionalmente quando se deseja adensar e não classificar.

2- Descarga em cone: operação normal.

3- Descarga em pulverizador (*spray*): o diâmetro do ápex é maior que o recomendável. As partículas finas dirigem-se para o *underflow*.

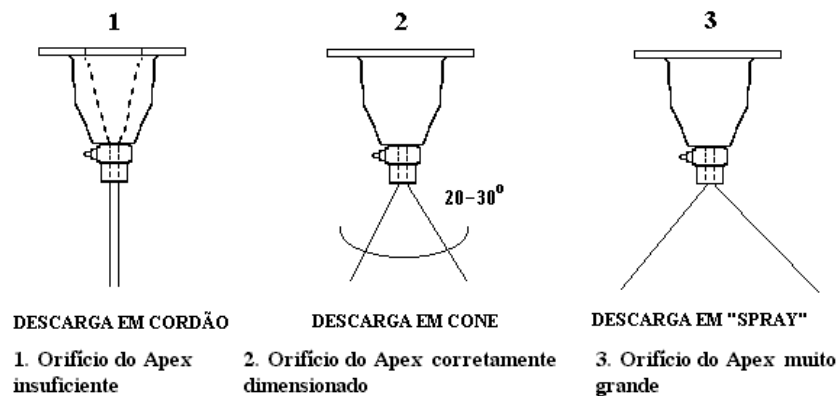


Figura 6.3- Representação esquemática dos tipos de descarga do ápex.

Outras variáveis que afetam o desempenho dos hidrociclones são as operacionais, que diferentemente das variáveis de projeto, podem ser ajustadas de acordo com o produto desejado (Notas de aula Especialização Vale 2008). São elas:

- Pressão: Um aumento na pressão de alimentação do ciclone eleva o campo centrífugo propiciando uma redução no diâmetro de corte;
- Concentração de sólidos na polpa: Um aumento na concentração de sólidos na polpa acarreta uma elevação na densidade da polpa e na viscosidade do meio, dificultando a sedimentação das partículas que tendem a sair no fluxo de *overflow*. Em função disso, verifica-se que o aumento da concentração de sólidos na polpa acarreta uma elevação no diâmetro de corte;

7. METODOLOGIA

Nesta etapa, são apresentados os materiais, equipamentos, procedimentos e metodologias utilizados nas etapas de campo e laboratório.

7.1 Rejeito

Neste trabalho foram analisadas 3 amostras, sendo todas de *overflow* (OF). Essas amostras foram coletadas entre os dias 10/09/2013 e 19/09/2013. As 3 amostras de *overflow*, foram coletadas com 20%, 35% e 40% de partição. Os ensaios de HCT (Hydraulic Consolidation Test), foram realizados em todas as 3 amostras.

A porcentagem de partição do material analisado, significa qual a porcentagem em massa é enviada para o *underflow*, ou seja, quando dizemos que analisamos o *overflow* com 35% de partição, significa que 35% da massa foi cortada para o *underflow* e 65% da massa foi para o *overflow*, sendo este último o principal objeto de estudo.

De acordo com Lopes 2000, os parâmetros que condicionam a estabilidade e a estanqueidade de uma barragem de rejeito estão relacionados com as propriedades intrínsecas do rejeito e com as variáveis que controlam a deposição hidráulica, tais como vazão, concentração e altura de queda do rejeito.

O HCT (Hydraulic Consolidation Test) é um ensaio muito usado para simular estudos de enchimento dos reservatórios de barragens. No lançamento dos rejeitos, geralmente com elevados teores de umidade e constituído por grande porcentagem de partículas finas, inicia-se um processo de deposição que envolve sedimentação em conjunto com adensamento por peso próprio do material.

Neste ensaio (Relatório Interno de ensaios 2014) uma taxa de fluxo é imposta à amostra para a retirada da água da sua parte inferior por uma bomba. A amostra adensa devido ao fluxo

descendente imposto, sendo que a diferença de pressão através dela é medida por um transdutor diferencial de pressão. A mesma taxa de fluxo é mantida até que a diferença de pressão através da amostra seja constante. Posteriormente ensaios de carregamento em estágios e permeabilidade são realizados com o intuito de obterem-se dados de compressibilidade e permeabilidade em uma taxa de tensão efetiva alta. (Figura 6.4).

O material é preparado da seguinte forma:

- Inicialmente, mistura-se o rejeito para se produzir uma amostra homogênea;
- Em seguida o rejeito é colocado dentro da câmara triaxial e fechada, em seguida a câmara é totalmente preenchida com água destilada e deaerada. Aplica-se uma contra-pressão na amostra de 200 KPa e deixa-se a amostra repousar por 24 horas;

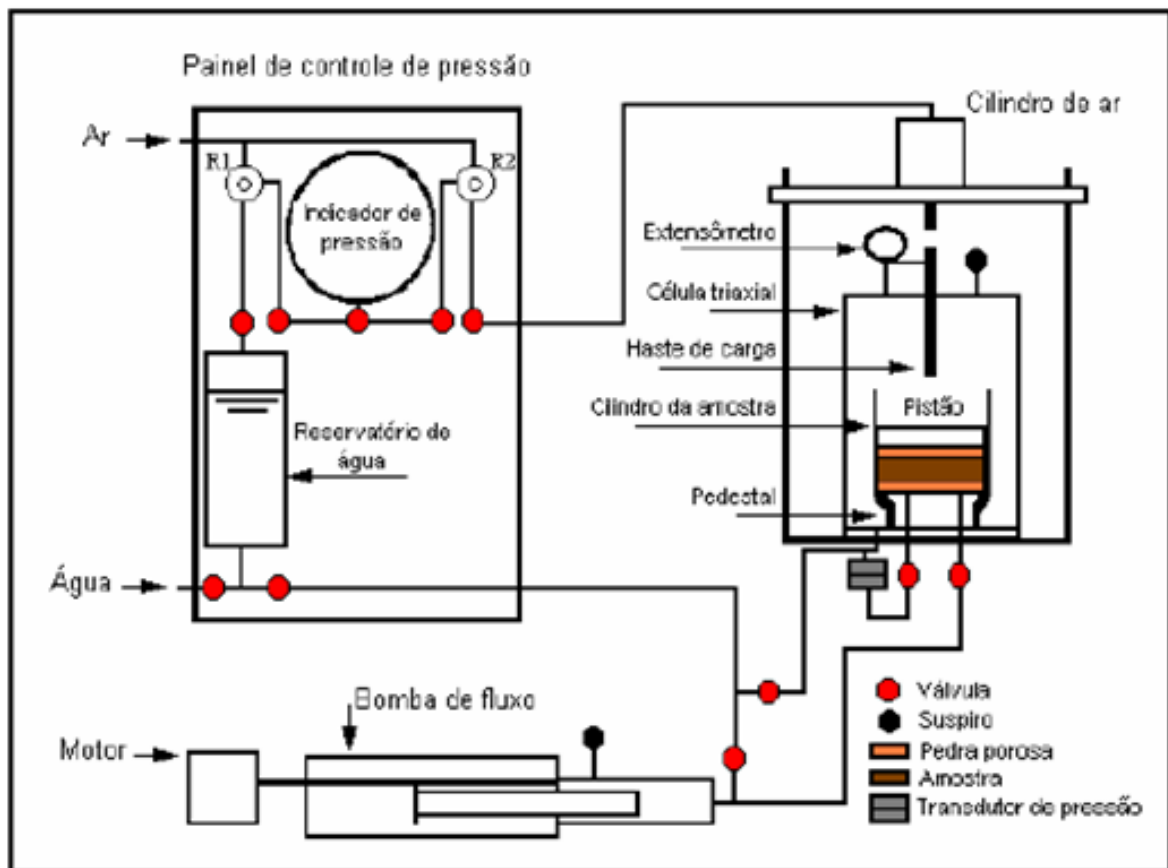


Figura 6.4- Equipamento utilizado nos ensaios de adensamento por percolação induzida

Após este período inicia-se o ensaio que é composto de 3 fases:

1 – Através de uma bomba de fluxo, retira-se a água da base da amostra com uma vazão conhecida, medindo-se, com transdutor diferencial de pressão, a diferença entre o topo e a base da amostra. Quando a diferença de pressão estabiliza, significa que acabou o adensamento por percolação, medindo-se então a altura da amostra;

2 – A amostra é submetida a um carregamento constante de forma semelhante ao que se faz no ensaio de adensamento convencional, medindo-se a variação com o tempo do deslocamento do topo da amostra. Quando o deslocamento estabiliza, significa que o adensamento devido à sobrecarga terminou, mede-se então, a nova altura da amostra. Através dos parâmetros da amostra, ensaios de caracterização e os dados coletados durante o ensaio podemos determinar o índice de vazios referente a tal fase;

3 – Ainda com o carregamento aplicado, retira-se água pela base da amostra com uma vazão constante, medindo-se novamente a diferença de pressão entre o topo e a base da amostra que, quando estabilizada, permite cálculo do coeficiente de permeabilidade para o índice de vazios da amostra correspondente ao carregamento aplicado. Os cálculos utilizados são da teoria de adensamento com grandes deformações e de um procedimento de otimização, os parâmetros A, Z, B, C e D que definem as curvas de compressibilidade e permeabilidade supostas iguais a:

$$e = A * (\sigma'_v + Z)^B \text{ (compressibilidade);}$$

$$k = C e^D \text{ (permeabilidade);}$$

onde:

- e é o índice de vazios;
- σ'_v é a tensão efetiva vertical;
- A, B, Z, C e D são os coeficientes empíricos obtidos do ensaio HCT.

Índice de vazios (e)

É a relação entre o volume de vazios (V_v) e o volume dos sólidos (V_s), existente em igual volume de solo. Este índice tem como finalidade indicar a variação volumétrica do solo ao longo do tempo, tem-se:

$$e = V_v/V_s$$

7.2 Preparação das amostras

A maior parte das caracterizações e todos os ensaios foram realizados no Centro de Pesquisas Tecnológicas da Gerência de Desenvolvimento de Processo de Tratamento de Minério (GADMF) da Vale que conta com uma estrutura laboratorial de preparação de amostras, caracterizações físicas e com equipamentos de processo para ensaios em escala de laboratório e piloto. Todos os procedimentos de preparação de amostras e análises físicas foram realizados conforme procedimentos internos do laboratório que se baseiam em normas ISO e ABNT.

Todas as análises químicas foram realizadas no laboratório químico da Gerência de Laboratórios da Vale (GALBS), unidade de Alegria, pelo método de fluorescência de raios X e utilizando-se pastilhas fundidas, sendo analisados os seguintes elementos e compostos: Fe, SiO_2 , P, Al_2O_3 , Mn, TiO_2 , CaO, MgO. O teor de PPC foi obtido por calcinação.

7.3 Quantificação Mineralógica

A quantificação dos minerais foi efetuada via microscopia ótica de luz refletida, sendo utilizados microscópios petrográficos Leica, modelos DMLP, DM2500P e DM6000M

(analisador de imagens). A seção polida a ser analisada inicialmente é posicionada de forma que pelo menos uma divisória da mesma esteja paralela a uma das escalas da platina giratória do microscópio. Tal procedimento objetiva garantir maior possibilidade de deslocamentos dentro da seção, condição necessária para a execução das análises mineralógicas. São três os possíveis sistemas de observação ao microscópio ótico: luz natural polarizada, sistema ortoscópico e sistema conoscópico. O microscópio, com todos os elementos introduzidos no circuito ótico constitui o sistema de observação conoscópico. Retirando-se a lente de Amici-Bertrand, a observação é feita ortoscopicamente. Quando se faz a observação microscópica sem o analisador e a lente de Amici-Bertrand tem-se a observação sob luz natural ou com nicóis paralelos (FUJIMORI & FERREIRA, 1979). Para identificação dos minerais através das diversas propriedades observáveis ao microscópio, faz-se uso do máximo de recursos oferecidos pelo equipamento. A figura 7.1 apresenta os componentes óticos, a configuração do microscópio para os três sistemas de observação, assim como as informações obtidas quando se faz uso dos mesmos.

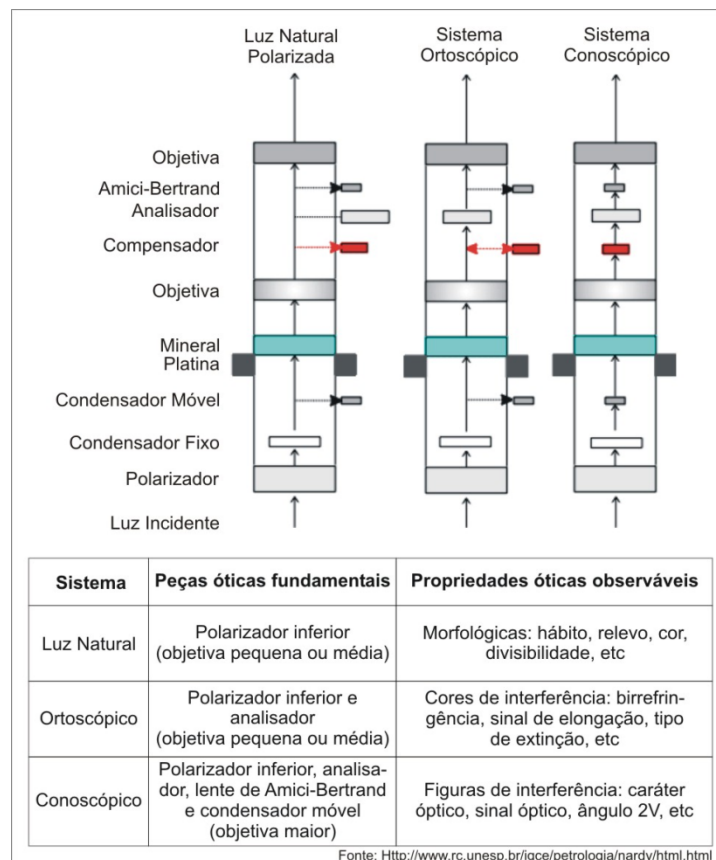


Figura 7.1: Sistemas de observação microscópica.

Para identificação dos minerais via microscopia ótica de luz refletida são avaliadas propriedades essencialmente qualitativas. Avalia-se principalmente:

- **Cor:** sob luz refletida a maioria dos minerais apresenta cores que vão do branco a diversos tons de cinza sendo que apenas poucos apresentam colorações distintas como amarelo ou rosa. Propriedade subjetiva que depende do observador e das condições de observação (uso de filtros, tipo de lâmpada aplicada, etc.).
- **Reflexões internas:** alguns minerais opacos e, mais comumente, translúcidos ou transparentes apresentam reflexões internas quando observados sob luz refletida. As reflexões ocorrem quando parte da luz penetra no mineral sendo refletida devido a falhas na estrutura, defeitos cristalinos, fraturas ou inclusões presentes no mineral. As reflexões internas apresentam diversas cores, o que pode ser uma característica diagnóstica do mineral (FAULSTICH, 2008).
- **Dureza:** propriedade avaliada indiretamente através do relevo das partículas na seção polida. Minerais com bordas salientes e relevo alto (tomando-se como base o nível da resina) indicam dureza mais alta (apresentaram maior resistência durante o polimento da seção). Já minerais com bordas fracamente visíveis e relevo baixo indicam dureza baixa. Riscos e ranhuras nos cristais são outros aspectos que auxiliam na avaliação.
- **Morfologia (habitus e texturas típicas):** o habitus caracteriza a forma típica dos cristais de determinada espécie mineral, resultante do arranjo atômico presente. É, portanto, característico de cada mineral (ou grupo de minerais, considerando-se possíveis alterações de composição química - pseudomorfismo). Alguns tipos de textura são também diagnósticos para identificação.

Para a quantificação das fases minerais ao microscópio ótico é utilizada uma determinada lente objetiva que permita visualização de pelo menos 20 partículas por campo visual (objetivas de 50x, 100x, 200x ou 500x), sendo analisados 25 campos. Este número visa abranger uma parcela estatisticamente representativa da seção polida analisada. Inicialmente posiciona-se o foco das lentes na interseção das divisórias de seção utilizando-se a objetiva de 50x. Ajusta-se, então, o aumento para a objetiva adequada para análise, posicionando-se o

foco no primeiro campo visual (desconsideram-se as áreas de influência das divisórias de seção e das bordas da seção polida). Efetuada a quantificação, retorna-se para a objetiva de deslocamento, realizando a mudança de campo com caminhamento em "zig-zag". O deslocamento é realizado de forma que não haja coincidência de campos a serem analisados. Para quantificação utiliza-se o método de estimativa de área, ou seja, em cada campo visual são estimados os percentuais em área ocupados pelas diversas espécies minerais. Os microscópios oferecem, no campo de visualização, grades de referência para estimativa de área (Figura 7.2).

Os valores de área são inseridos em planilha padrão no formato Excel, a qual efetua os cálculos de multiplicação da área ocupada pelo mineral em cada campo pela densidade do mesmo (conversão de área para massa), e o fechamento das análises na forma percentual. O percentual de participação de cada mineral é a média dos valores obtidos nos 25 campos visuais analisados.

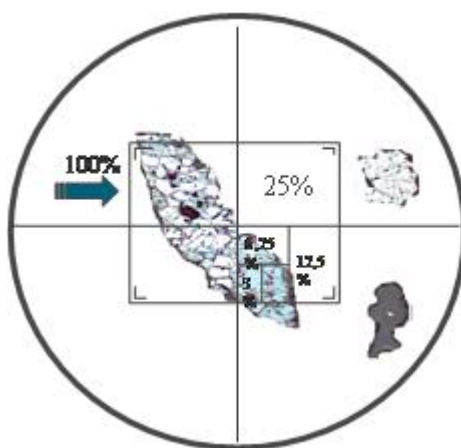


Figura 7.2 – Grade do microscópio, para estimativa de área das partículas.

No padrão de análises mineralógicas do Centro de Pesquisas Tecnológicas (CPT) são quantificados os seguintes minerais:

Hematita (Grupo dos óxidos - óxido de ferro - Fe_2O_3): Densidade 5,26 g/cm³ (DANA & HURLBUT, 1969). Mineral do sistema hexagonal. No microscópio ótico de luz refletida apresenta cor cinza-esbranquiçada, por vezes com tonalidade azulada, havendo possibilidade de ocorrência de reflexões internas de cor vermelha. Dureza alta e polimento bom. A hematita pode ocorrer sob diversos tipos morfológicos. A classificação utilizada no CPT subdivide o mineral da seguinte forma:

- **Hematita Microcristalina (HMic):** típica de minérios não metamorfizados, é o primeiro óxido de ferro a se formar, sendo que sua gênese ocorre com a sedimentação química de íons em suspensão. Geralmente o metamorfismo deste mineral dá origem, inicialmente, à magnetita, que posteriormente se altera para maghemita e hematita (sinuosa, granular, lamelar ou especular), dependendo da intensidade da alteração metamórfica e das condições do meio. Apresenta cristais de granulação inferior a 0,010 mm, de aspecto granular, formando partículas porosas com poros muito pequenos e contatos irregulares entre os cristais, por vezes imperceptíveis devido à granulação muito fina dos mesmos (Figura 7.3).

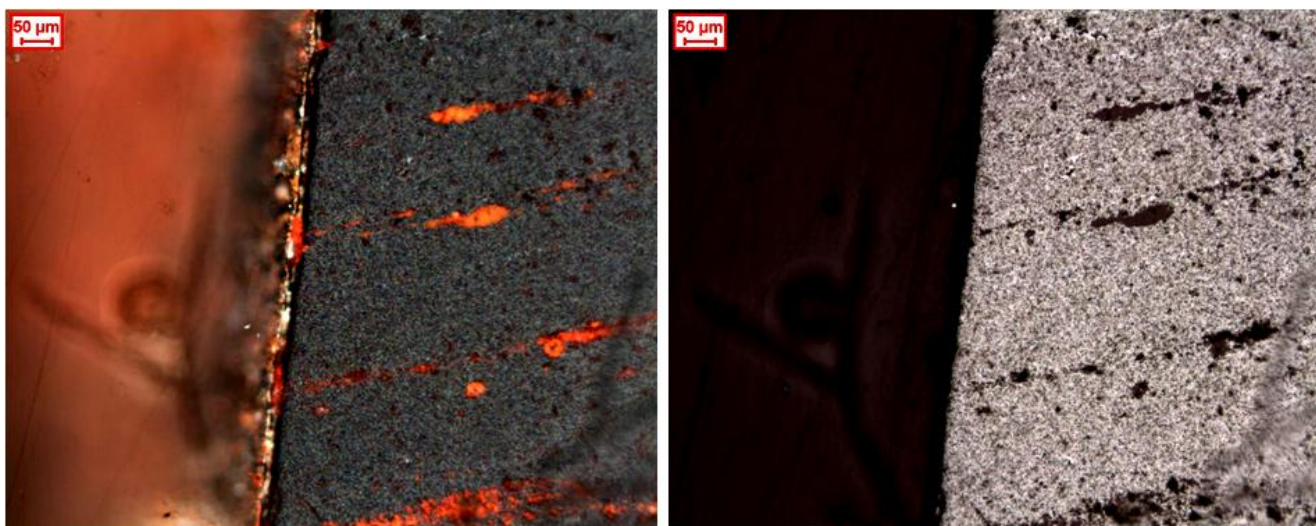


Figura 7.3 – Fotomicrografias – microscópio ótico de luz refletida - nicóis paralelos (direita) e cruzados (esquerda). Partículas formadas por hematita microcristalina.

- **Hematita Especular (HE)**: típica de minérios com alto grau de metamorfismo. Cristais compactos (pouco porosos), lateralmente retilíneos, com relação entre comprimento e largura maior que 5:1 (cristais inequidimensionais). (Figura 7.4).

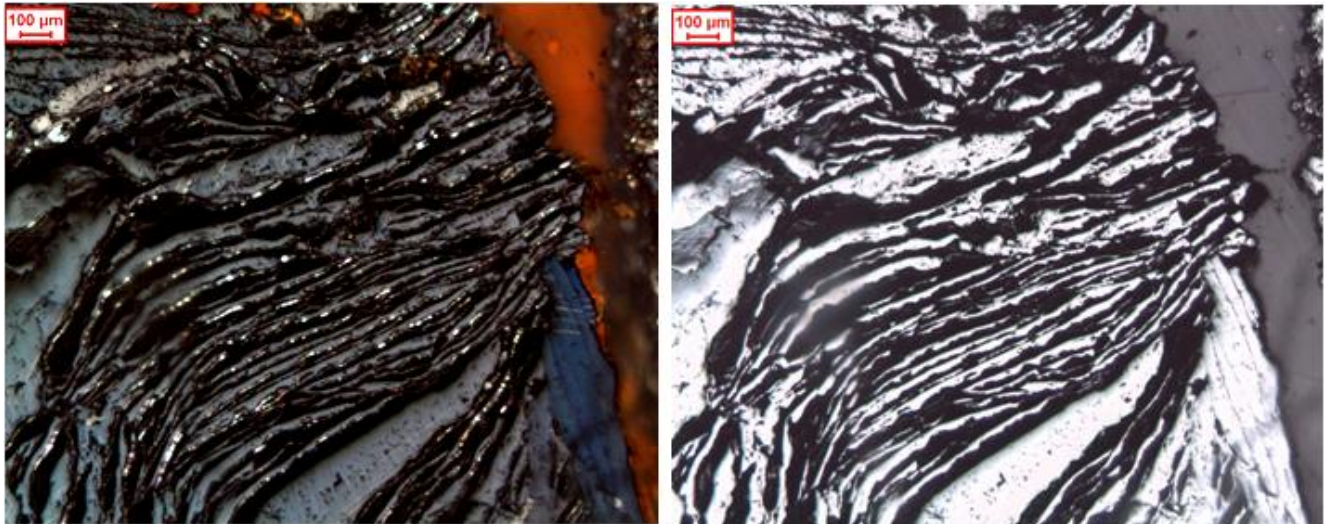


Figura 7.4 – Fotomicrografias – microscópio óptico de luz refletida - nicóis cruzados (esquerda) e paralelos (direita). Cristais de hematita especular.

- **Hematita Lamelar (HL)**: semelhante à hematita especular, porém os cristais apresentam relação entre comprimento e largura menor que 5:1 (Figura 7.5).

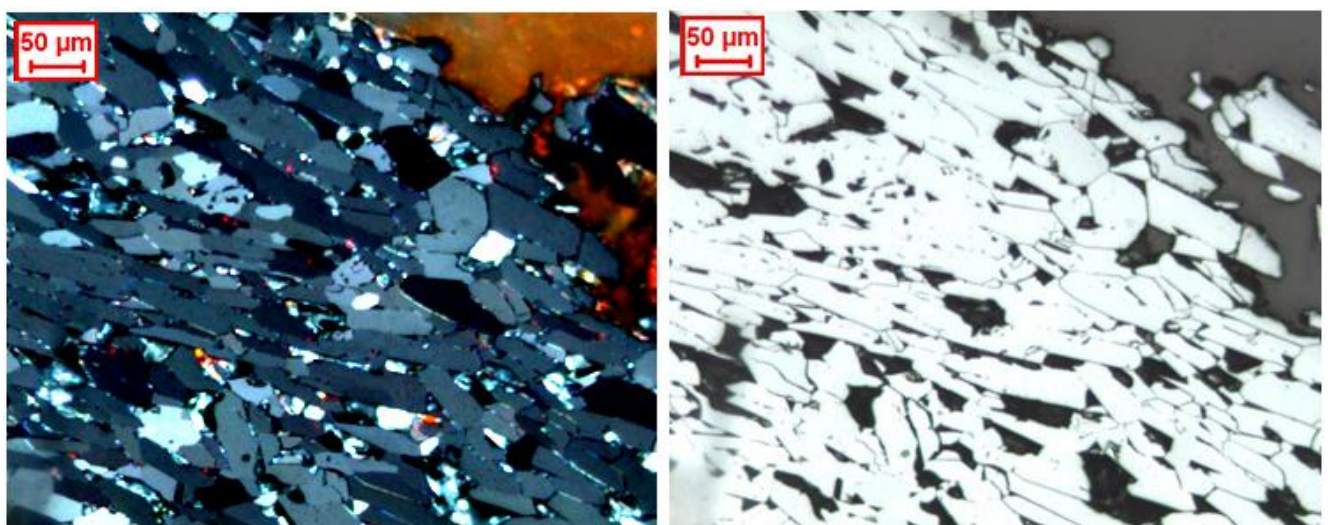


Figura 7.5 – Fotomicrografias – microscópio óptico de luz refletida - nicóis cruzados (esquerda) e paralelos (direita). Partículas contendo cristais de hematita lamelar.

- **Hematita Granular (HG)**: cristais de aspecto granular, equidimensionais e geralmente compactos (pouco porosos). Nas partículas policristalinas, os diversos cristais de hematita granular apresentam contatos retilíneos e junções tríplices entre si. Para distinção dos cristais ao microscópio ótico é necessário aplicação de nicóis cruzados (Figura 7.6).

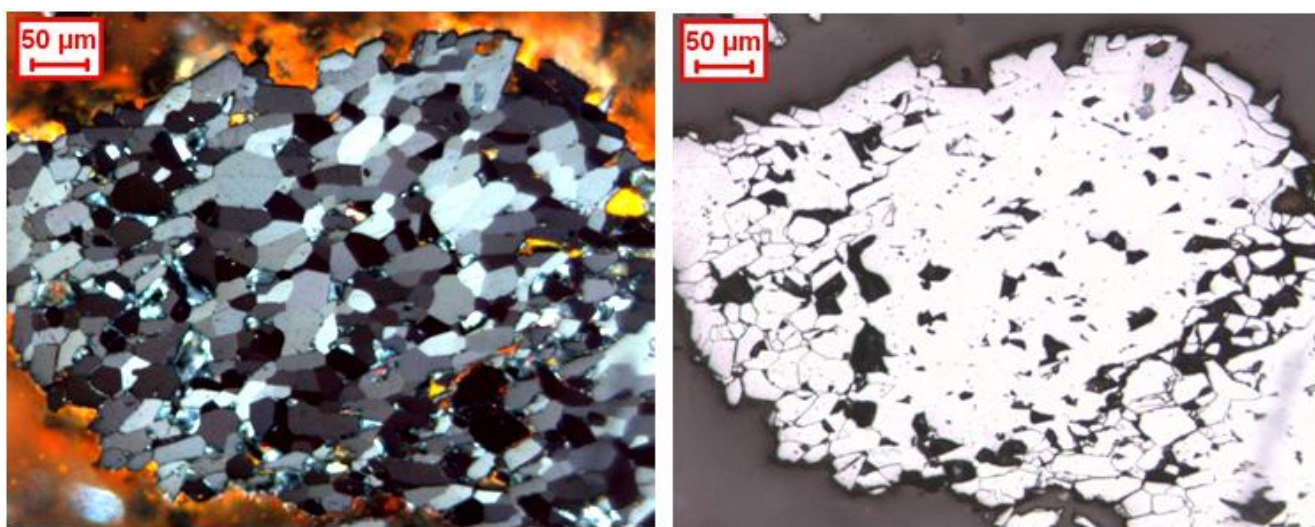


Figura 7.6 – Fotomicrografias – microscópio ótico de luz refletida - nicóis cruzados (esquerda) e paralelos (direita). Partícula contendo cristais de hematita granular.

- **Hematita Sinuosa (HS)**: também chamada hematita recristalizada. Apresenta cristais compactos de aspecto granular, inequidimensionais e irregulares (forma amebóide). Nas partículas policristalinas os contatos entre os mesmos são sinuosos, imbricados, entrelaçados. Para distinção dos cristais ao microscópio ótico é necessário aplicação de nicóis cruzados (Figura 7.7).

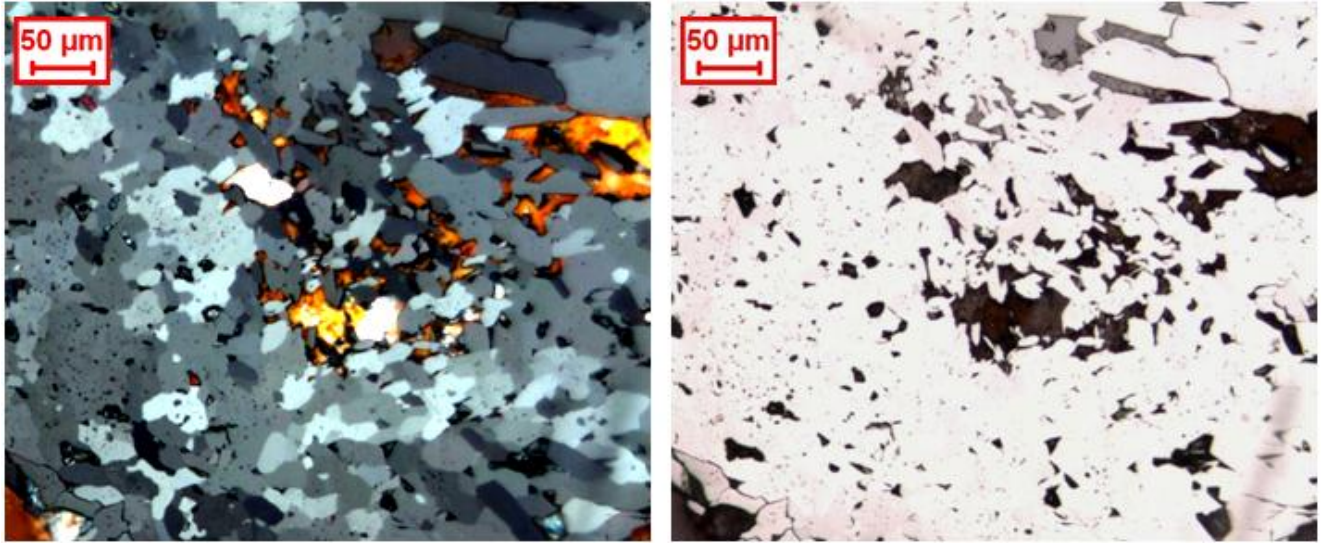


Figura 7.7 – Fotomicrografias - microscópio ótico de luz refletida - nicóis cruzados (esquerda) e paralelos (direita). Partícula contendo cristais de hematita sinuosa.

- **Hematita Martítica (HM):** formada pela oxidação da magnetita segundo os planos cristalográficos da mesma. Apresenta microporosidade característica, e geralmente preserva relictos de magnetita. Pode apresentar estrutura em treliça, vestígios dos planos de cristalização da magnetita (observada com nicóis cruzados). Os cristais apresentam aspecto granular, e por vezes preservam o habitus da magnetita (cristais euédricos de habitus octaédrico). Podem ocorrer, também, de forma totalmente irregular (cristais anédricos). Nas partículas policristalinas, os contatos entre os cristais são laterais retilíneos quando o habitus da magnetita é preservado, ou irregulares caso o habitus não seja preservado (Figura 7.8).

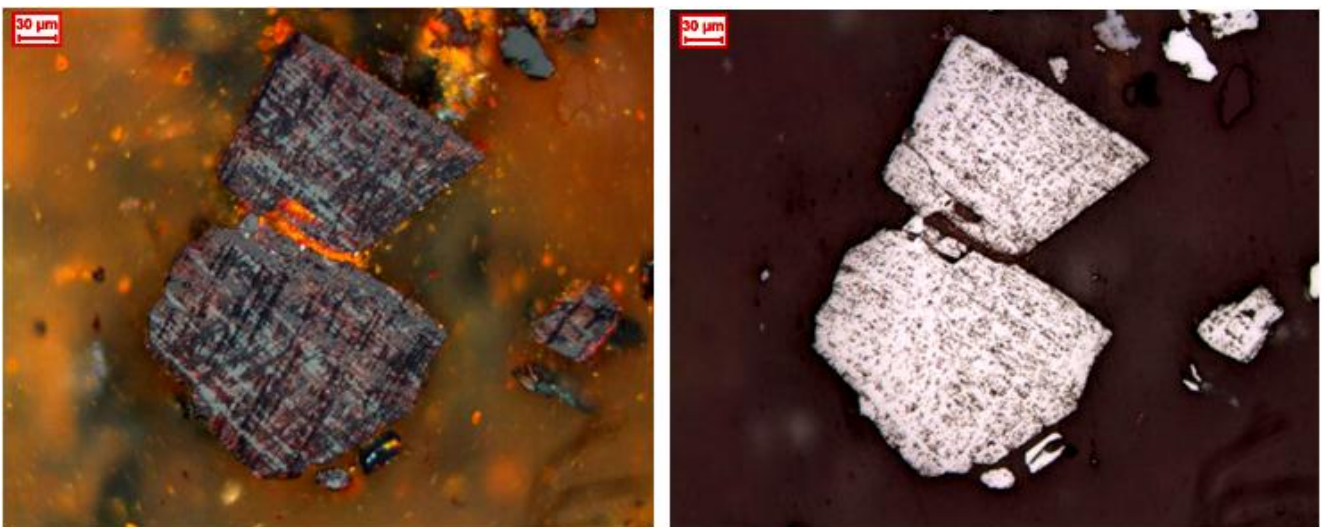


Figura 7.8 – Fotomicrografias – microscópio ótico de luz refletida – nicóis cruzados (esquerda) e paralelos (direita). Cristais de hematita martítica.

Magnetita (MA - grupo dos óxidos - óxido de ferro – Fe_3O_4): Densidade $5,18 \text{ g/cm}^3$ (DANA & HURLBUT, 1969). Mineral do sistema cúbico. Ao microscópio ótico apresenta cor rósea a cinza-amarronzado, e não apresenta reflexões internas. Dureza alta, consequentemente apresenta bom polimento. Pode ocorrer na forma de cristais de habitus octaédrico, ou na forma de relictos em hematita, sendo que os cristais podem ser compactos ou porosos, com aspecto granular quando euédricos, ou às vezes totalmente irregulares, principalmente quando a porosidade é elevada. Mineral com alta susceptibilidade magnética (Figura 7.9).

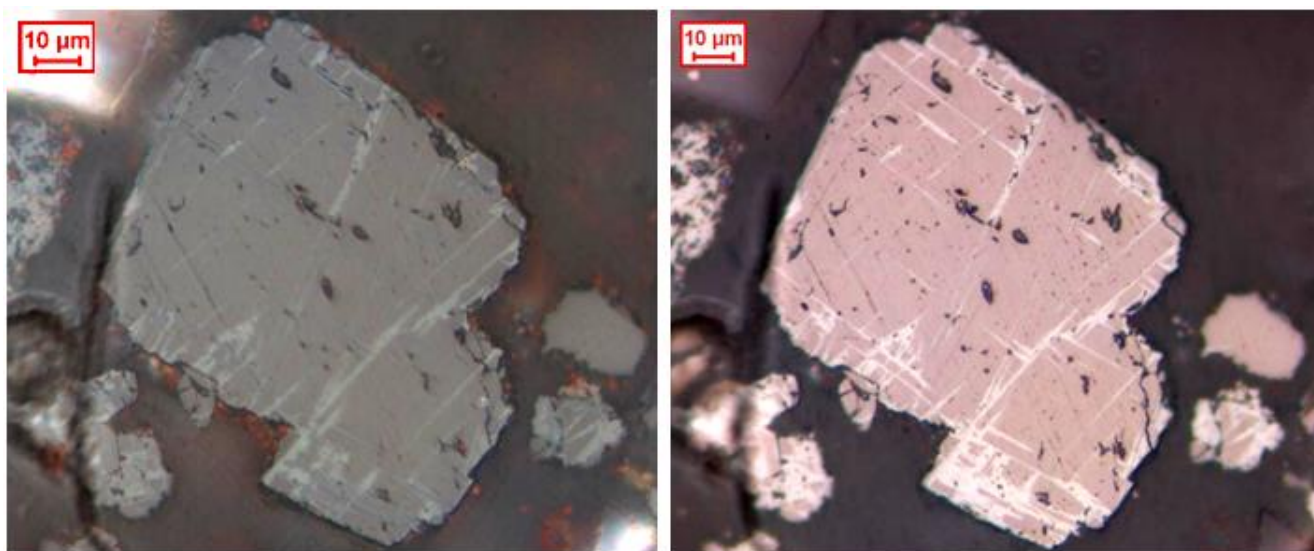


Figura 7.9 – Fotomicrografias – microscópio ótico de luz refletida – nicóis cruzados (esquerda) e paralelos (direita). Cristais de magnetita.

Goethita Compacta (GO - grupo dos óxidos - hidróxido de ferro – $\text{FeO} \cdot \text{OH}$): Considera-se densidade de $3,8 \text{ g/cm}^3$ (DANA & HURLBUT consideram um intervalo de densidade entre $3,3$ e $4,8 \text{ g/cm}^3$, devido às variações na composição química do mineral). Ao microscópio ótico apresenta cor cinza azulada, por vezes mais escuro, havendo possibilidade de ocorrência de reflexão interna nas cores laranja, vermelho ou amarelo. Habitus muito variado (maciça, botrioidal, alveolar, fibrosa – anfíbolítica). Pode conter quantidades

variáveis de água adsorvida, assim como outros elementos (P, Al₂O₃, SiO₂, etc). Ocorre comumente como produto de intemperismo de outros minerais de ferro (Figura 7.10).

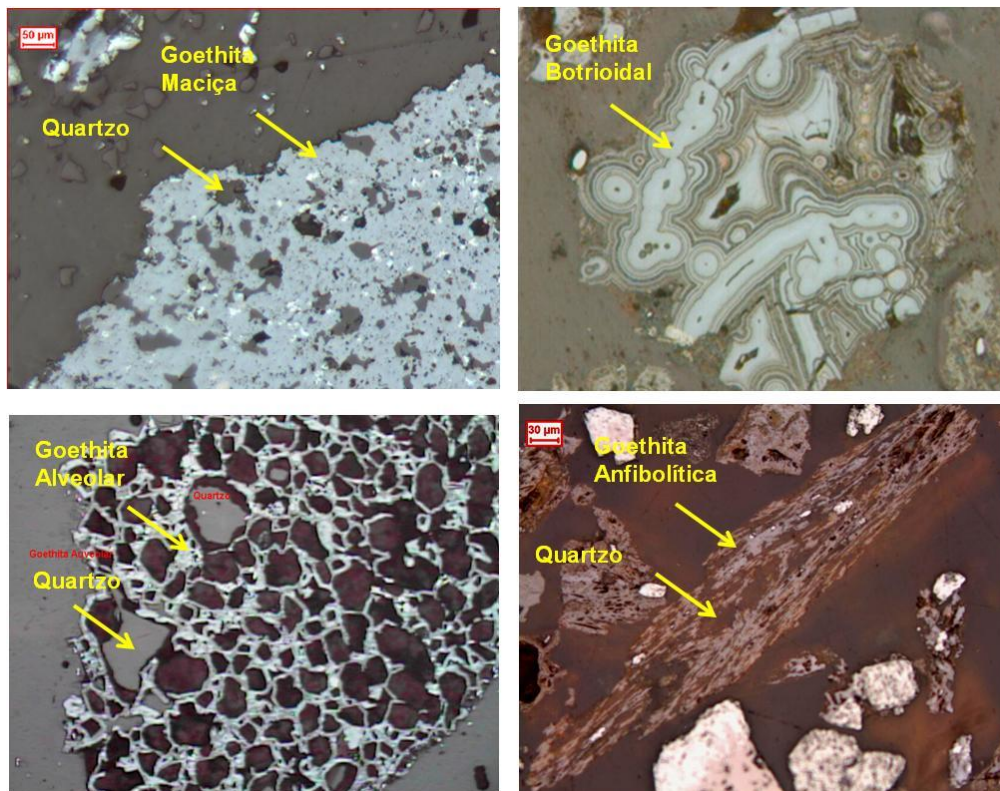


Figura 7.10 – Fotomicrografias – microscópio ótico de luz refletida – nicóis cruzados. Tipos morfológicos de goethita compacta.

Goethita Terrosa (GT - grupo dos óxidos - hidróxido de ferro - FeO.OH.nH₂O):

Considera-se densidade de 3,6 g/cm³ (DANA & HURLBUT consideram um intervalo de densidade entre 3,6 e 4,0 g/cm³, devido às variações na composição química do mineral). Ao microscópio ótico apresenta cores variadas: marrom claro, amarelado, avermelhado, etc., e pode apresentar reflexão interna em vermelho, laranja ou amarelo. Goethita com grau de hidratação mais elevado e consistência terrosa, com granulometria muito fina (< 0,010 mm), podendo ocorrer como material amorfo e/ou criptocristalino, com porosidade variável.

Apresenta conteúdo variável de água. Comparando-se com a goethita compacta, geralmente apresenta maiores teores de contaminantes (Figura 7.11).



Figura 7.11 – Fotomicrografias – microscópio ótico de luz refletida – nicóis cruzados. Partículas contendo goethita terrosa.

Quartzo (QM e QL - grupo dos tectossilicatos – dióxido de silício – SiO₂): Densidade 2,65 g/cm³ (DANA & HURLBUT, 1969). Mineral do sistema hexagonal. Transparente, incolor, dureza alta, bom polimento e bordas facilmente distinguíveis. Cristais geralmente compactos (pouco porosos), com contatos irregulares e bordas variando de pouco rugosa (lisa) a muito rugosa e com cavidades. Não apresenta clivagem, mas apresenta fratura conchoidal. Aspecto granular com cristais equidimensionais e inequidimensionais de granulação muito variável. Quantifica-se o percentual de quartzo livre e o percentual de quartzo associado a minerais ferrosos (quartzo misto). O grau de liberação do quartzo na amostra é dado por: (Figura 7.12)

$$GL (\%) = \frac{(QL \times 100)}{(QL + QM)}$$

Onde:

GL = grau de liberação (%);

QL = percentual de quartzo livre;

QM = percentual de quartzo misto.

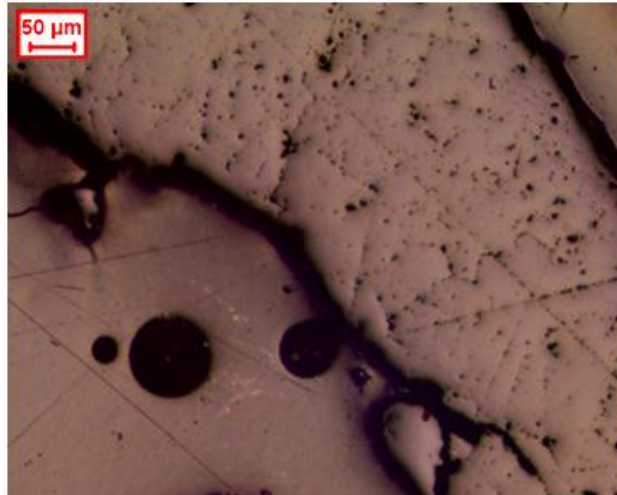


Figura 7.12 – Fotomicrografias – microscópio ótico de luz refletida – nicóis paralelos (esquerda) e cruzados (direita). Cristais de quartzo.

Gibbsita (GB – grupo dos óxidos – hidróxido de alumínio - $\text{Al}(\text{OH}_3)$): Considera-se densidade de $2,35 \text{ g/cm}^3$ (DANA & HURLBUT consideram um intervalo de densidade entre $2,30$ e $2,40 \text{ g/cm}^3$, devido às variações na composição química do mineral). Mineral do sistema monoclinico. Transparente, incolor a marrom pálido, de aspecto sacaróide (grãos semelhantes a açúcar), sendo necessário cruzarem-se os nicóis para distinção dos cristais. Mineral macio, e conseqüentemente apresenta polimento ruim. Porosidade não detectável ao microscópio ótico. Contatos irregulares, geralmente os cristais assumem a forma das partículas que os circundam, sendo comum ocorrer nos interstícios ou poros de outros minerais. Pode ocorrer como massa terrosa, associada à goethita terrosa e caulinita, geralmente (Figura 7.13).

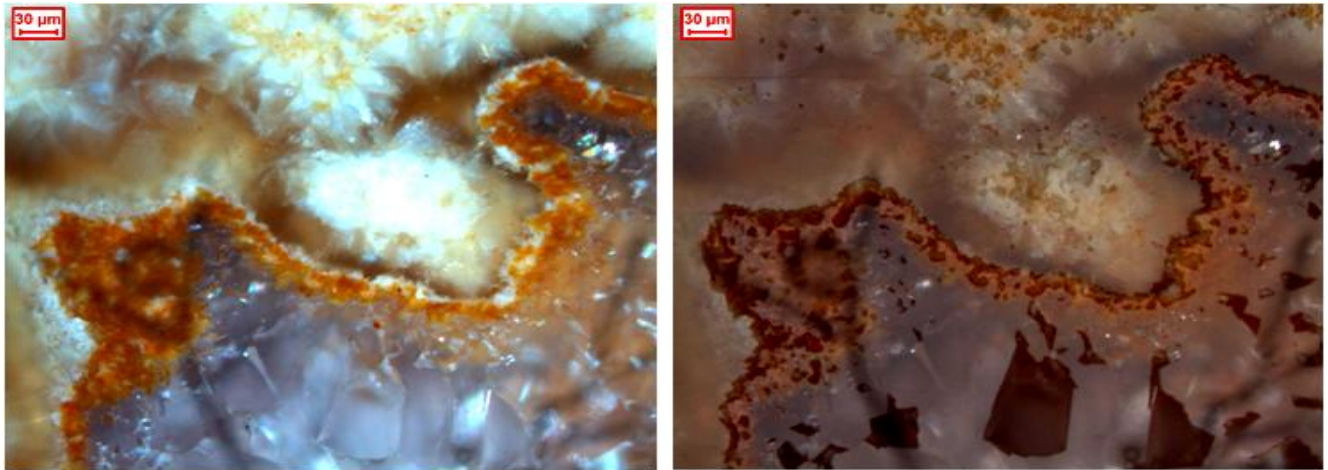


Figura 7.13 – Fotomicrografias – microscópio ótico de luz refletida – nicóis paralelos (esquerda) e cruzados (direita). Partículas contendo gibbsita.

Caulinita (CA - grupo dos filossilicatos (minerais argilosos) – silicato de alumínio hidratado – $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$): Densidade $2,60 \text{ g/cm}^3$ (DANA & HURLBUT consideram um intervalo de densidade entre $2,60$ e $2,63 \text{ g/cm}^3$, devido às variações na composição química do mineral). Mineral do sistema triclinico, argiloso, transparente, incolor a amarelo pálido. Apresenta aspecto terroso, não sendo possível a distinção de cristais. Macio, e consequentemente apresenta polimento ruim. Contatos entre cristais são irregulares, e estes geralmente assumem a forma das partículas que os circundam, sendo comum ocorrerem como massa terrosa nos interstícios ou poros de outros minerais. Granulação muito fina ($< 0,010 \text{ mm}$). (Figura 7.14)

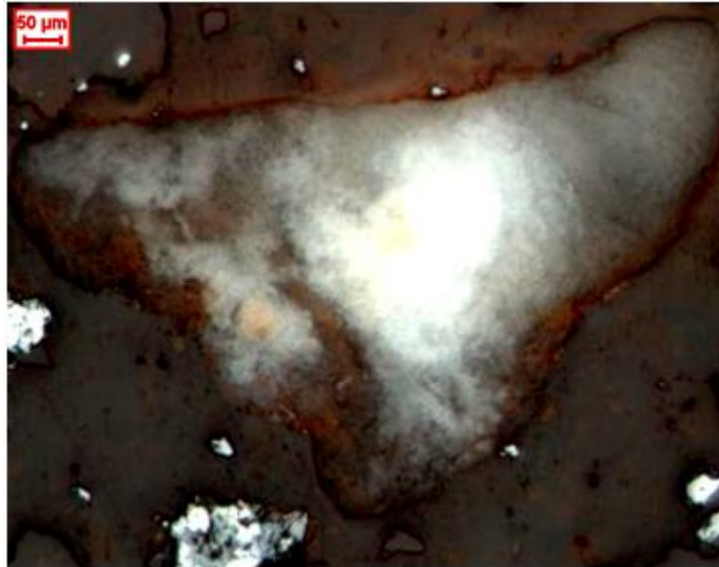


Figura 7.14 – Fotomicrografias – microscópio ótico de luz refletida – nicóis cruzados. Partícula de caulinita.

Minerais de Manganês (MN - óxidos e hidróxidos): Considera-se densidade de $4,3 \text{ g/cm}^3$ (densidade da manganita, segundo DANA & HURLBUT, 1969). Abrange uma lista de diversos minerais manganésíferos, opacos ou transparentes, de cores variadas (incolor, branco, marrom, etc.). Apresentam aspecto terroso, não sendo possível a distinção de cristais, geralmente. Minerais macios, de polimento ruim, com ocorrência de microporos (criptomelana e pirolusita) a macroporos (psilomelana) em agregados terrosos. Os contatos entre cristais são irregulares, sendo que os mesmos geralmente assumem a forma das partículas que os circundam. Comum ocorrer como massa terrosa nos interstícios ou poros de outros minerais. Granulação geralmente muito fina ($< 0,010 \text{ mm}$). (Figura 7.15)

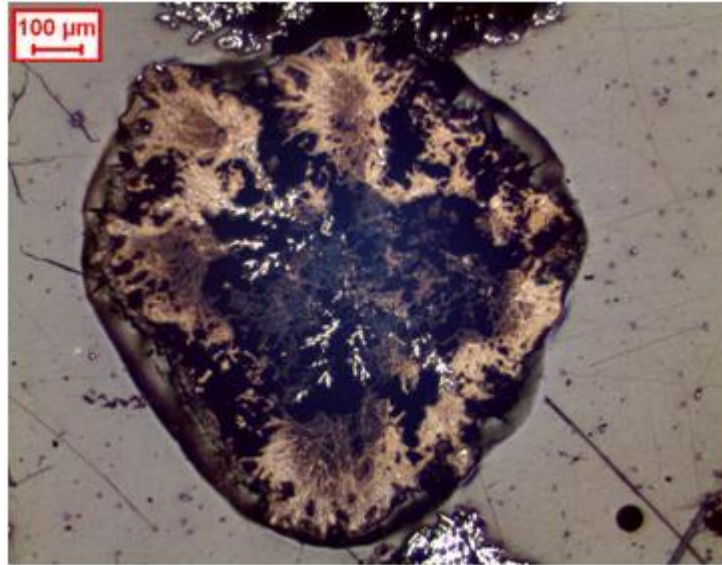


Figura 7.15 – Fotomicrografias – microscópio ótico de luz refletida – nicóis paralelos. Minerais manganésíferos.

Mica (MI - minerais do grupo dos filossilicatos): neste campo são quantificados diversos minerais do grupo das micas (usualmente muscovita). Apesar de não pertencerem ao grupo das micas, são quantificados também o talco e minerais do grupo da clorita, devido ao habitus tabular e diferenciação por vezes difícil ao microscópio ótico de luz refletida. Considera-se densidade de 2,80 g/cm³, valor que se encontra dentro dos intervalos de densidade dos principais minerais considerados. (Figura 7.16)

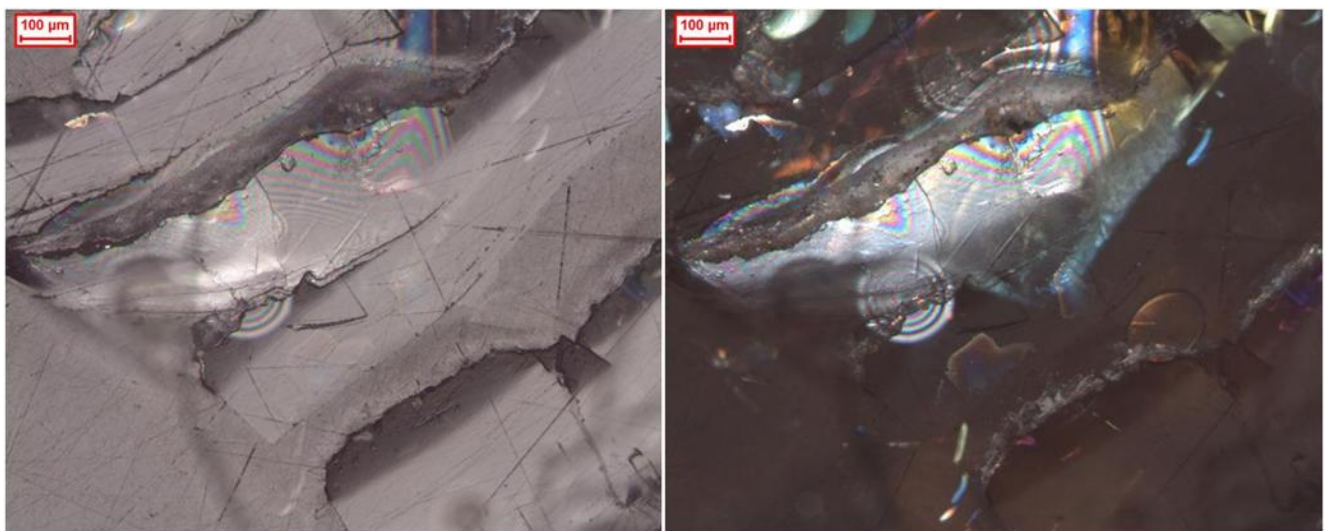


Figura 7.16 – Fotomicrografias – microscópio ótico de luz refletida – nicóis paralelos (esquerda) e cruzados (direita). Cristal de mica (muscovita).

Outros (OT): abrangem todos os minerais não listados acima. Podem ocorrer sulfetos, carbonatos, outros silicatos e óxidos, etc. (Figura 7.17)

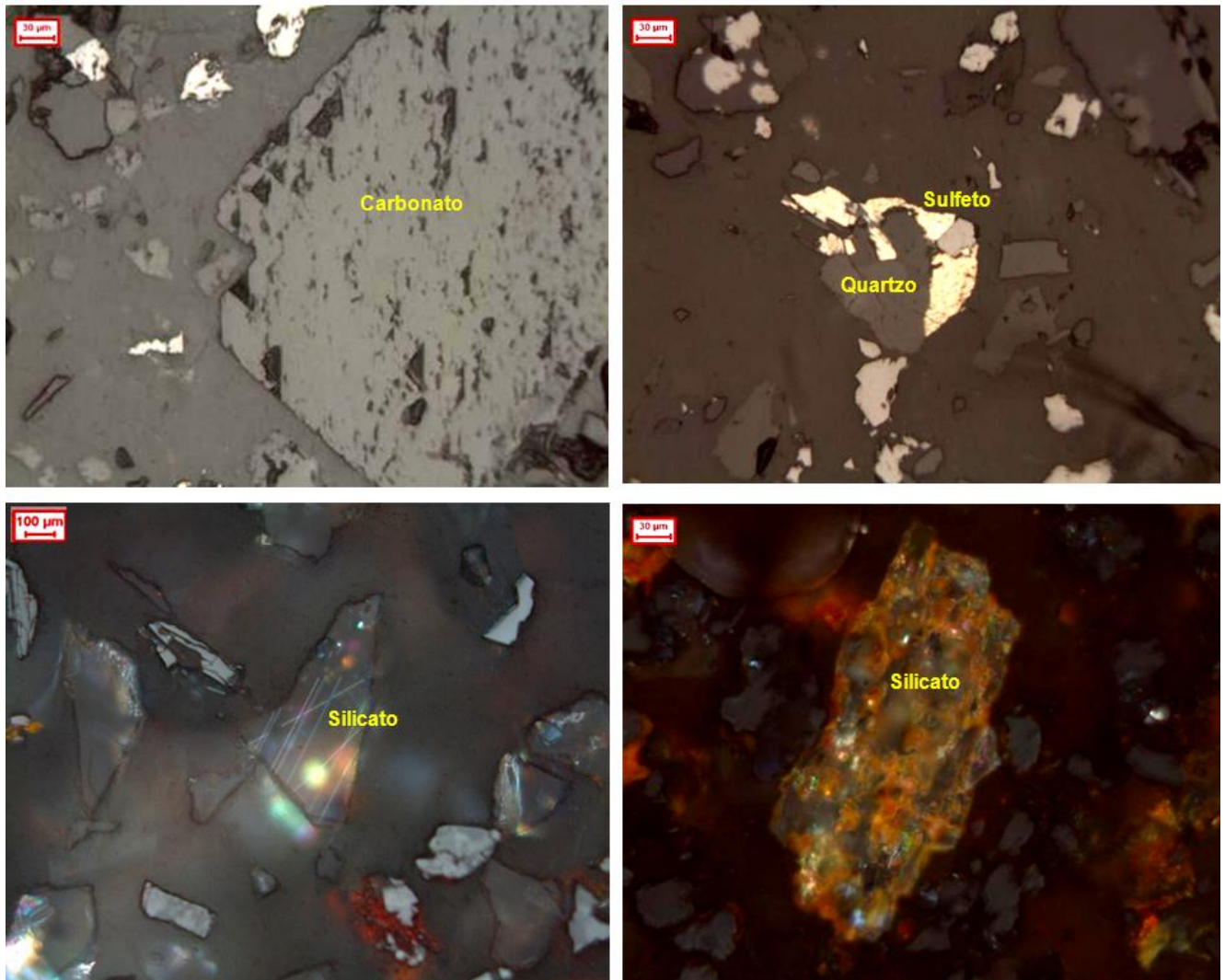


Figura 7.17 – Fotomicrografias – microscópio ótico de luz refletida. Exemplos de cristais de sulfeto, carbonato e silicato, quantificados como “Outros”.

Além dos minerais acima citados, quantifica-se também a porosidade dos minerais ferrosos. Para validação das quantificações mineralógicas é efetuada comparação entre a análise química obtida em laboratório (geralmente via fluorescência de raios X) e a composição química calculada através da quantificação mineralógica. Cada espécie mineral possui uma

composição química média, segundo a Tabela 7.1 abaixo (valores obtidos de DANA & HURLBUT, 1969):

Tabela 7.1 – Composição química média dos minerais.

Mineral	HC - Hematitas Compactas	HM - Hematita Martítica	MA - Magnetita
Composição Química	Fe ₂ O ₃ %Fe _{Total} - 67,75 a 69,61	Fe ₂ O ₃ %Fe _{Total} - 67,75 a 69,61	Fe ₃ O ₄ %Fe _{Total} - 71,68 a 72,19
Mineral	GO - Goethita	GT - Goethita Terrosa	
Composição Química	FeO.OH %Fe _{Total} - 58,02 a 62,70 %PF - 9,97 a 10,98	FeO.OH.nH ₂ O %Fe _{Total} - 51,58 a 58,47 %PF - 12,67 a 14,17 %SiO ₂ - 2,91 a 4,8 %Al ₂ O ₃ - 0 a 6,8	
Mineral	CA - Caulinita	GB - Gipsita	Quartzo
Composição Química	Al ₄ [Si ₄ O ₁₀](OH) ₈ %PF - 13,47 a 13,92 %SiO ₂ - 45,48 a 46,07 %Al ₂ O ₃ - 38,07 a 39,82	Al(OH) ₃ %PF - 31,8 a 34,12 %Al ₂ O ₃ - 62,8 a 65,3	SiO ₂ %SiO ₂ - 100%

Assim sendo, para o cálculo da composição química através da mineralogia utilizam-se as seguintes fórmulas (para as micas e os demais minerais classificados como “Outros” não se considera fórmula química devido às grandes variações composicionais. Como o percentual de ocorrência destes minerais geralmente é baixo, não há problemas com relação à validação):

$$\% \text{ Fe} = \frac{(\text{HE} + \text{HL} + \text{HG} + \text{HS} + \text{HM} + \text{HMIC})}{1,4297} + \frac{\text{MA}}{1,3812} + \frac{(\text{GO} + \text{GT})}{1,5892}$$

$$\% \text{ SiO}_2 = \text{QL} + \text{QM} + (\text{CA} \times 0,4600) + (\text{GT} \times 0,0386)$$

$$\% \text{ Al}_2\text{O}_3 = (0,0680 \times \text{GT}) + (0,3820 \times \text{CA}) + (0,6530 \times \text{GB})$$

$$\% \text{ PPC} = \frac{(0,1392 \times \text{CA})}{2} + \frac{(0,3412 \times \text{GB})}{2} + \frac{(0,14517 \times \text{GO})}{2} + \frac{(\text{GO} + \text{GT} + 6,5116)}{8,891}$$

$$\% \text{ Mn} = \frac{\text{MN}}{1,582}$$

8. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os gráficos a seguir (Figuras 8.1 a 8.3), mostram a variação do índice de vazios em função da Tensão Efetiva. Esses ensaios foram feitos com o material mais fino, o *Overflow*, que alimentaria a barragem. Foram feitos gráficos com diferentes cortes em massa para o *Underflow*. As análises foram feitas utilizando o mesmo material das amostras 1, 5 e 7, respectivamente 35%, 20% e 40% de partição em massa para o *Underflow*.

Na Amostra 1 (Figura 8.1), o índice de vazios para tensão efetiva nula era de 1.512, após a tensão final de 1000 kPa, o índice ficou em 1.123, apresentando uma redução no índice de vazios em 25.74%.

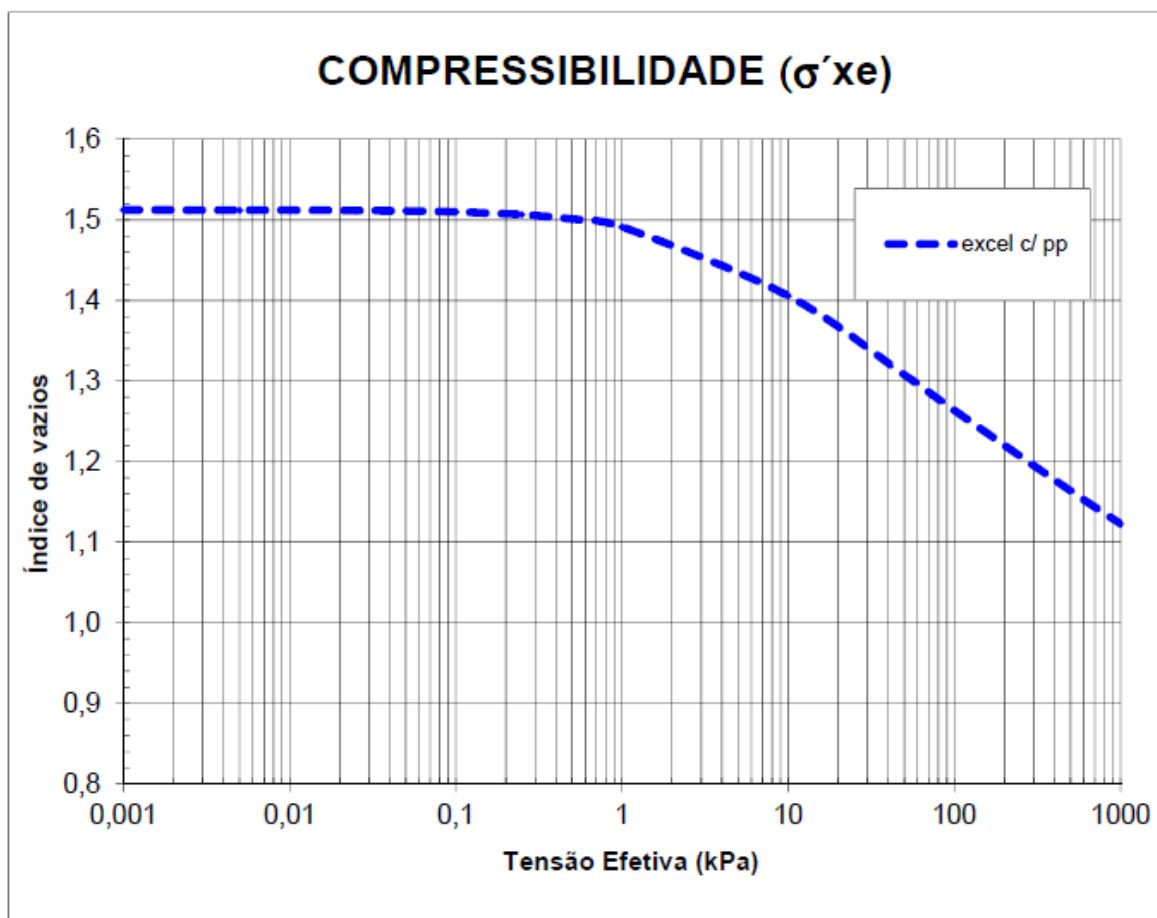


Figura 8.1: Compressibilidade Amostra 1.

Na Amostra 5 (Figura 8.3), o índice de vazios para tensão efetiva nula era de 1.628, após a tensão final de 1000 kPa, o índice ficou em 0.851, apresentando uma redução no índice de vazios em 47.72%.

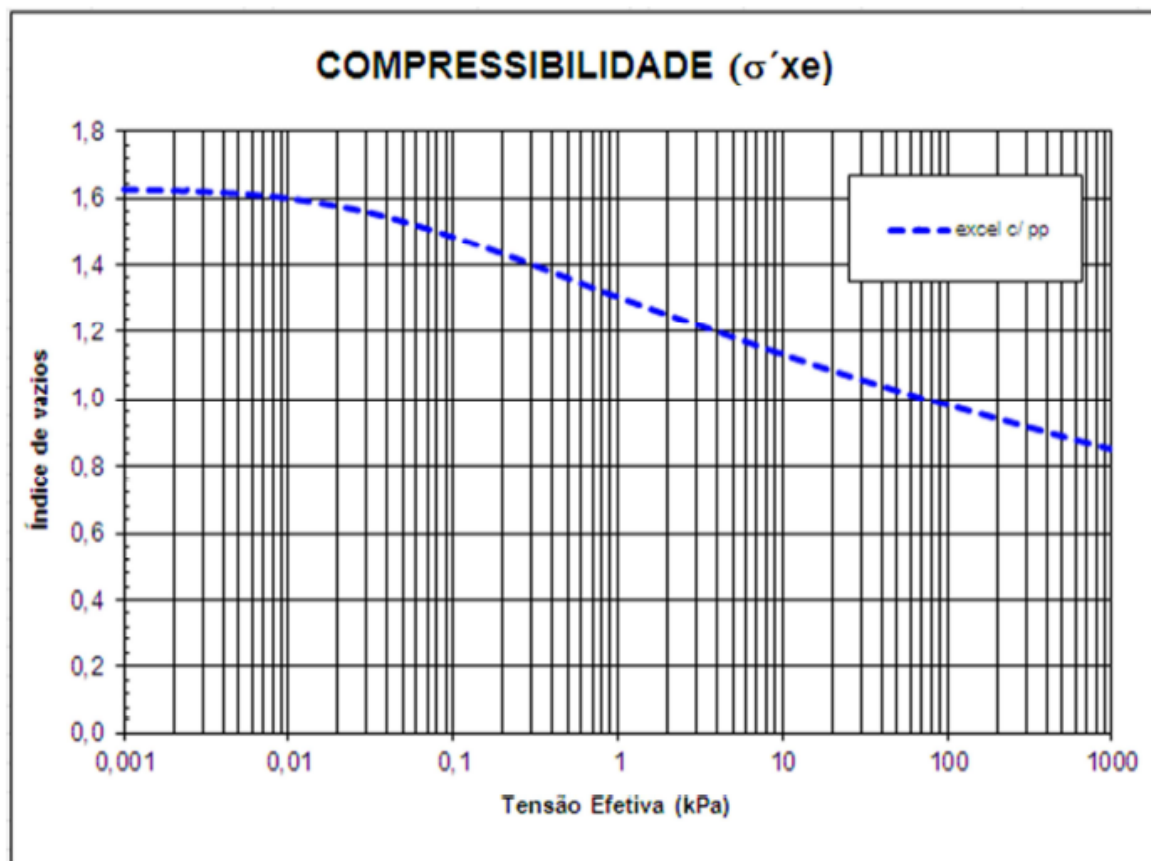


Figura 8.2: Compressibilidade Amostra 5.

Na amostra 7 (Figura 8.2), o índice de vazios para tensão efetiva nula era de 1.507, após a tensão final de 1000 kPa, o índice ficou em 0.848, apresentando uma redução no índice de vazios em 43.79%.

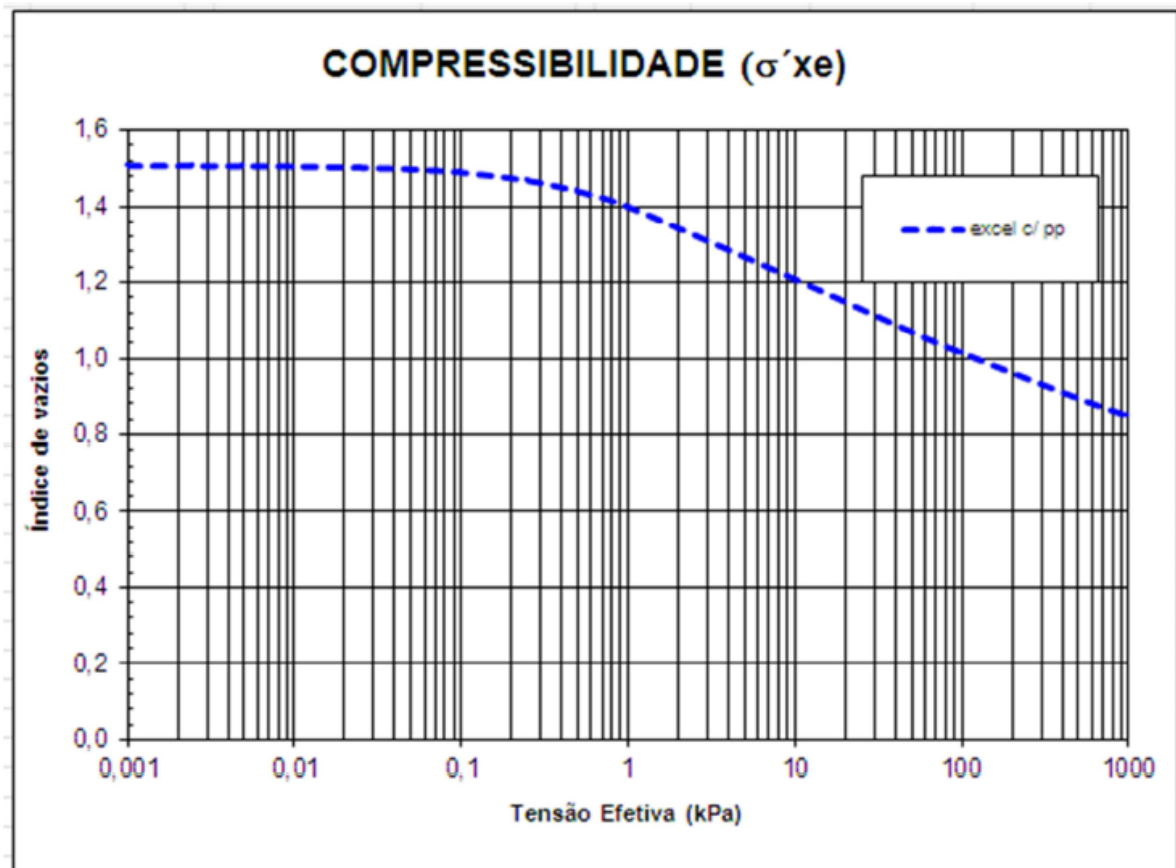


Figura 8.3: Compressibilidade Amostra 7.

Como descrito no capítulo anterior, nos ensaios também são calculadas as permeabilidades. Os gráficos (Figuras 8.4 a 8.6) mostram a variação da permeabilidade em função do índice de vazios, e indiretamente a correlação com a tensão efetiva também pode ser traçada, uma vez que já foi calculada. Os ensaios foram feitos utilizando o mesmo material das amostras 1, 5 e 7.

Na Amostra 1(Figura 8.4), a permeabilidade inicial era de $4,81 \times 10^{-6}$ m/s ,após os ensaios e consequente redução no índice de vazios, obtivemos o resultado de $4,44 \times 10^{-7}$ m/s.

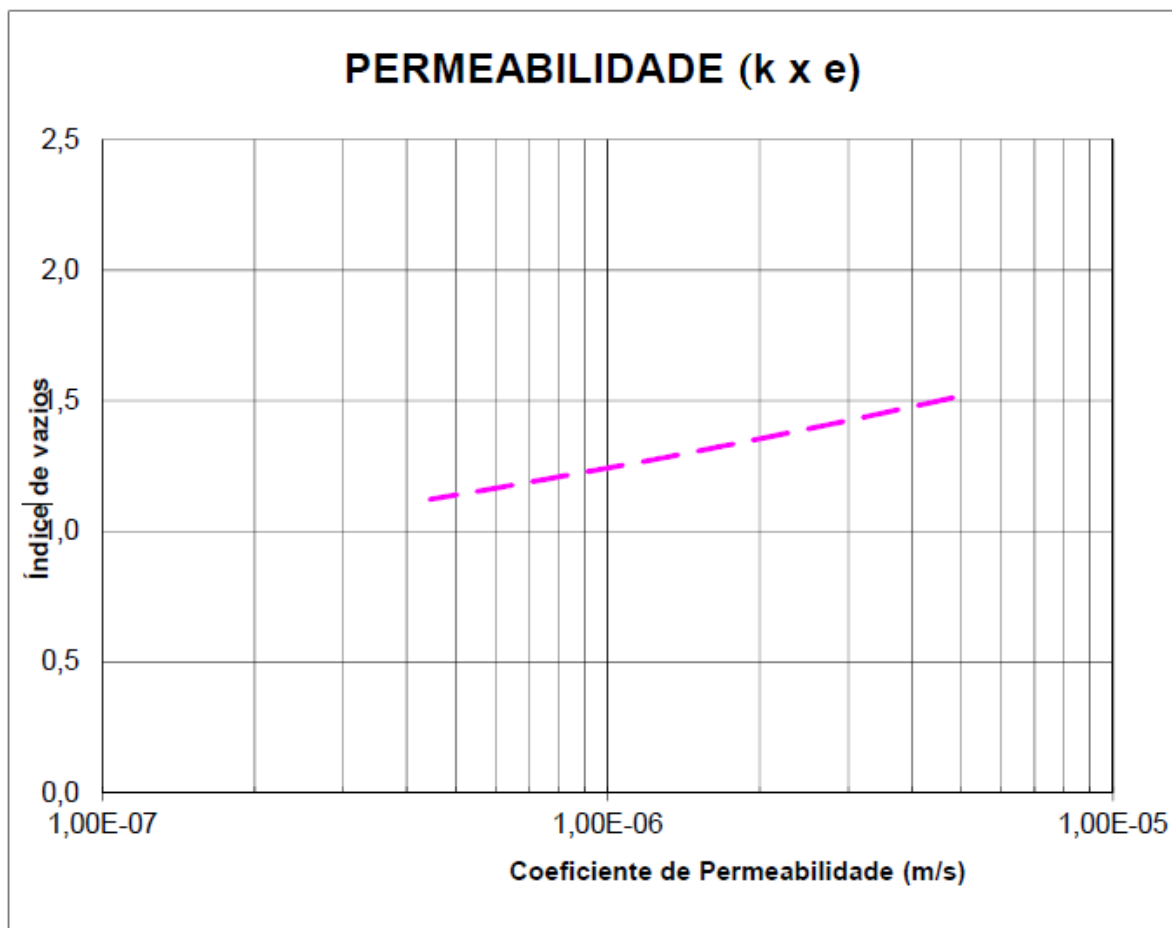


Figura 8.4: Ensaio de permeabilidade Amostra 1.

A Amostra 5 (Figura 8.5) apresentou valores iniciais de permeabilidade no valor de $3,63 \times 10^{-4}$ m/s, após os ensaios esses valores chegaram a $2,01 \times 10^{-6}$ m/s.

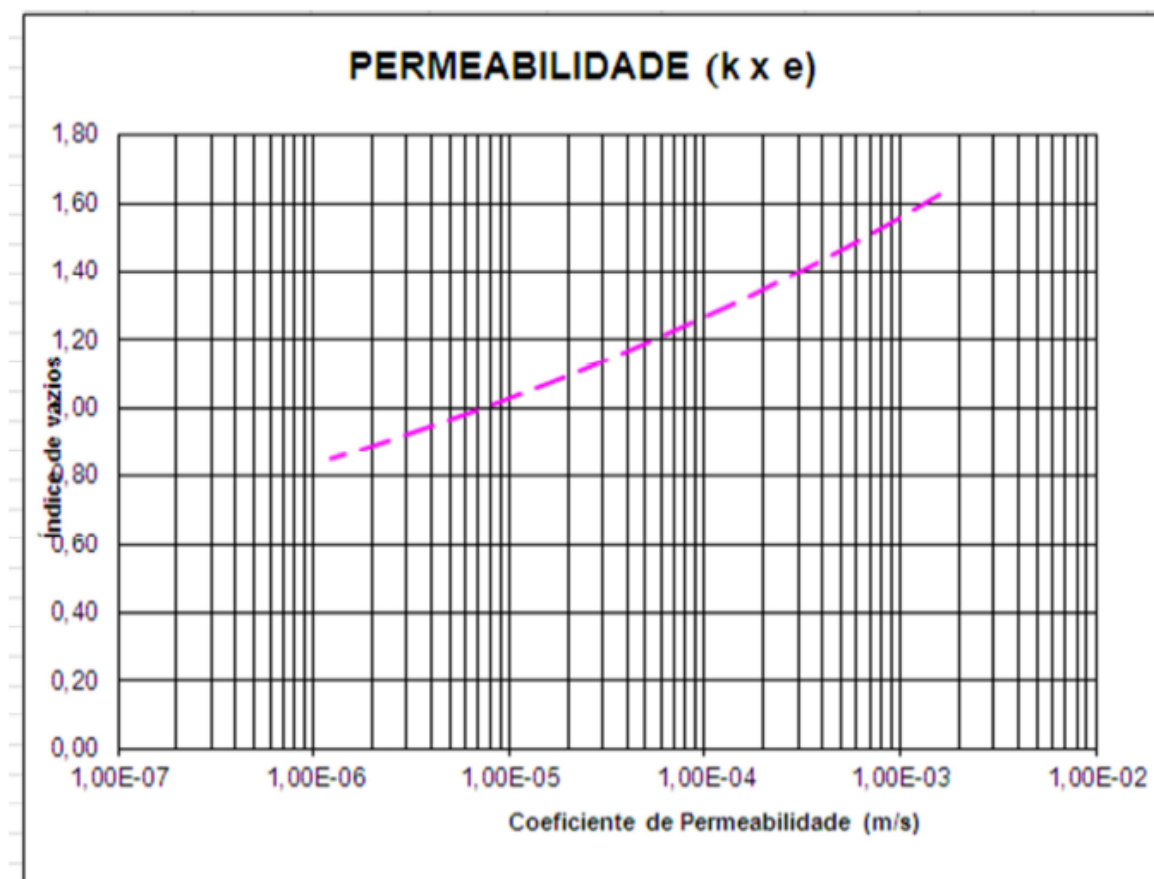


Figura 8.5: Ensaio de permeabilidade Amostra 5.

Já na Amostra 7 (Figura 8.6), o valor inicial da permeabilidade foi de $1,63 \times 10^{-4}$ m/s, e ao final do carregamento, o valor obtido foi de $1,62 \times 10^{-6}$ m/s.

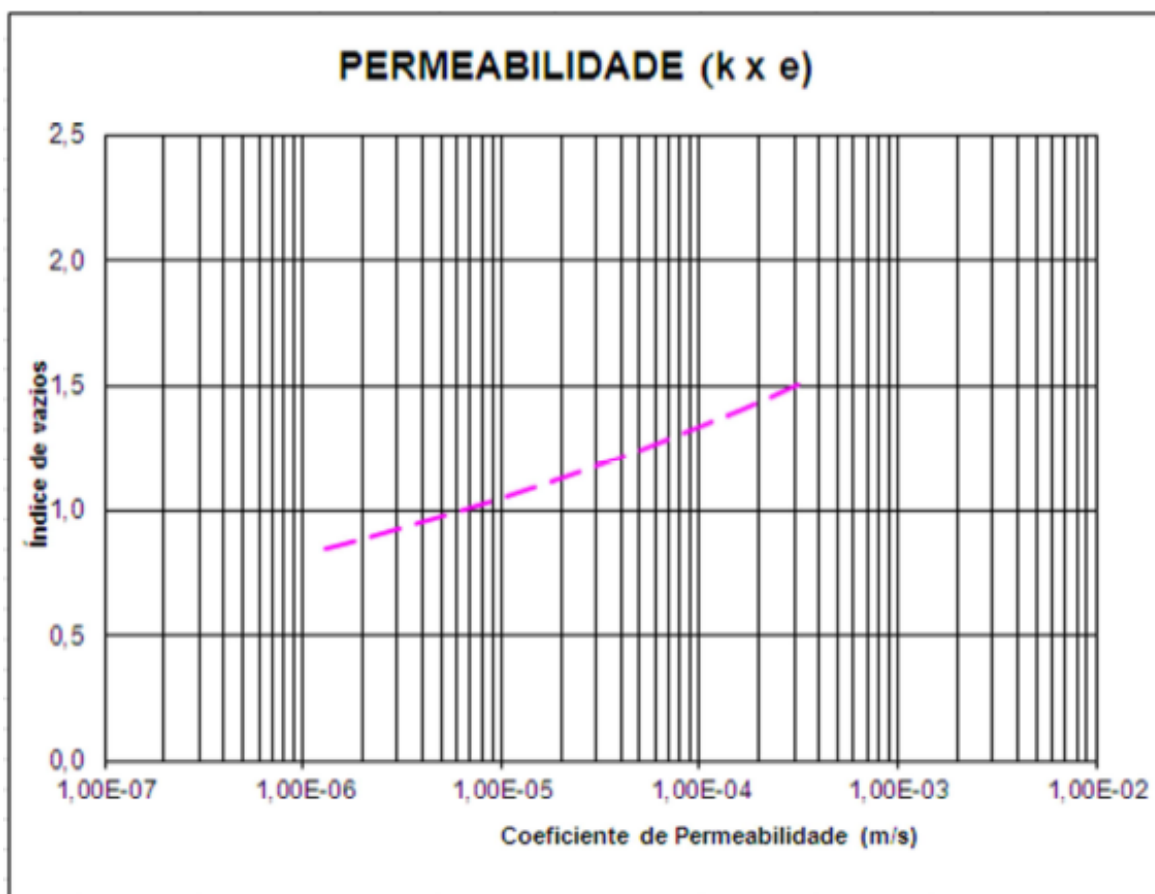


Figura 8.6: Ensaio de permeabilidade Amostra 7.

A seguir, serão apresentados os resultados das amostras que foram enviadas para o laboratório. Todos os procedimentos de preparação de amostras e análises físicas foram realizados conforme procedimentos internos do laboratório que se baseiam em normas ISO e ABNT.

A Tabela 8.1, apresenta os dados de peneiramento das amostras 1, 5 e 7. Esses dados são apresentados em % Passante acumulado em diversas malhas. É importante observar que na

malha de 210 μm , apenas as Amostras 5 e 7 tiveram massa retida. Na malha de 75 μm , enquanto a massa retida da Amostra 5 foi maior que 8%, na Amostra 7 foi maior que 2%, na Amostra 1 não chegou nem a 1%. Em seguida (Figuras 8.7 a 8.9) são apresentados os respectivos gráficos desses dados. A Figura 8.10 apresenta os dados plotados em um só gráfico, evidenciando a maior porcentagem de material retido nas frações mais grosseiras da Amostra 5.

Tabela 8.1: Passante acumulado das amostras 1, 5 e 7.

Malha (μm)	Amostra 01	Amostra 05	Amostra 07
	% Passante Acumulado	% Passante Acumulado	% Passante Acumulado
710.0	100.00	100.00	100.00
600.0	100.00	100.00	100.00
210.0	100.00	99.38	99.61
75.0	99.15	91.59	97.56
38.0	85.70	73.42	82.94
32.5	85.02	72.11	81.42
23.3	77.69	65.74	73.88
17.0	62.79	52.31	58.62
11.9	48.44	41.91	46.97
9.0	36.63	34.41	38.64
-9.0	0.00	0.00	0.00

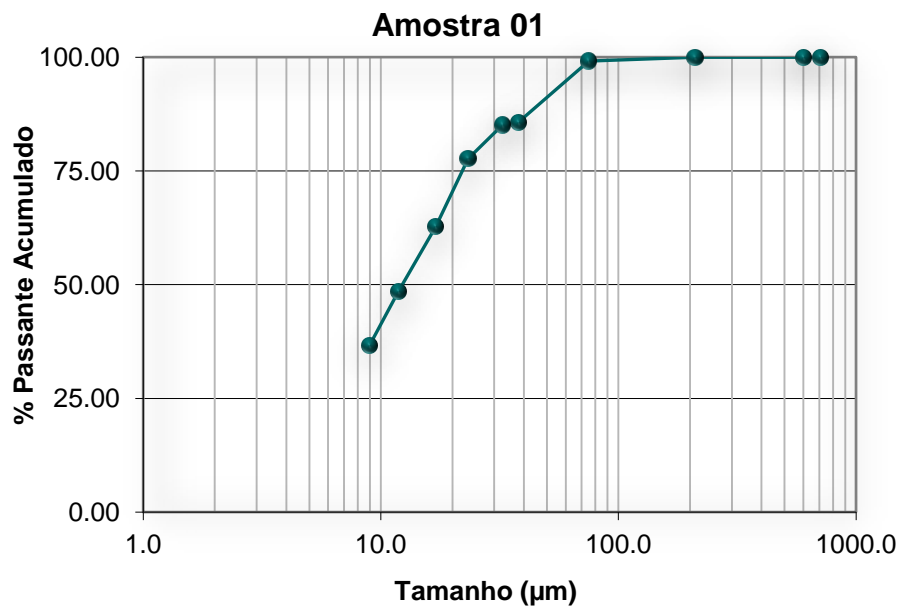


Figura 8.7: Gráfico % Passante acumulado Amostra 1.

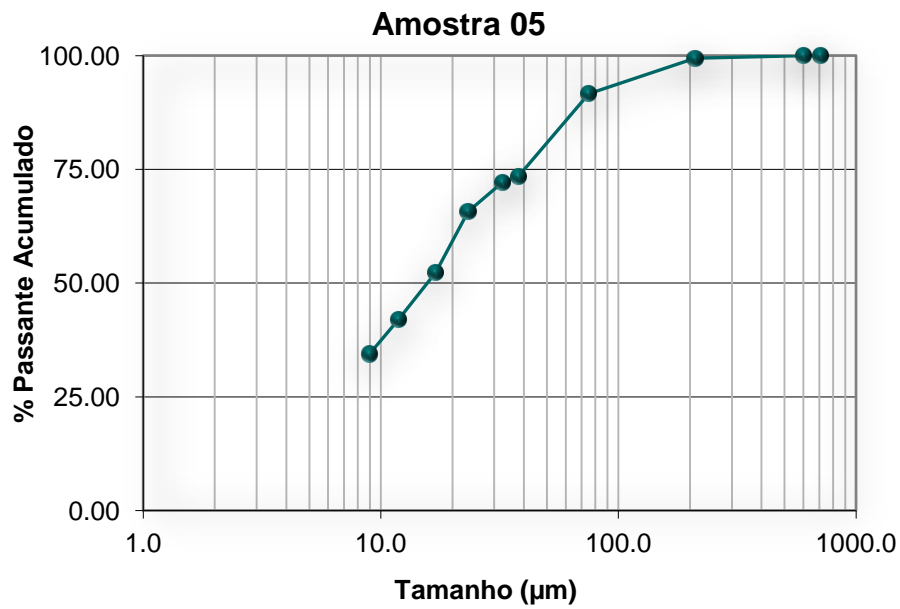


Figura 8.8: Gráfico % Passante acumulado Amostra 5.

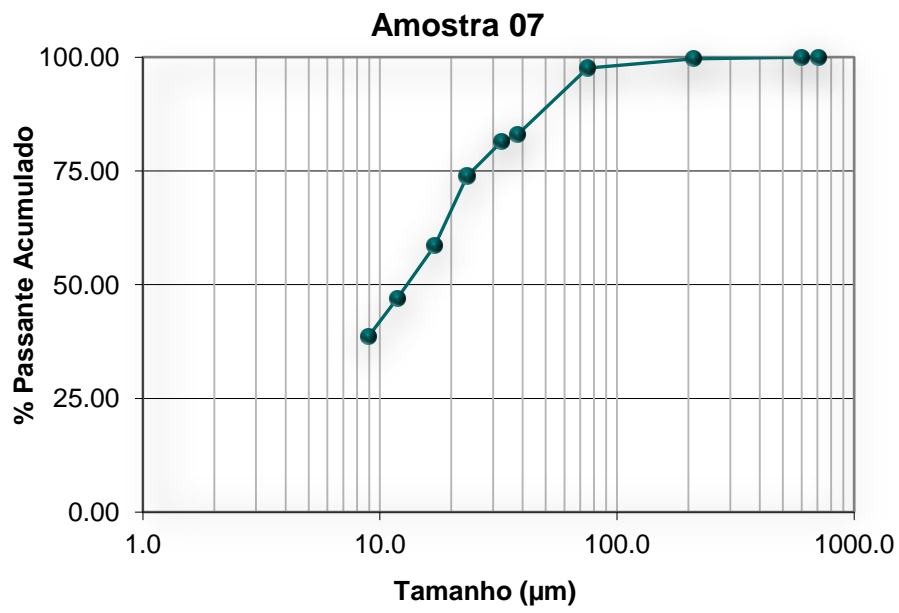


Figura 8.9: Gráfico % Passante acumulado Amostra 7.

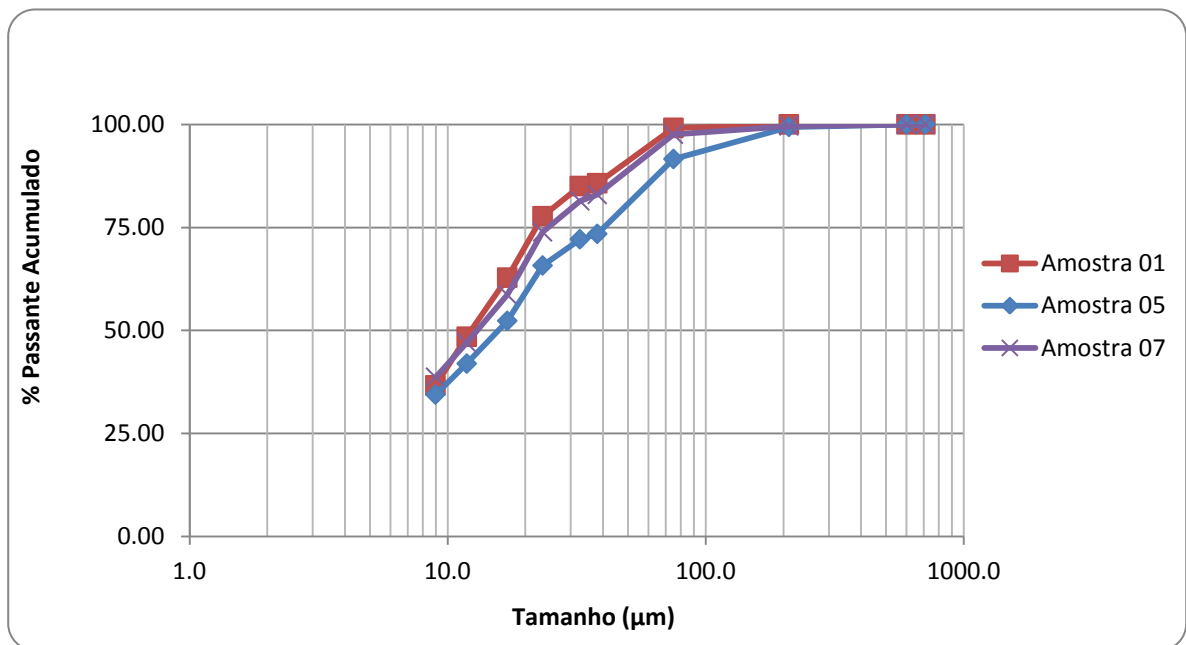


Figura 8.10: Gráfico % Passante acumulado das Amostra 1, 5 e 7.

As 3 amostras foram submetidas a diversos tipos de análises, uma delas foi a quantificação mineralógica, que mostrou algumas diferenças entre as amostras, a porcentagem maior de Caulinita na amostra 5 em comparação as Amostras 1 e 7, foi uma das diferenças apresentadas na Tabela 8.2 a seguir.

Tabela 8.2: Quantificação mineralógica

Amostra	Fração (mm)	% Rendimento	Quantificação Mineralógica (%)																Análise Química (%)														
			HF	HL	HG	HMB	HS	HCS	HM	MA	CaM	CaM	CaM	CaM	GO	GT	QL	QM	MW	CA	GB	MI	OT	PO	GL	Fe	SiO ₂	P	Al ₂ O ₃	Mn	TiO ₂	CaO	MgO
1	0,21+0,075	0,86	0,67	2,38	4,11	0,00	3,63	10,80	4,17	0,98	0,00	0,00	6,63	6,63	0,74	73,12	0,27	0,98	1,32	0,40	0,00	0,59	10,84	99,63	14,68	74,00	0,036	1,63	0,356	0,149	0,182	0,065	2,11
	0,075+0,038	13,45	0,52	1,48	2,20	0,00	0,00	4,21	0,32	0,09	0,00	0,00	4,38	4,38	0,39	87,89	0,53	0,56	1,04	0,53	0,00	0,05	1,60	99,40	4,51	90,86	0,019	1,19	0,172	0,006	0,043	0,107	0,99
	0,038	86,70	7,51	20,76	31,38	0,00	0,00	59,65	0,41	0,06	0,00	0,00	6,07	6,07	3,79	26,15	0,42	0,42	0,44	2,51	0,00	0,07	1,92	98,41	45,50	23,82	0,108	5,48	0,485	0,195	0,051	0,052	4,65
Global	100,00	6,51	18,07	27,23	0,00	0,03	51,78	0,43	0,08	0,00	0,00	5,85	5,85	3,30	34,85	0,44	0,44	0,53	2,22	0,00	0,07	1,95	98,55	39,14	54,13	0,095	4,81	0,435	0,161	0,066	0,052	4,13	
5	0,21+0,075	8,41	0,53	0,55	1,30	0,00	0,48	2,86	2,02	0,39	0,00	0,17	9,94	10,11	4,40	75,93	0,26	0,57	3,03	0,37	0,00	0,06	23,40	99,55	10,84	78,64	0,048	2,07	0,440	0,022	0,031	0,060	2,37
	0,075+0,038	18,17	1,94	2,90	3,62	0,00	0,63	9,09	1,43	0,06	0,00	0,00	3,50	3,50	2,29	79,43	0,08	1,14	2,93	0,06	0,00	0,00	3,32	99,89	9,09	82,72	0,032	1,50	0,250	0,026	0,023	0,058	1,51
	0,038	73,42	17,75	21,26	13,00	0,00	0,35	52,37	0,41	0,00	0,00	0,05	6,67	8,72	5,05	18,22	0,09	2,17	12,98	0,00	0,00	0,00	1,72	99,53	43,88	22,78	0,133	7,15	1,010	0,224	0,047	0,104	6,09
Global	100,00	13,43	16,18	10,31	0,00	0,41	40,34	0,73	0,04	0,00	0,05	7,83	7,89	4,49	34,20	0,10	1,85	10,32	0,04	0,00	0,00	3,83	99,61	34,70	58,41	0,112	5,95	0,848	0,175	0,062	0,098	4,95	
7	0,21+0,075	2,44	0,77	3,58	4,59	0,00	3,36	12,29	6,45	0,67	0,03	0,17	8,13	8,33	1,46	67,12	0,31	1,32	0,80	1,23	0,00	0,04	11,36	99,55	18,66	68,00	0,065	1,87	0,542	0,069	0,063	0,048	2,65
	0,075+0,038	14,62	0,64	2,19	3,95	0,00	0,12	6,90	1,16	0,04	0,00	0,00	4,64	4,64	0,30	85,11	0,19	0,46	0,72	0,43	0,00	0,05	3,40	99,77	6,80	87,12	0,022	1,10	0,181	0,015	0,043	0,049	1,07
	0,038	82,94	7,11	19,69	41,09	0,00	0,00	67,89	0,32	0,00	0,00	0,00	7,28	7,28	1,60	21,55	0,25	0,34	0,29	0,48	0,00	0,00	2,48	98,85	45,16	23,68	0,109	5,72	0,559	0,196	0,046	0,059	4,90
Global	100,00	6,01	16,74	34,77	0,00	0,10	57,62	0,59	0,02	0,00	0,00	6,92	6,92	1,41	31,95	0,24	0,38	0,36	0,49	0,00	0,01	2,83	99,00	36,64	55,63	0,105	5,38	0,739	0,167	0,039	0,082	4,78	

HC's = Hematitas compactas
 HM = Hematita marfaca
 MA = Magnetita
 GO = Goethita
 GT = Goethita terra
 CA = Caulinita
 QL = Quartzo Live
 GB = Gibbista
 MW = Óxido de manganês
 CA = Caulinita
 MI = Outros minerais
 OT = Outros minerais
 QM = Quartzo Mistro

A análise química global (Tabela 8.3), não apresenta grandes variações entre as amostras analisadas.

Tabela 8.3: Análise química global.

Amostra	Análise Química (%)								
	Fe	SiO ₂	P	Al ₂ O ₃	Mn	TiO ₂	CaO	MgO	PPC
1	39.14	34.13	0.095	4.81	0.435	0.161	0.066	0.052	4.13
5	34.70	38.41	0.112	5.95	0.848	0.175	0.062	0.098	4.95
7	36.64	35.83	0.105	5.58	0.759	0.167	0.039	0.082	4.78

Além de análises químicas, foram feitas análises em que mostram a distribuição química por mineral (Tabela 8.4). Destaca-se a Caulinita, que contribui grandes quantidades de sílica e alumina na amostra 5.

Tabela 8.4: Distribuição química por mineral.

Amostra	Distribuição Química por Mineral (%)										
	Fe				SiO ₂				Al ₂ O ₃		
	Hematitas Compactas	Hematita Martítica	Magnetita	Goethita+Goethita Terrosa	Quartzo Livre	Quartzo Misto	Goethita Terrosa	Caulinita	Goethita Terrosa	Caulinita	Gibbsita
1	85.55	0.72	0.13	13.61	97.74	1.22	0.36	0.68	11.96	10.76	77.28
5	77.21	1.40	0.09	21.31	87.20	0.26	0.44	12.10	7.14	92.21	0.65
7	87.66	0.90	0.03	11.41	98.57	0.75	0.17	0.51	17.36	25.01	57.63

As amostras também são apresentadas em formato de gráfico de barras (Figura 8.11). Esse gráfico mostra a quantificação mineralógica de cada amostra. As 3 amostras possuem mineralogia semelhante, exceto a Amostra 5 que apresenta uma presença maior que 10% de Caulinita, enquanto nas outras amostras esse valor não chega a 1%.

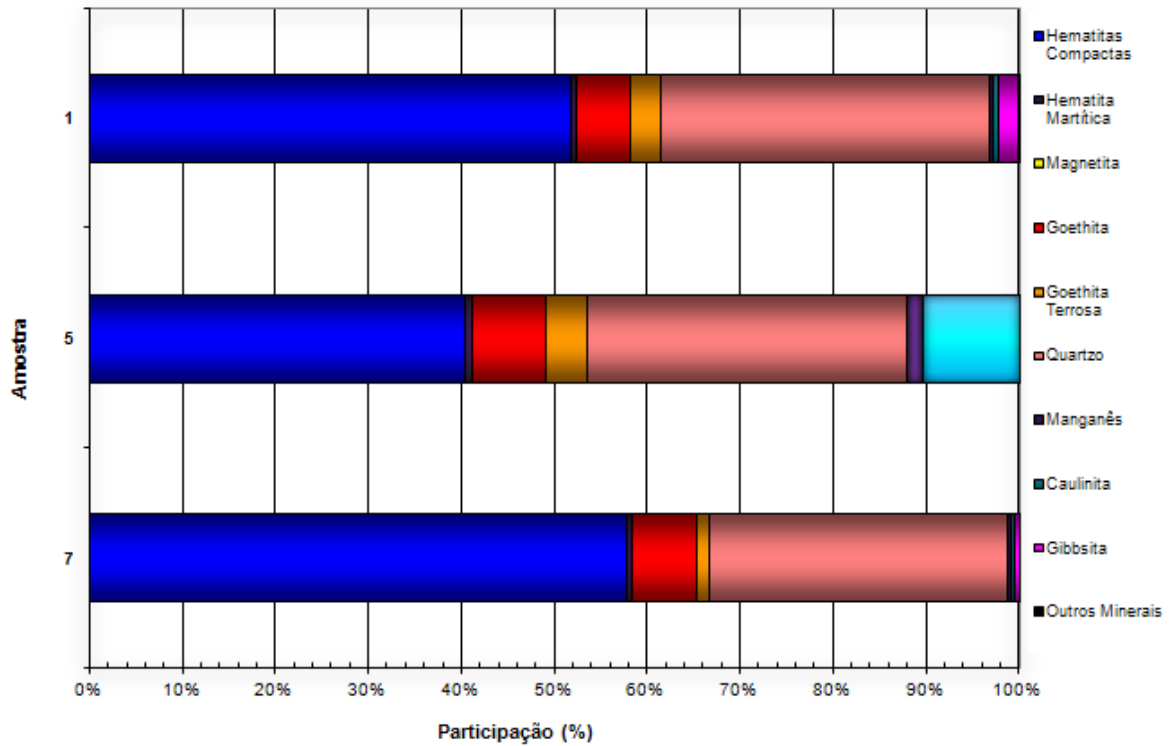


Figura 8.11: Quantificação mineralógica por amostra.

A distribuição global de Ferro por mineral é apresentada na Figura 8.12. Em todas as amostras predominam a contribuição das Hematitas Compactas.

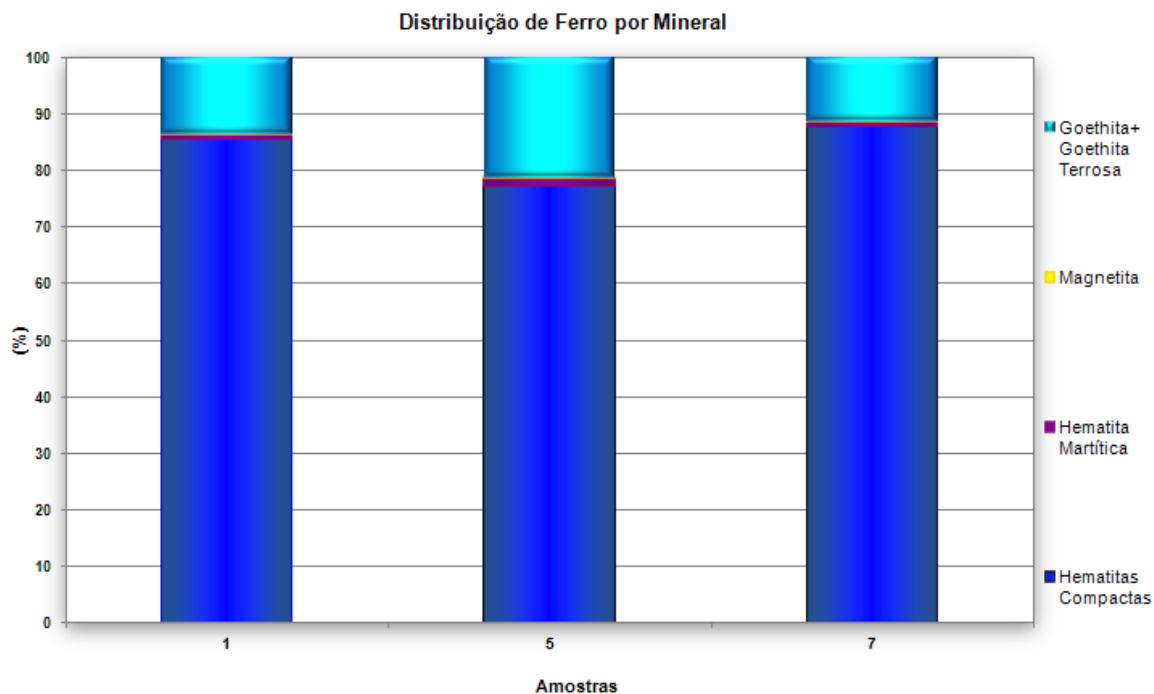


Figura 8.12: Distribuição de Ferro por mineral das Amostra 1, 5 e 7.

A distribuição de Alumina por mineral é apresentada na Figura 8.13. Na Amostra 1, a Gibbsita fornece aproximadamente 77% da Alumina total, enquanto a Goethita Terrosa fornece 12% e a Caulinita 11%. A Amostra 5 se destaca com uma contribuição maior que 92% de Alumina proveniente da Caulinita, o restante vem da Goethita Terrosa com aproximadamente 7% e da Gibbsita com menos de 1%. Já Amostra 7, Apresenta valores mais divididos entre a Gibbsita, Caulinita e Goethita Terrosa, com 58%, 25% e 17% respectivamente.

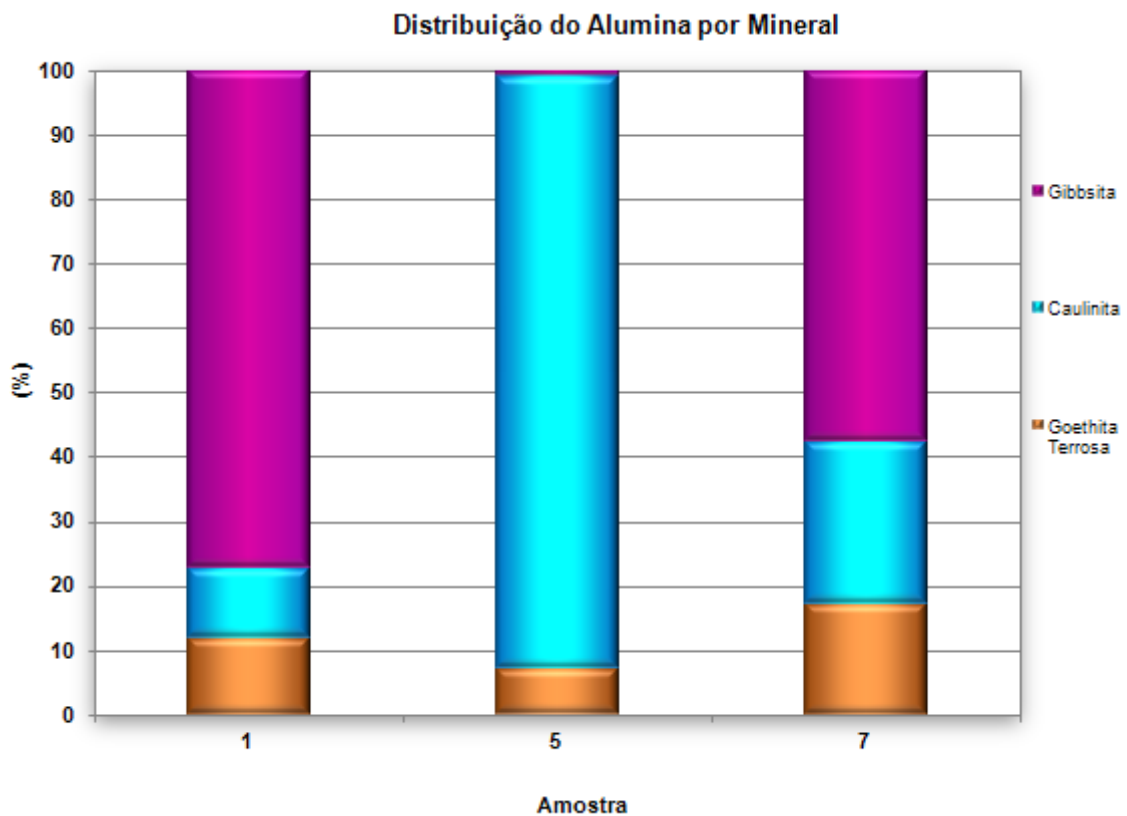


Figura 8.13: Distribuição de Alumina por mineral das Amostras 1, 5 e 7.

A distribuição global de Sílica por mineral é apresentada na Figura 8.14. Nas Amostras 1 e 7, a contribuição majoritária é do Quartzo Livre, enquanto na Amostra 5, temos novamente uma importante contribuição da Caulinita, que fornece aproximadamente 12% de Sílica para a amostra, o restante em sua maioria também vem do Quartzo Livre.

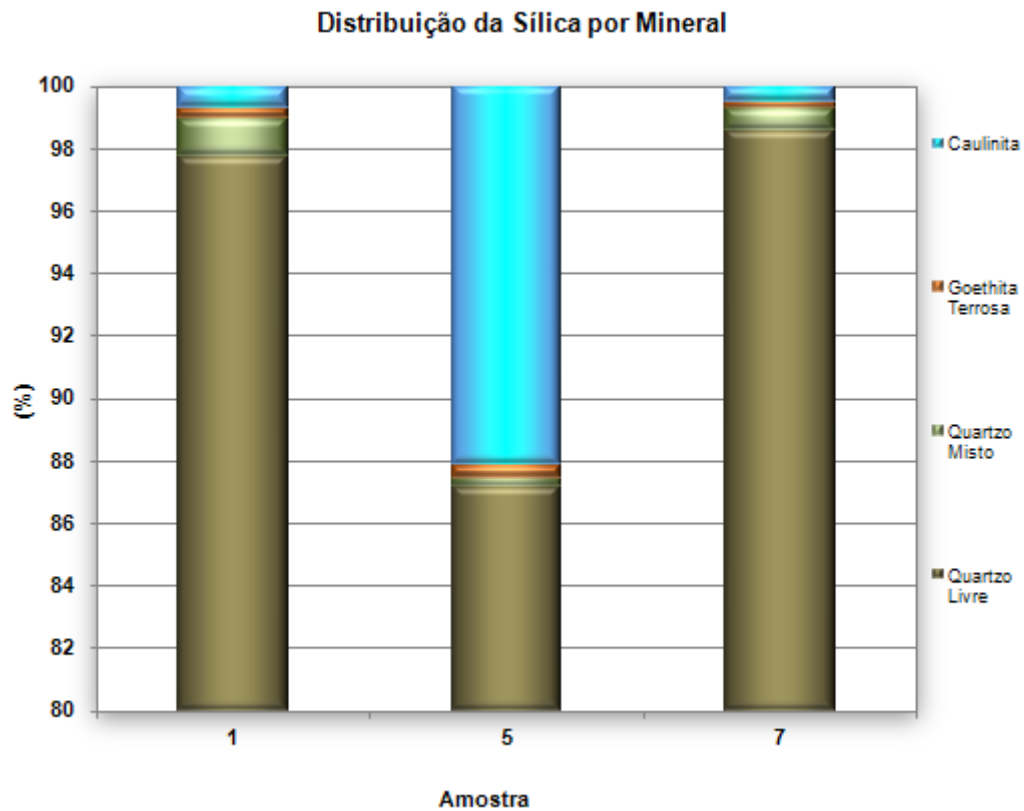


Figura 8.14: Distribuição de Sílica por mineral das Amostra 1, 5 e 7.

As amostras também foram analisadas de acordo com suas faixas granulométricas, foram feitas análises químicas e mineralógicas das frações -0,21+0,075mm; -0,075+0,038mm e -0,038 mm.

A Tabela 8.5 e Tabela 8.6 mostram respectivamente os resultados químicos e mineralógicos analisados por faixa granulométrica da Amostra 1.

A Amostra 1 possui mais de 85% de sua massa passante em 0,038mm, aproximadamente 13% entre 0,075 e 0,038mm e menos de 1% acima de 0,075mm. O teor de Ferro mais elevado está na faixa abaixo de 0,038mm, com valores superiores a 45%.

Tabela 8.5: Análise química por faixa da Amostra 1.

Fração (mm)	% Retido Simples	Análise Química (%)								
		Fe	SiO ₂	P	Al ₂ O ₃	Mn	TiO ₂	CaO	MgO	PPC
AM 01-0,21+0,075	0.85	14.68	74.00	0.035	1.63	0.356	0.149	0.182	0.065	2.11
AM 01-0,075+0,038	13.45	4.51	90.86	0.019	1.19	0.172	0.006	0.043	0.107	0.99
AM 01-0,038	85.70	45.50	23.82	0.108	5.48	0.485	0.195	0.051	0.052	4.65
Global Calculada	100.00	39.73	33.26	0.095	4.87	0.442	0.169	0.051	0.060	4.14

Na faixa abaixo de 0,038mm que possui uma maior massa na amostra (85%), o principal mineral contribuidor de Ferro foi a Hematita Compacta, com 85%.

Tabela 8.6: Distribuição química por mineral da Amostra 1;

Fração (mm)	Distribuição Química por Mineral (%)										
	Fe				SiO ₂				Al ₂ O ₃		
	Hematitas Compactas	Hematita Martítica	Magnetita	Goethita+Goethita Terrosa	Quartzo Livre	Quartzo Misto	Goethita Terrosa	Caulinita	Goethita Terrosa	Caulinita	Gibbsita
AM 01-0,21+0,075	47.77	18.42	4.48	29.32	98.77	0.36	0.04	0.82	6.15	61.87	31.98
AM 01-0,075+0,038	47.17	3.62	1.07	48.14	98.85	0.59	0.02	0.54	3.46	51.62	44.92
AM 01-0,038	86.45	0.60	0.10	12.86	97.13	1.57	0.54	0.75	12.48	8.16	79.36
Global Calculada	85.55	0.72	0.13	13.61	97.74	1.22	0.36	0.68	11.96	10.76	77.28

A Figura 8.15, apresenta a quantificação mineralógica por faixa granulométrica. Na faixa abaixo de 0,038mm que possui uma maior massa na amostra (85%), o principal mineral foi a Hematita Compacta, com 59%. Por se tratar de amostras de rejeito de minério de ferro, todas possuem grandes quantidades de quartzo, sendo que a faixa -0,075+0,038mm apresentou a maior quantidade, com valor superior a 88% de quartzo livre.

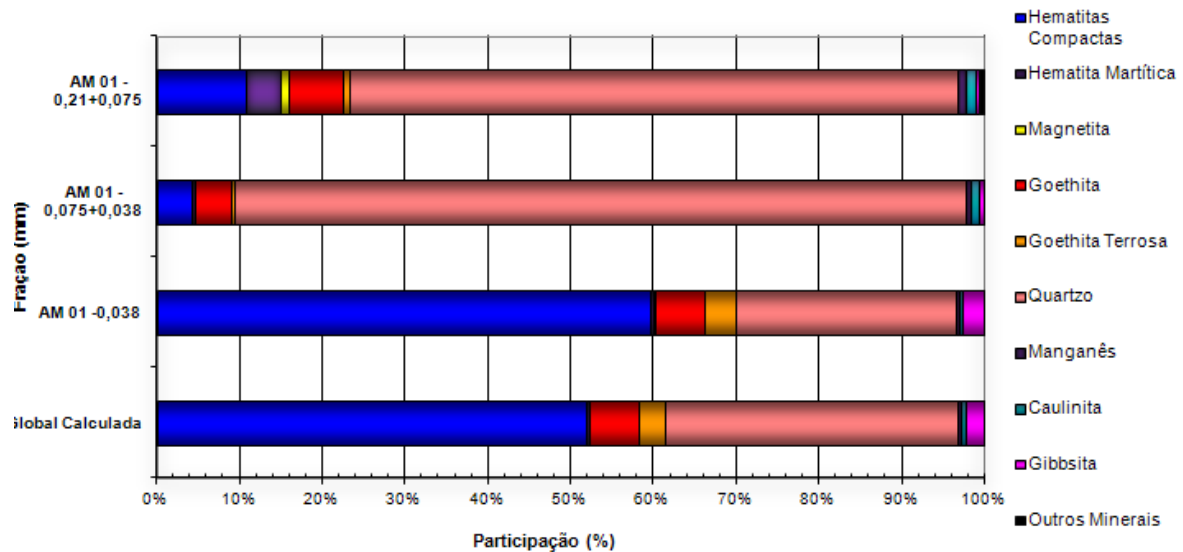


Figura 8.15: Quantificação mineralógica por faixa granulométrica da Amostra 1.

A Figura 8.16 apresenta a distribuição de Ferro por mineral de acordo com a faixa granulométrica, em sua maioria, a Hematita Compacta foi a que mais contribuiu.

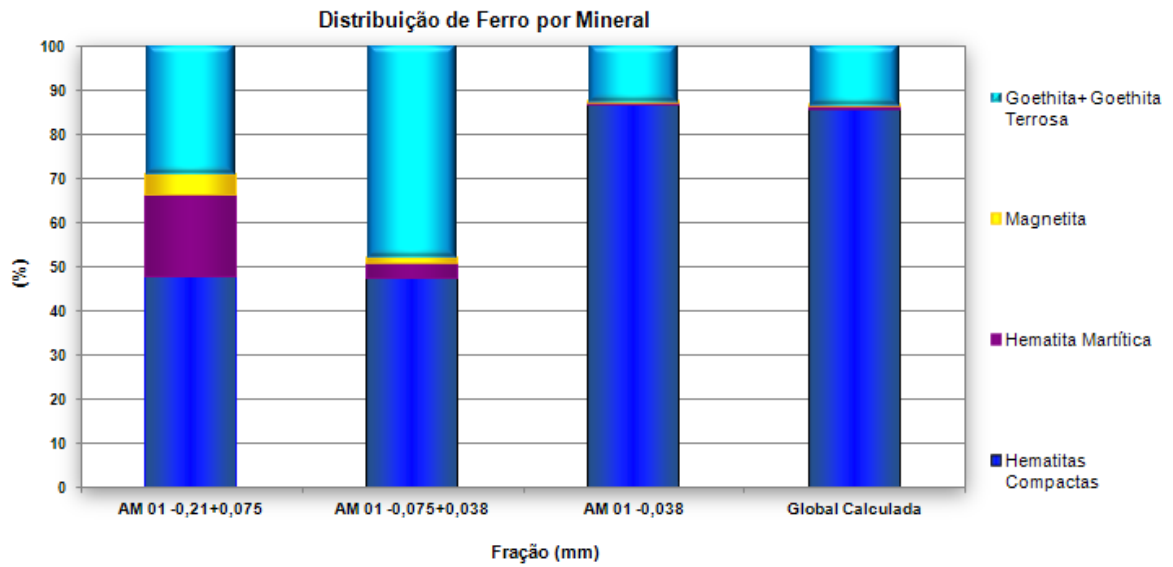


Figura 8.16: Distribuição de Ferro por mineral da Amostra 1.

Em relação a distribuição de Sílica por mineral (Figura 8.17), predomina a contribuição do Quartzo Livre, passando dos 97% na amostra global.

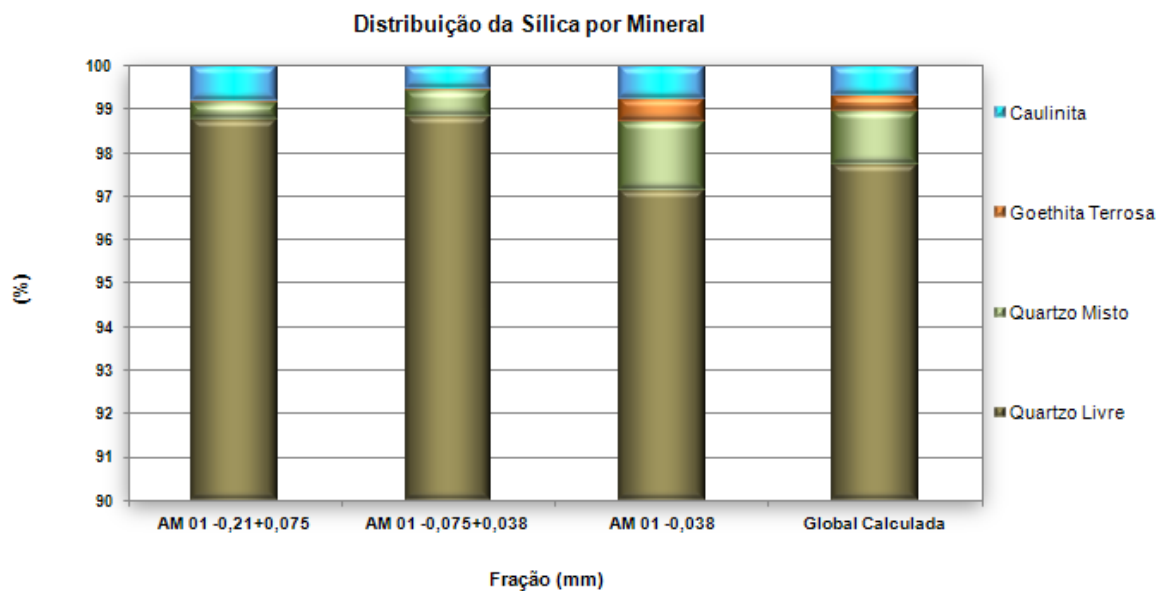


Figura 8.17: Distribuição de Sílica por mineral da Amostra 1.

Na faixa abaixo de 0,038mm, a maior contribuição de Alumina foi feita pela Gibbsita (~79%), (Figura 8.18) enquanto nas faixas mais grosseiras a Caulinita foi a que mais contribuiu.

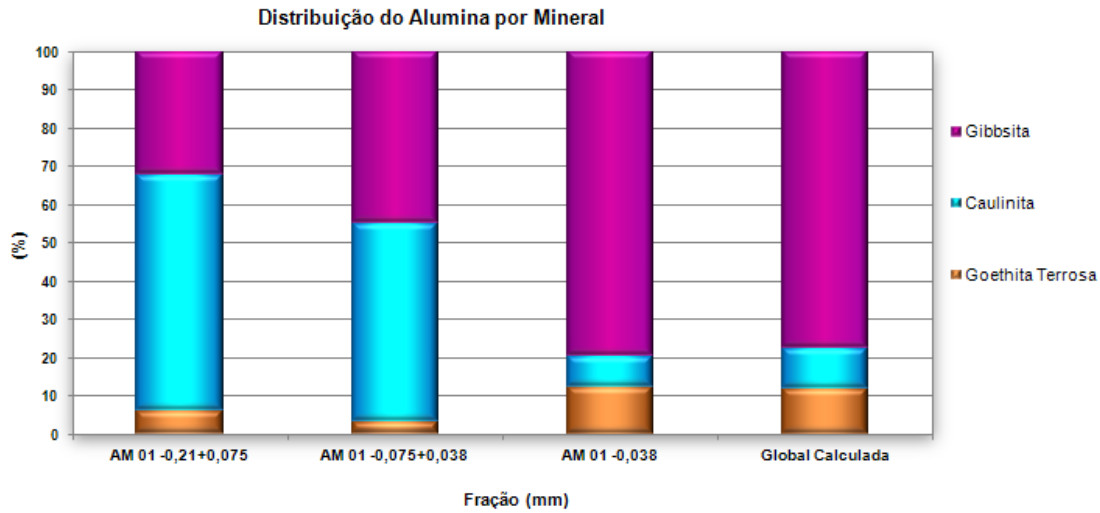


Figura 8.18: Distribuição de Alumina por mineral da Amostra 1.

A Tabela 8.7 e Tabela 8.8 mostram respectivamente os resultados químicos e mineralógicos analisados por faixa granulométrica da Amostra 5.

A Amostra 5, possui uma porcentagem bem superior que a Amostra 1 de minerais na faixa granulométrica -0,21+0,075mm, apresentando um valor de ~8%. As faixas -0,075+0,038mm e -0,038mm apresentam valores de aproximadamente 18% e 73% respectivamente.

A análise química da Amostra 5 é semelhante a Amostra 1, valores de Ferro, Sílica e Alumina estão próximos, porém quando analisa-se as distribuições químicas por mineral, conclui-se que apesar de terem teores parecidos, os minerais presentes em cada amostra são bem diferentes.

Tabela 8.7: Análise química Amostra 5 por faixa granulométrica.

Fração (mm)	% Retido Simples	Análise Química (%)								
		Fe	SiO ₂	P	Al ₂ O ₃	Mn	TiO ₂	CaO	MgO	PPC
AM 05 -0,21+0,075	8.41	10.84	78.64	0.048	2.07	0.440	0.022	0.031	0.060	2.37
AM 05 -0,075+0,038	18.17	9.09	82.72	0.032	1.50	0.250	0.026	0.023	0.058	1.51
AM 05 -0,038	73.42	43.68	22.78	0.133	7.15	1.010	0.224	0.047	0.104	6.09
Global Calculada	100.00	34.63	38.37	0.107	5.70	0.824	0.171	0.041	0.092	4.94

Tabela 8.8: Distribuição química por mineral da Amostra 5.

Fração (mm)	Distribuição Química por Mineral (%)										
	Fe				SiO ₂				Al ₂ O ₃		
	Hematitas Compactas	Hematita Martítica	Magnetita	Goethita+Goethita Terrosa	Quartzo Livre	Quartzo Mistto	Goethita Terrosa	Caulinita	Goethita Terrosa	Caulinita	Gibbsita
AM 05 -0,21+0,075	15.60	11.01	2.21	71.18	97.65	0.34	0.22	1.79	17.57	68.09	14.34
AM 05 -0,075-0,038	57.58	9.05	0.39	32.98	98.12	0.10	0.11	1.66	11.82	85.13	3.05
AM 05 -0,038	80.37	0.63	0.00	19.00	74.46	0.35	0.80	24.39	6.47	93.53	0.00
Global Calculada	77.21	1.40	0.09	21.31	87.20	0.26	0.44	12.10	7.14	92.21	0.65

A Figura 8.19, apresenta a quantificação mineralógica por faixa granulométrica. Observa-se uma quantidade superior a 12% de Caulinita na fração -0,038mm.

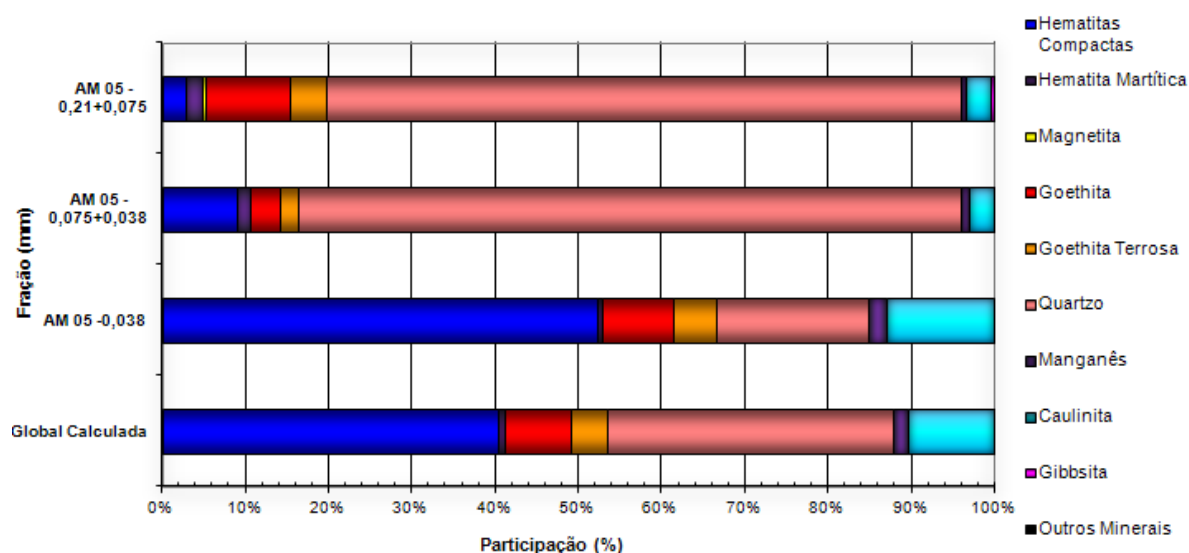


Figura 8.19: Quantificação mineralógica por faixa granulométrica da Amostra 5.

A Figura 8.20 apresenta a distribuição de Ferro por mineral de acordo com a faixa granulométrica, em sua maioria, a Hematita Compacta foi a que mais contribuiu, exceto na faixa granulométrica $-0,21+0,075\text{mm}$, aonde tivemos uma predominância da Goethita.

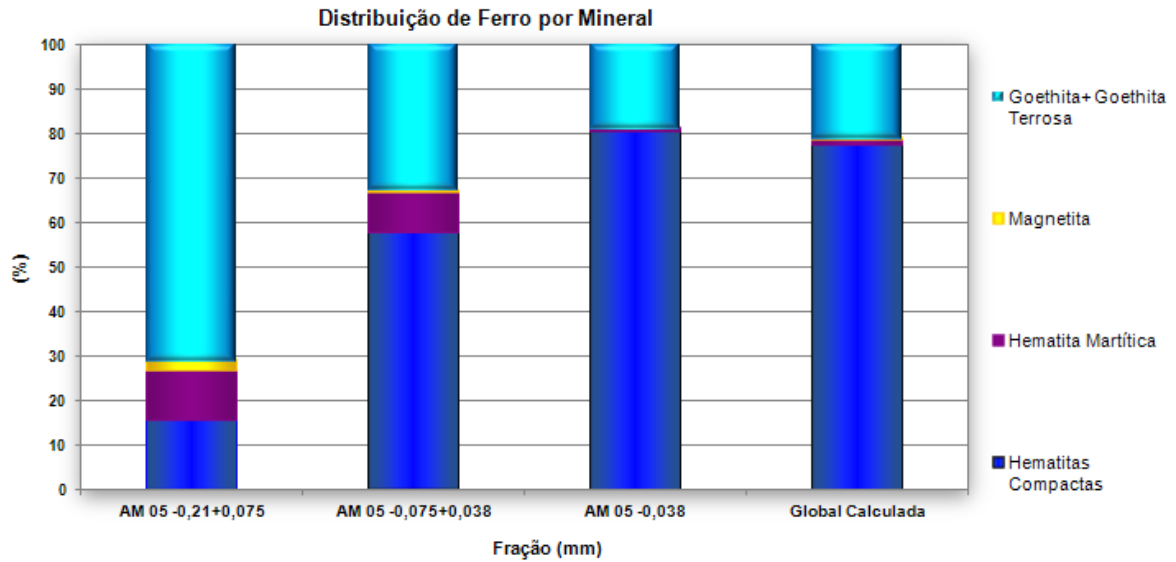


Figura 8.20: Distribuição de Ferro por mineral da Amostra 5.

A distribuição de Sílica por mineral (Figura 8.21), apresenta uma contribuição maior que 12% de Caulinita na faixa global calculada. Esse valor é muito superior da Amostra 1, que não chegou a 1%.

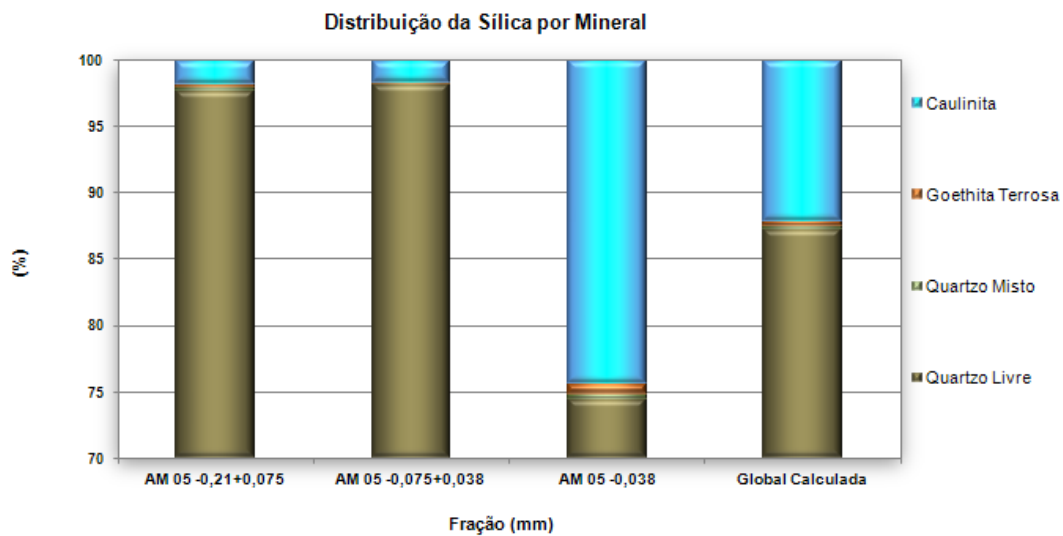


Figura 8.21: Distribuição de Sílica por mineral da Amostra 5.

A contribuição de Alumina vinda da Caulinita fica bem evidente na Figura 8.22. Todas as faixas granulométricas apresentam contribuição majoritária de Alumina vinda da Caulinita.

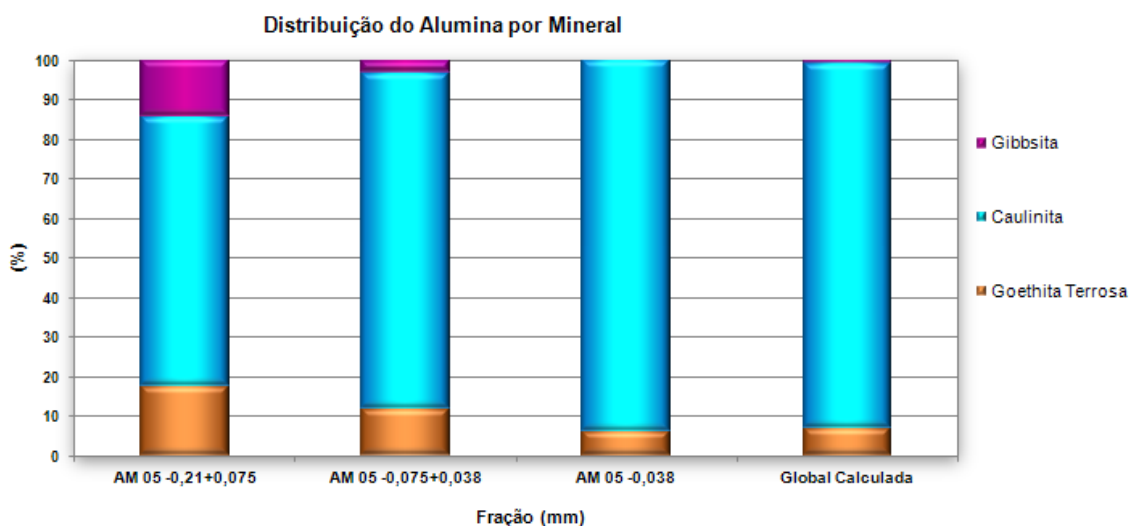


Figura 8.22: Distribuição de Alumina por mineral da Amostra 5.

A Tabela 8.9 e Tabela 8.10 mostram respectivamente os resultados químicos e mineralógicos analisados por faixa granulométrica da Amostra 7.

A distribuição granulométrica da Amostra 7, pode ser considerada intermediária entre a Amostra 1 e a Amostra 5, pois possui aproximadamente 2% de material na faixa - 0,21+0,075mm, 14% na faixa -0,075+0,038mm e 83% -0,038mm.

Tabela 8.9: Análise química da amostra 7.

Fração (mm)	% Retido Simples	Análise Química (%)								
		Fe	SiO ₂	P	Al ₂ O ₃	Mn	TiO ₂	CaO	MgO	PPC
AM 07 -0,21+0,075	2.44	18.66	68.00	0.055	1.87	0.542	0.069	0.063	0.048	2.65
AM 07 -0,075+0,038	14.62	6.80	87.12	0.022	1.10	0.181	0.015	0.043	0.049	1.07
AM 07 -0,038	82.94	45.16	23.58	0.109	5.72	0.559	0.196	0.045	0.059	4.90
Global Calculada	100.00	38.91	33.95	0.095	4.95	0.503	0.166	0.045	0.057	4.29

Tabela 8.10: Distribuição química por mineral da Amostra 7.

Fração (mm)	Distribuição Química por Mineral (%)										
	Fe				SiO ₂				Al ₂ O ₃		
	Hematitas Compactas	Hematita Martítica	Magnetita	Goethita+Goethita Terrosa	Quartzo Livre	Quartzo Misto	Goethita Terrosa	Caulinita	Goethita Terrosa	Caulinita	Gibbsita
AM 07 -0,21+0,075	43.52	22.83	2.46	31.19	98.92	0.45	0.08	0.54	8.22	25.30	66.48
AM 07 -0,075+0,038	55.01	9.22	0.30	35.48	99.37	0.23	0.01	0.39	3.60	47.61	48.78
AM 07 -0,038	89.08	0.42	0.00	10.49	97.98	1.14	0.28	0.60	20.62	20.65	58.73
Global Calculada	87.66	0.90	0.03	11.41	98.57	0.75	0.17	0.51	17.36	25.01	57.63

A Figura 8.23 apresenta a quantificação mineralógica por faixa granulométrica. Observa-se uma contribuição maior de Hematitas Compactas e Quartzo. A quantidade de Caulinita é percentualmente desprezível.

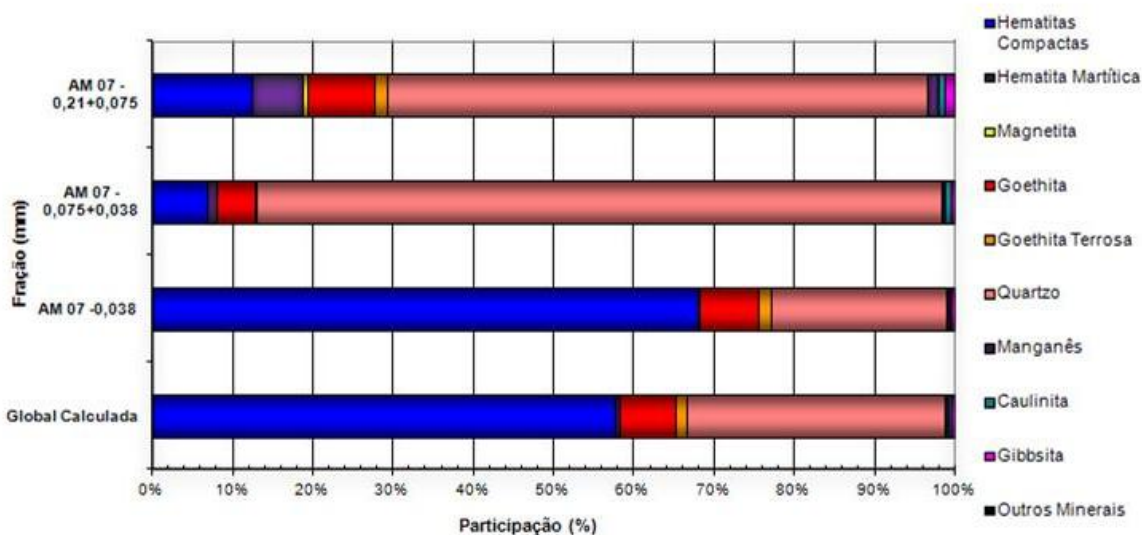


Figura 8.23: Quantificação mineralógica por faixa granulométrica da Amostra 7.

A Figura 8.24 apresenta a distribuição de Ferro por mineral de acordo com a faixa granulométrica, em sua maioria, a Hematita Compacta foi a que mais contribuiu, porém na faixa granulométrica $-0,21+0,075\text{mm}$, teve-se uma quantidade significativa de Hematita Martítica (~23%), porém quando analisamos de maneira global, esse valor é insignificante.

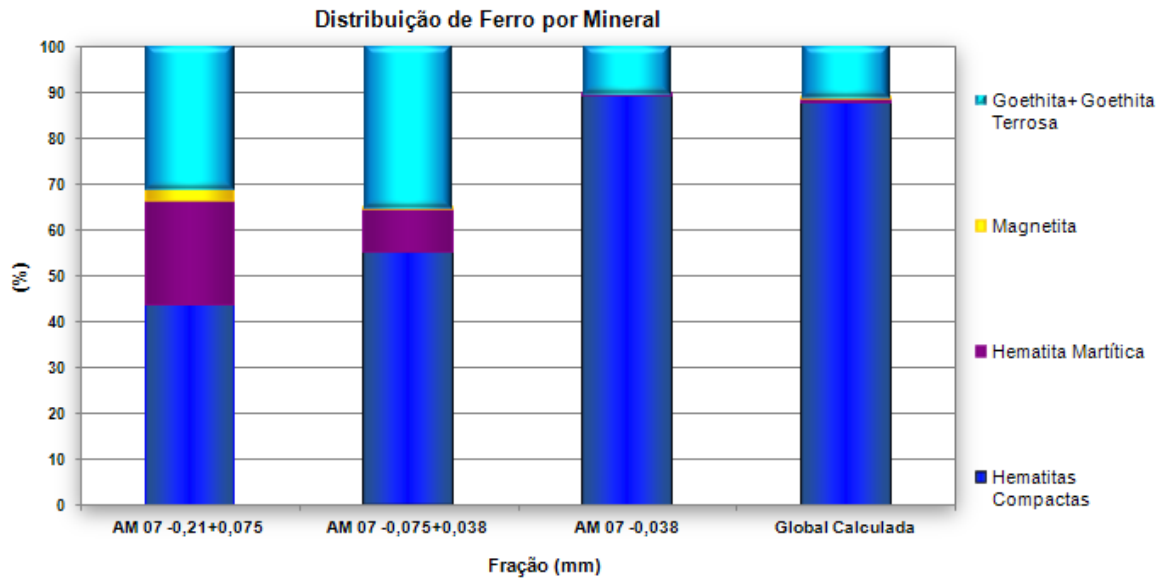


Figura 8.24: Distribuição de Ferro por mineral na Amostra 7.

A distribuição de Sílica por mineral da Amostra 7 (Figura 8.25), é constituída basicamente por Quartzo, sendo a sua maioria Quartzo Livre.

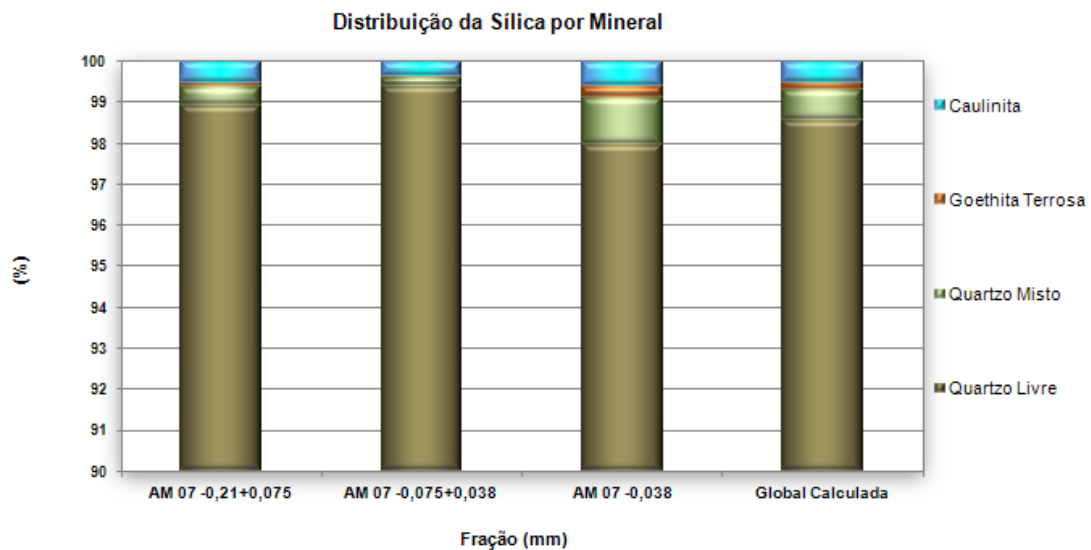


Figura 8.25: Distribuição de Sílica por mineral da Amostra 7.

A maior contribuição de Alumina na Amostra 7 (Figura 8.26), vem da Gibbsita, com um valor aproximado de 58%.

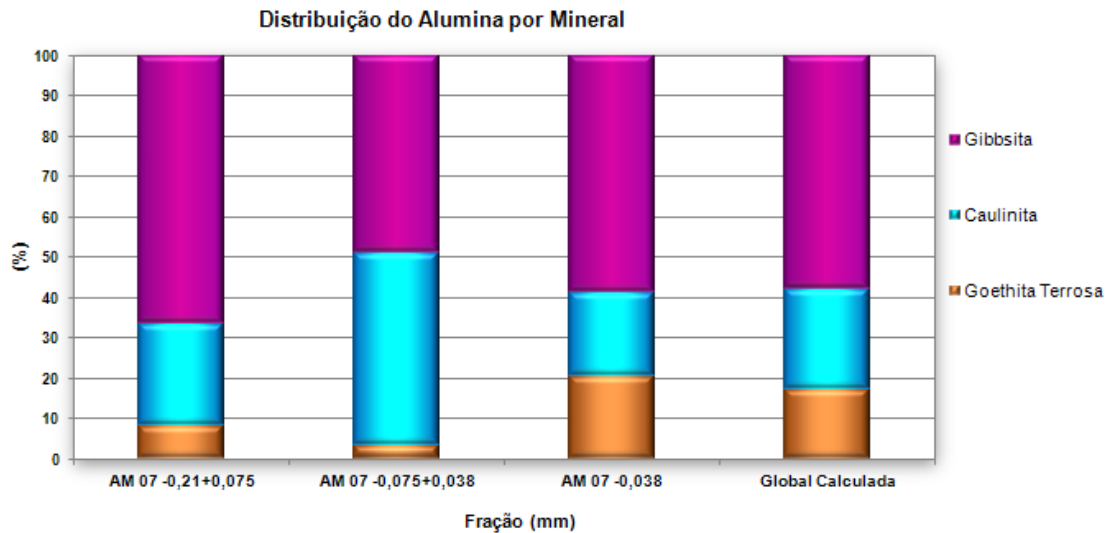


Figura 8.26: Distribuição de Alumina por mineral da Amostra 7.

Analisando a textura, morfologia e trama das partículas e cristais, pode-se verificar pouca variação entre as amostras. Os principais minerais que compõem as amostras são o quartzo e a hematita, sendo o primeiro possuindo um aspecto equidimensional (tamanho semelhante) e o segundo podendo ser subdividido em duas categorias, sendo elas as hematitas compactas e as hematitas martíticas. As hematitas compactas, que são os minerais ferrosos predominantes, variam entre lamelares, granulares e sinuosas.

Partículas formadas por hematitas martíticas, apesar de aparecerem em menor proporção, por vezes apresentam magnetita relictual e trazem consigo características morfológicas da magnetita possuindo facetas com grau de arredondamento variando de angular a subangular de borda rugosa a ondulada enquanto, as partículas formadas por hematitas compactas, tendem a ser rugosas.

Há presença mediana de goethita com aspecto maciço a terroso, geralmente com borda rugosa variando entre ondulada a alisada, muitas vezes, assumindo formas dos minerais ao qual estão associados.

Os principais minerais acessórios presentes são a caulinita, gibbsita e os óxidos de manganês. A caulinita e a gibbsita possuem aspecto arredondado, subsférico e de rugosidade superficial variando entre ondulada a alisada. Já os óxidos de manganês diferenciam-se destes pela maior rugosidade.

As Figuras 8.27 a 8.36 apresentam as evidências que foram descritas acima.

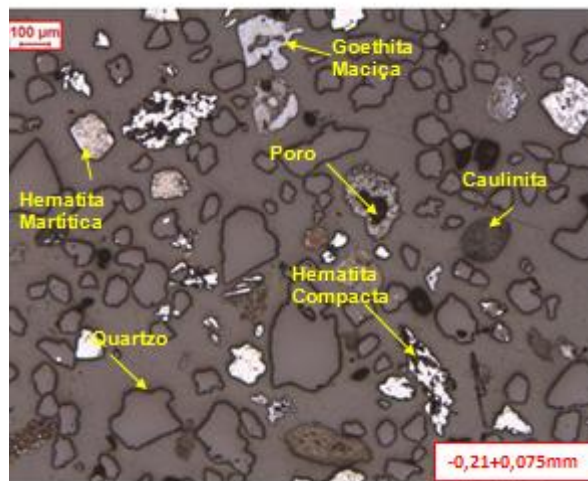


Figura 8.27: Fotomicrografia Amostra 1.

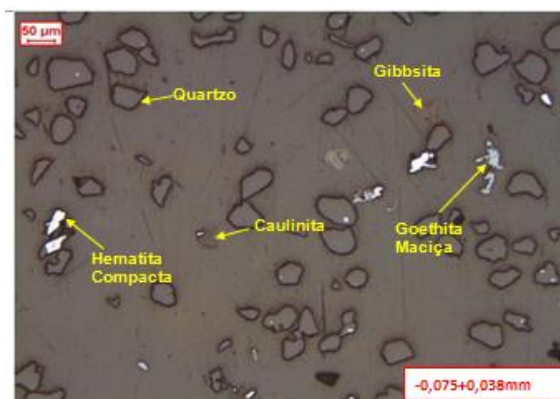


Figura 8.28: Fotomicrografia Amostra 1.

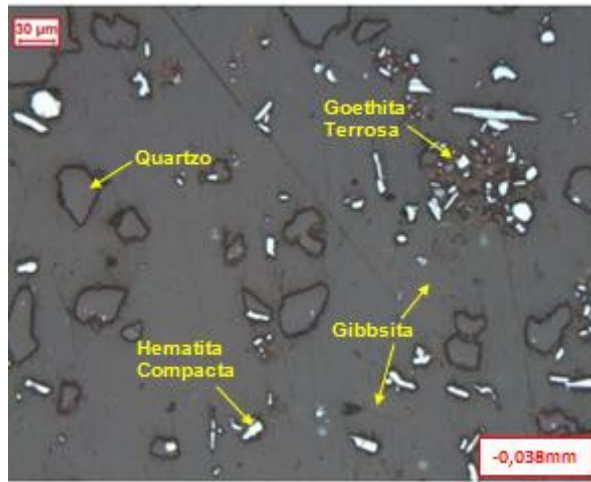


Figura 8.29: Fotomicrografia Amostra 1.

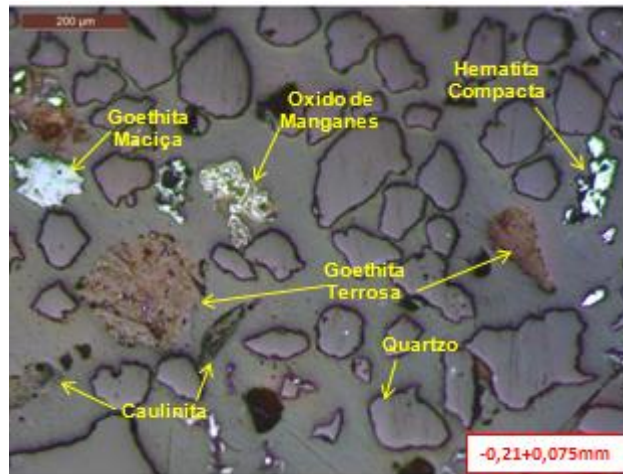


Figura 8.30: Fotomicrografia Amostra 5.



Figura 8.31: Fotomicrografia Amostra 5.

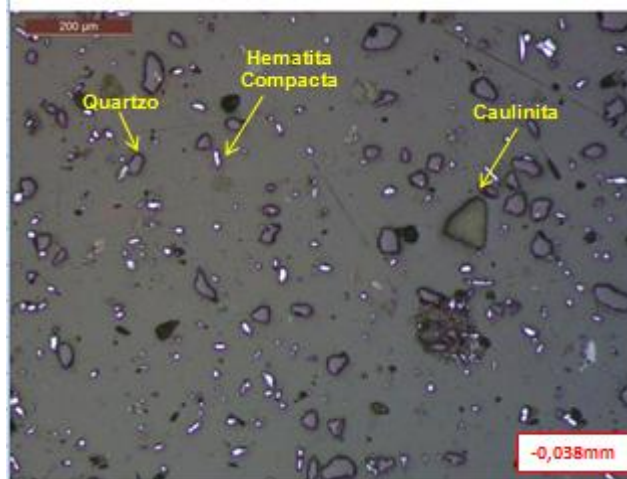


Figura 8.32: Fotomicrografia Amostra 5.

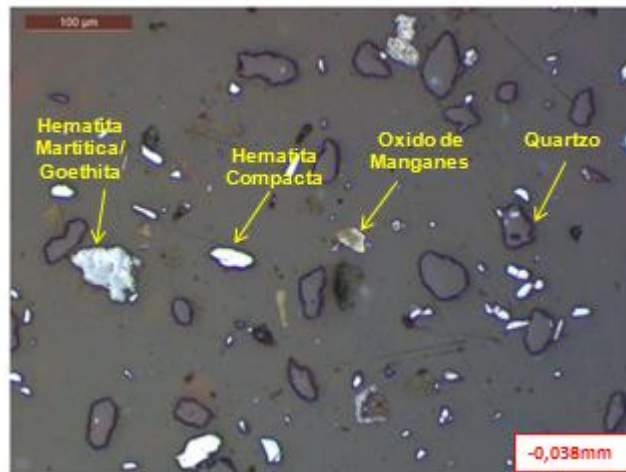


Figura 8.33: Fotomicrografia Amostra 5.

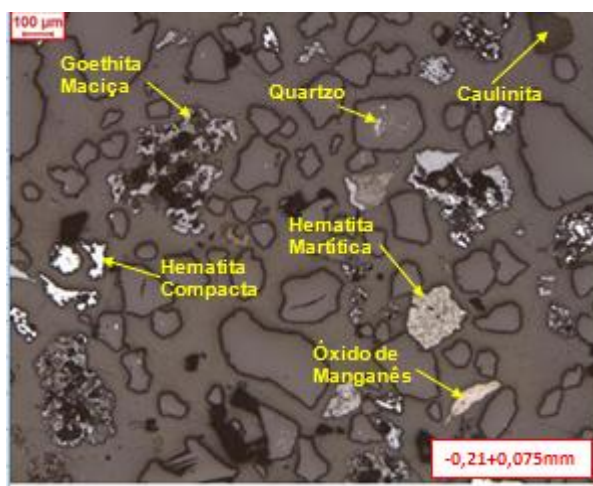


Figura 8.34: Fotomicrografia Amostra 7.

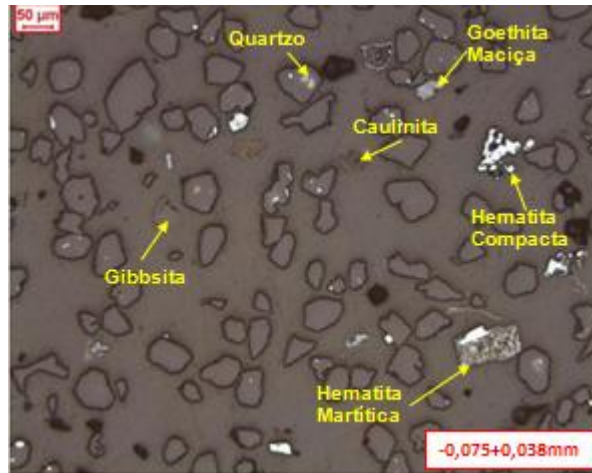


Figura 8.35: Fotomicrografia Amostra 7.



Figura 8.36: Fotomicrografia Amostra 7.

Uma possível explicação para um desempenho tão diferente da Amostra 1, pode ser pelo fato da granulometria ser extremamente fina, não possuindo uma variação granulométrica, como nas outras amostras. De acordo com a Tabela 8.1, as Amostras 5 e 7 possuem uma quantidade (mesmo que pequena) de material retido na peneira de 210 µm, enquanto na Amostra 1, a primeira peneira a reter material é a de 75 µm, sendo que as Amostras 5 e 7 apresentam uma massa retida maior também nessa peneira.

9. CONCLUSÕES

O comportamento de Barragens de Rejeito é um assunto que desperta grande interesse na maioria das mineradoras hoje em dia, por diversos motivos, entre eles os custos de construção e operação. A avaliação do comportamento do Rejeito é de grande importância, pois quanto melhor seu entendimento sobre ele maior será sua previsibilidade de vida útil da estrutura.

De uma forma resumida, o processo de adensamento ocorre naturalmente, a medida que a barragem vai sendo enchida. Cada camada representa uma sobrecarga para a camada adjacente, impondo excessos de poropressão que tendem a se dissipar ao longo do tempo, com consequentes acréscimos das tensões efetivas, desenvolvendo-se, portanto, o processo de adensamento.

Os testes de adensamento feitos em laboratório, mostraram que a Amostra 1 teve um resultado de redução no índice de vazios (adensamento) em **25,74%**. A Amostra 5 teve uma redução no índice de vazios (adensamento) em **47,72%**, e a Amostra 7 apresentou uma redução de vazios (adensamento) de **43,79%**.

Os resultados dos testes de permeabilidade foram compatíveis com os resultados de adensamento, sendo a Amostra 1 apresentando uma redução de permeabilidade de 4.81×10^{-6} m/s para 4.44×10^{-7} m/s, a Amostra 5 com uma redução de 3.63×10^{-4} m/s para 2.01×10^{-6} m/s e por último a Amostra 7 apresentou uma redução de 1.63×10^{-4} m/s para 1.62×10^{-6} .

Como a eficiência do adensamento feito em laboratório depende diretamente da percolação de água, e conseqüentemente da permeabilidade do material, o baixo resultado na redução de vazios da Amostra 1 pode ser explicado por uma baixa permeabilidade inicial (4.81×10^{-6} m/s), assim como as Amostras 5 e 7 com permeabilidades iniciais próximas (3.63×10^{-4} m/s e 1.63×10^{-4} respectivamente) tiveram resultados próximos na redução do índice de vazios (Amostra 5 redução de 47,72% e Amostra 7 com uma redução de 43,79%).

A Amostra 5, apresentou uma quantidade de Caulinita maior que 10%, sendo que as outras amostras não chegaram a 1%. Esse fator pode ter contribuído, mesmo que em menores proporções, para um adensamento maior dessa amostra.

Ao analisar-se a textura, morfologia e trama das partículas e cristais, pode-se verificar pouca variação entre as amostras, não conseguindo deste modo traçar uma correlação entre esses dados com essa quantidade de amostras.

10. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Tendo em vista o reduzido número de amostras, recomenda-se que sejam feitos mais testes para que seja possível calibrar melhor esses dados e talvez encontrar outras correlações, podendo assim talvez utilizar os dados para calcular efetivamente o adensamento da barragem e conseqüentemente quantificar os ganhos com esse resultado.

Realizar análises utilizando o MEV (Microscópico Eletrônico de Varredura) como um equipamento que pode auxiliar no melhor entendimento na correlação entre as formas das partículas.

Recomenda-se também, uma vez que o processo de concentração de minérios sofrerá modificações, (atualmente utiliza-se separação magnética e em breve entrará a flotação como principal método de concentração), realizar testes em bancada com flotação e realizar os testes de adensamento, verificando assim a interferência dos reagentes de flotação no adensamento de barragens, vantagens e desvantagens.

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F.F.M. 1977. O Cráton do São Francisco. *Rev. Bras. Geociências*. São Paulo, 7(4): 349-364

CARRISSO, R.C.C; CORREIRA, J.C.G. Tratamento de Minérios 4º Ed. 2004 p. 197-238

CHAVES, A.P. Bombeamento de polpa e classificação, volume 1, 4º Ed. São Paulo, Oficina de Textos, 2012. Coleção teoria e prática do tratamento de minério.

DANA J. & HURLBUT R. 1969. Manual de Mineralogia. Editora Livros Técnicos e Científicos, São Paulo, 536 p.

DOOR II, J.V.N. 1969. Physiographic, stratigraphic and a structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. *U.S. Geol. Surv. Prof. Paper.*, 641 A: 110p.

FAULSTICH, F. 2008. Guia de Microscopia Ótica. Relatório interno VALE, CDM, Santa Luzia.

FUJIMORI S. & FERREIRA Y.A. 1979. Introdução ao uso do microscópio petrográfico. Centro Editorial e Didático da TFBA, Salvador, Bahia, 204pp.

GROSS, G.A. Geology of iron deposits in Canada. Volume 1. General Geology and Evaluation of Iron Deposits. *Econ. Geol. Rep. Surv. Can.* 22: 181, 1965.

LOPES, M.C.O. (2000). Disposição Hidráulica de Rejeitos Arenosos e Influência nos Parâmetros de Resistência. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM 068A/2000, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 157p.

MARSHAK, S. & ALKMIM F.F. 1989. Proterozoic extension/contraction tectonics of the southern São Francisco Craton and adjacent regions, Minas Gerais, Brazil: A Kinematic model relating Quadrilátero Ferrífero, São Francisco Basin and Cordilheira do Espinhaço.

Tectonics, 8(3): 555-71.

Notas de aula. Especialização em sistemas minero metalúrgicos 2008.

OLIVEIRA, V. T. Texturas e propriedades reológicas do minério de ferro do quadrilátero ferrífero (MG) e sua utilização em beneficiamento. Tese Doutorado, Universidade Estadual Paulista 2006 176 p.

Relatório Interno Vale 2014. Ensaios realizados pela PATROL em 2013.

VALADÃO, G. E. S. Introdução ao tratamento de minérios. Editora UFMG, 2007. 234 p.

WILLS, B.A. Mineral Processing Technology. 7th Ed. Elsevier Science & Technology Books 2006. 450 p.