



**CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

*Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607, de 17/10/05, D.O.U. nº 202, de 20/10/2005*  
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

**MARCOS ANDRÉ DE JESUS LIMA**

**BENEFICIAMENTO DO RESÍDUO DO GARIMPO DE QUARTZO  
DE CRISTALÂNDIA/TO, PARA APLICAÇÃO EM CONCRETO DE  
PÓ REATIVO (CPR)**

MARCOS ANDRÉ DE JESUS LIMA

BENEFICIAMENTO DO RESÍDUO DO GARIMPO DE QUARTZO DE  
CRISTALÂNDIA/TO, PARA APLICAÇÃO EM CONCRETO DE PÓ  
REATIVO (CPR)

Trabalho elaborado e apresentado como requisito parcial da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II) do curso de Engenharia de Minas pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Dr.-Ing Erwin Francisco Tochtrop Júnior

Palmas – TO  
2015

MARCOS ANDRÉ DE JESUS LIMA

BENEFICIAMENTO DO RESÍDUO DO GARIMPO DE QUARTZO DE  
CRISTALÂNDIA/TO, PARA APLICAÇÃO EM CONCRETO DE PÓ  
REATIVO (CPR)

Trabalho elaborado e apresentado como requisito parcial da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II) do curso de Engenharia de Minas pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Dr.-Ing Erwin Francisco Tochtrop Júnior e co-orientador: Prof. **Msc.** Rodrigo Meireles Mattos Rodrigues.

Aprovada em \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ 2015.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. **Dr.-Ing** Erwin Francisco Tochtrop Júnior  
Centro Universitário Luterano de Palmas

---

Prof. **M.Sc.** Daniel dos Santos Costa  
Centro Universitário Luterano de Palmas

---

Prof. **Esp.** Valério Sousa Lima  
Centro Universitário Luterano de Palmas

Palmas - TO  
2015

Dedico este trabalho a Deus, aos meus pais Valter e Dulce,  
aos meus irmãos Marcio, Izabella e Vinicius, que me  
manteve firme na caminhada, e a toda  
minha família.

“A mente que se abre para uma nova ideia nunca  
mais volta ao seu tamanho original”  
Albert Einstein

## AGRADECIMENTOS

À Deus pela oportunidade da vida, da saúde e do conhecimento.

Ao meu orientador Erwin Francisco Tochtrop Júnior e co-orientador Rodrigo Meireles Mattos Rodrigues pela dedicação, oportunidade na realização deste trabalho.

A todo o corpo docente do CEULP/ULBRA e aos professores do curso que contribuiu de forma expressiva em minha vida, através dos conhecimentos compartilhados e fixados ao longo da jornada acadêmica. Em especial aos professores Leonardo Pedrosa e José Cleuton Batista que não mediu esforços para abrir esse curso na instituição e com ele me oportunizei em ser um Engenheiro de Minas.

A todos servidores do Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM/TO, que durante o período de estágio auxiliou e orientou para a conduta ética e profissional de um Engenheiro de Minas.

Aos meus amigos de longa data na universidade, Fábio Cunha, Caio Manzoni, Vinicius Cirqueira e João Pedro Pereira pela amizade e pela troca de conhecimentos nessa missão acadêmica.

Ao meu irmão Marcio pelo apoio e incentivo que a todo o momento estava próximo e pelo convívio nesses anos fora de casa.

Meus pais e meus irmãos que nunca deixaram faltar o essencial em minha vida.

E toda minha família que tem torcido para que eu alcance meus objetivos.

## RESUMO

LIMA, MARCOS ANDRÉ DE JESUS LIMA. **BENEFICIAMENTO DO RESÍDUO DO GARIMPO DE QUARTZO DE CRISTALÂNDIA/TO, PARA APLICAÇÃO EM CONCRETO DE PÓ REATIVO (CPR)** 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia de Minas, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2015.

Este trabalho objetivou-se em elaborar um roteiro de beneficiamento do quartzo leitoso, que é comercializado em valores muito baixos, chegando a acumular pilhas de resíduo. Ao invés de ser escoado com valor agregado relativamente satisfatório, é estocado e causando passíveis ambientais significativos na Cooperativa dos Garimpeiros de Cristalândia – COOPERCRISTAL. O trabalho foi desenvolvido com práticas laboratoriais nas amostras coletadas na frente de lavra específica a partir de visitas técnicas no local. O laboratório de beneficiamento mineral do CEULP/ULBRA, foi o espaço utilizado para conhecer a partícula mineral a partir de tratamentos físicos, onde desenvolveu-se as atividades práticas para a elaboração da rota tecnológica de beneficiamento que melhor se adaptava para a produção de Pó Reativo, aplicado ao setor de construção civil.

## ABSTRAC

**LIMA, JESUS MARCOS ANDRE LIMA. IMPROVEMENT OF THE WASTE OF QUARTZ GARIMPO Cristalândia / TO, FOR USE IN CONCRETE POWDER Reactive (CPR) 2015. Work Completion of course (Graduation) - Course of Mining Engineering, University Lutheran Center Palmas, Palmas / TO 2015.**

This work aimed to develop a processing in script milky quartz, which is traded in amounts too low, reaching accumulate waste batteries. Instead of being drained with relatively good value, it is stored and causing significant environmental insusceptible the Cooperative of Prospectors of Cristalândia - COOPERCRISTAL. The study was conducted with laboratory practice in samples collected in the mining front specifies from technical site visits. The mineral processing laboratory CEULP/ULBRA, was the space used to know the mineral particle from physical, which developed the practical activities for the development of the technology of processing route that is best suited for the production of Reactive Powder, applied to the construction industry.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Vias de acesso de Palmas/TO para Cristalândia .....	9
Figura 2 – Municípios com ocorrências de quartzo no estado do Tocantins. ....	11
Figura 3 - Circuito de cominuição. Elaborado com software AutoCad 2015 .....	22
Figura 4 - Fluxograma da Metodologia.....	27
Figura 5 - Rota de Beneficiamento na Cooperativa .....	28
Figura 6 – Usina de Beneficiamento elaborado com software AutoCad 2015 .....	29
Figura 7 - Quartzo Cristalino .....	30
Figura 8 - Quartzo Leitoso .....	30
Figura 9 - Mina Manchão do Felipe.....	31
Figura 10 – Amostras de cristais comercializados na Cooperativa.....	34
Figura 11 - Estéril.....	37
Figura 12 - Carga moedora utilizada.....	39
Figura 13 - Choque Térmico .....	41
Figura 14 - Cristais Retido nas Peneiras .....	41
Figura 15 - Relação cristais x solo .....	42
Figura 16 - Am 02 da Pilha de estéril.....	42
Figura 17 - Relação Cristais x solo .....	43
Figura 18 - Máquina de Teste de Abrasão .....	43
Figura 19 - Carga abrasiva pós revoluções .....	44
Figura 20 - Relatório Técnico do Ensaio de Abrasão para QLN .....	45
Figura 21 - Relatório Técnico do Ensaio de Abrasão para QCN .....	46
Figura 22 - Análise DRX_Quartzo Leitoso a 300 °C .....	47
Figura 23 - Análise DRX_Quartzo Cristalino á 300 °C .....	47
Figura 24 - Seleção do material para 1° britagem.....	48
Figura 25 - Homogeneização do Material.....	48
Figura 26 - Adição de QLN.....	49
Figura 28 Distribuição Granulométrica.....	50
Figura 29 - Quarteamento da amostra .....	50
Figura 30 - Pilha pares para test do QNL.....	50
Figura 34 - Plotagem do Gráfico.....	52
Figura 36 - Plotagem do Gráfico.....	53
Figura 38 - Plotagem do Gráfico.....	55
Figura 40 - Plotagem do Grafico.....	56
Figura 41 - Plotagem do Gráfico.....	58
Figura 42 - Plotagem do Gráfico.....	59
Figura 43 - Plotagem do Gráfico.....	61

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de cristais e valores comercializados na cooperativa.....	33
Tabela 2 - Densidade relativa_Cálculos.....	40
Tabela 3 Pilha 01 de Estéril.....	42
Tabela 4 - 1° Britagem do QL.....	49
Tabela 5 - Distribuição Granulométrica.....	51
Tabela 6 - Ciclos Am 01 .....	51
Tabela 7 - Média dos ciclos.....	51
Tabela 8 - Pilha 2_Distribuição.....	52
Tabela 9 - AM 2_Ciclos .....	52
Tabela 10 - Pilha 3_Distribuição Granulométrica.....	53
Tabela 11 - AM 3_Ciclos .....	54
Tabela 12 - MÉDIAS DOS CICLOS .....	54
Tabela 13 - Pilha 4_Distribuição Granulométrica.....	55
Tabela 14 - AM 4_Ciclos .....	55
Tabela 15 - MÉDIAS DOS CICLOS .....	56
Tabela 16 - Quartzo Leitoso com500°C.....	56
Tabela 17 - AM 1_Ciclos .....	57
Tabela 18 - Médias Dos Ciclos .....	57
Tabela 19 - Pilha 2_Distribuição Granulométrica.....	58
Tabela 20 - AM 2_Ciclos .....	58
Tabela 21 - MÉDIAS DOS CICLOS .....	59
Tabela 22 - Pilha 4_Distribuição.....	59
Tabela 23 - AM 4_Ciclos .....	60
Tabela 24 - AM 4_Ciclos .....	60

## LISTA DE SIMBOLOS NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES

COOPERCRISTAL	COOPERATIVA DOS GARIMPEIROS DE CRISTALÂNDIA/TO
CEULP-ULBRA	CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS
CPR	CONCRETO DE PO REATIVO
CAD	CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO
DNPM	DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL
NBR	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS
ASTM	AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS
CP's	CORPOS DE PROVA
TO	TOCANTINS
EXTRA	CRISTAL DE ROCHA COMERCIALIZADA
UNESP	UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SÃO PAULO
IBGE	INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA
TCC	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
SEPLAN	SECRETARIA DE PLANEJAMENTO
MINERATINS	COMPANHIA DE MINERAÇÃO DO TOCANTINS
MME	MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
CPRM	SERVICO GEOLÓGICO DO BRASIL
CETEM	CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL
SiO <sub>2</sub>	SÍLICA
RPM	ROTAÇÃO POR MINUTO
QLN	QUARTZO LEITOSO NATURAL
QLCT	QUARTZO LEITOSO COM CHOQUE TÉRMICO
QCN	QUARTZO CRISTALINO NATURAL
QCCT	QUARTZO CRISTALINO COM CHOQUE TÉRMICO

# SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	9
LISTA DE SIMBOLOS NOMENCLATURAS E ABREVIACÇÕES .....	11
1. INTRODUÇÃO .....	8
2. REFERENCIAL TEÓRICO .....	9
2.1. Cristalândia/TO .....	9
2.2. Vias de acesso da área estudada .....	9
2.3 Fator socioeconômico e histórico da Cooperativa .....	9
2.4. Geologia Regional .....	10
2.5. História da Mineração .....	11
2.6. Processos de Exploração do Quartzo .....	12
2.7. Garimpagem .....	12
2.7.1. Garimpagem Manual .....	12
2.7.2. Garimpagem Mecânicas .....	13
2.8. Mineral de Quartzo .....	13
2.9. Quartzo no Tocantins .....	14
2.10. Quartzo no Brasil .....	15
2.11. Oferta Mundial de quartzo .....	15
2.12. Produção do Quartzo no Brasil .....	15
2.13. Tecnologia Mineral do Quartzo no Brasil .....	16
2.14. Aplicação e Uso do Quartzo .....	16
2.14.1. Pó reativo .....	17
2.14.2. Pó de Quartzo .....	17
2.15. Processamento Mineral .....	18
2.15.1. Operações unitárias .....	18
2.15.2. Beneficiamento .....	18
2.15.3. Amostragem .....	19
2.15.4. Homogeneização e Quarteamento .....	19
2.15.5. Classificação .....	20
2.15.6. Britagem .....	21
2.15.7. Moagem .....	23
2.15.8. Determinação experimental do WI para moinhos de bolas .....	24
2.16. Medidas de Segurança .....	25
2.16.1. Silicose .....	26
2.18. Fluxograma das Atividades .....	27
2.19. Rota de Beneficiamento .....	28

2.20. Circuito de beneficiamento .....	29
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	30
3.1 Roteiro de Beneficiamento aplicado .....	32
3.2 Pesquisa qualitativa .....	33
3.3. Materiais e tratamentos laboratoriais .....	35
3.4. Calculo da densidade relativa.....	36
3.5. Choque Térmico.....	37
3.6. Estimativa de estéril x minério.....	37
3.7. Teste abrasão “Los Angeles” de agregado graúdo .....	37
3.8. Work Index.....	39
3.9. Análise de Difração de Raio X - DRX em quartzo leitoso e cristalino com choque térmico.....	40
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	40
4.1. Densidade relativa.....	40
4.2. Choque Térmico.....	40
4.3. Estimativa de estéril x minério.....	41
4.4. Teste abrasão “Los Angeles” de agregado graúdo .....	43
4.5. Análise de Difração de Raio X - DRX em quartzo leitoso e cristalino com choque térmico.....	46
5.6. Work Index.....	48
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	63
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	64
6. REFERÊNCIAS .....	65

## 1. INTRODUÇÃO

A escolha desse tema está relacionada ao contexto socioeconômico e cultural da atividade de extração mineral de quartzo (ou cristal de rocha) pelos garimpeiros no município de Cristalândia, localizada no centro-oeste do Estado do Tocantins.

Há muito tempo esta atividade tornou-se tanto uma atração turística quanto um nicho de exploração econômico para a cidade. O próprio nome do município está ligado ao contexto histórico dos garimpos entre as décadas de 1930 e 1950. Atualmente, as atividades estão ligadas à produção de artesanato mineral e a comercialização da rocha *in situ*, ou seja, o próprio cristal de rocha que está inserido na principal atividade inteiramente ligada a economia municipal. Por isso, pretende-se desenvolver um trabalho que foque justamente as atividades de exploração do quartzo, de modo a gerar possibilidades de aproveitamento do quartzo impuro (que possui menor valor agregado) e o incremento da cadeia produtiva local.

O mineral será analisado com ênfase no descarte das variedades não comercializadas diretamente. O material obtido nas cavas é separado de acordo com as características macroscópicas e visuais. A denominação básica utilizada pelos garimpeiros emprega os termos “extra” à “leitoso”, esse último é encontrado com abundância e é descartado no próprio garimpo, formando inúmeras pilhas de disposição e diversos blocos de vários metros de diâmetros e depois comercializado.

Considerando a necessidade de busca por uma solução técnica alternativa para o aproveitamento de rejeito do garimpo, pretende-se desenvolver opções viáveis para alguns métodos de tratamento físico com uso de equipamentos específicos que tenham a finalidade de buscar novas alternativas coerentes com o contexto sócio-econômico e ambiental para arranjos produtivos locais.

Este trabalho utilizará as pesquisas bibliográficas como fontes principais para realizar a fundamentação teórica e conceitual. A consulta utilizará os motores de busca da internet e o acervo da biblioteca do CEULP/ULBRA. Serão utilizados também os levantamentos baseados em informações a partir dos garimpeiros ligados à COOPERCRISTAL.

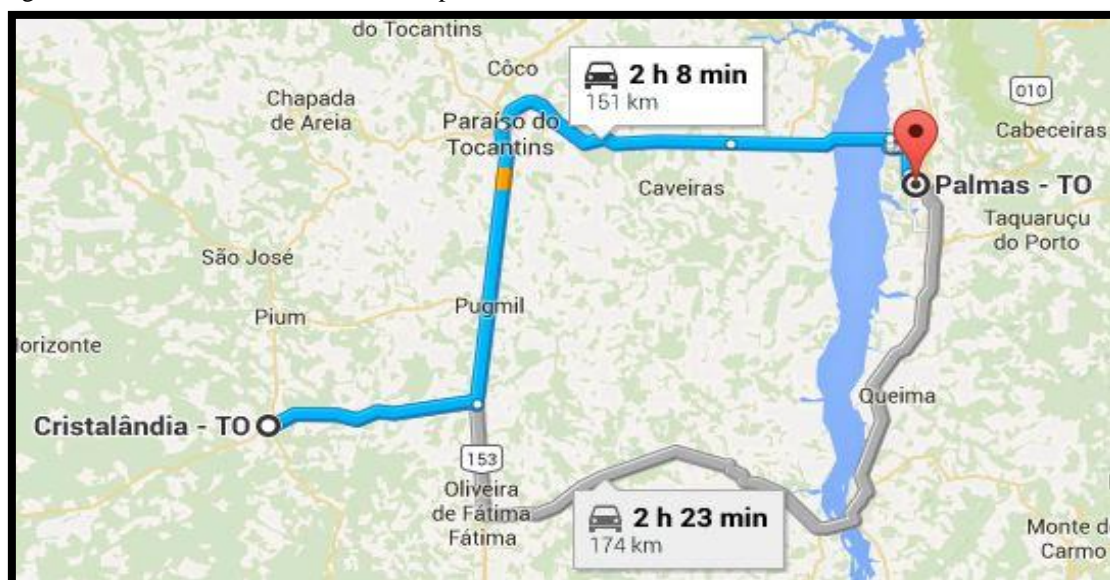
## 2. REFERENCIAL TÉORICO

### 2.1. Cristalândia/TO

Cristalândia é um município brasileiro do estado do Tocantins estando a uma altitude de 303 metros. Denominada como Chapada, em 1953 passou à condição de município, com nome de Cristalândia/TO. Sua população em 2010 era de 7.234 habitantes. O município se estende por 1848,241 km<sup>2</sup> e conta com 7.393 habitantes no último censo 2014. Possui bioma cerrado, densidade demográfica de 3,91 habitantes por km<sup>2</sup> (IBGE 2015).

### 2.2. Vias de acesso da área estudada

Figura 1 – Vias de acesso de Palmas/TO para Cristalândia



Fonte: Dados Google Maps. Localização e vias de acesso - Imagens ©2015.

Como mostra a figura 1, partindo de Palmas/TO sentido a Paraíso do Tocantins pela TO-080, ao chegar à Rodovia BR-153 dirige-se ao sentido sul passando por Pugmil seguindo até Nova Rosalândia, deixando a BR e pegando a TO-225, percorrendo um trecho final de 151 km até chegar à cidade de destino, Cristalândia-TO com tempo previsto de duas horas e oito minutos.

### 2.3 Fator socioeconômico e histórico da Cooperativa

A atividade garimpeira na cidade custeia a vida de muitos trabalhadores na região, muitos tiram seus sustentos familiares, e desde muito cedo aprenderam a garimpar o cristal que era abundante na superfície. Hoje em dia, mesmo com a cota já avançada na mina e com uso de máquinas, intensificam na lida e pela vasta experiência em seguir o veio mineralizado.

Em 2006 eram registrados 70 garimpeiros, hoje esse numero abaixou para 44 cooperados registrados no contrato social da cooperativa, que subdividem em lotes ou quadras segundo a presidente da Coopercristal. No total são beneficiadas mais de 200 famílias. A Cooperativa de Mineração dos Garimpeiros de Cristalândia encontra-se devidamente registrada nos órgãos ligados ao setor de mineração. No órgão ambiental competente no estado – Naturatins, a cooperativa possui licença ambiental para operação da atividade.

Cadastrada ao processo minerário nº 864.098/2015, autorizado com a publicação no Diario Oficial da União - D.O.U de 04/09/2015 para extração em Regime de Permissão de Lavra Garimpeira – PLG, no Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM, órgão federal vinculado ao Ministério de Minas e Energia, o DNPM é encarregado de gerir e fiscalizar o exercício das atividades de mineração em todo o território nacional, para que a extração ocorra de forma equilibrada e racional.

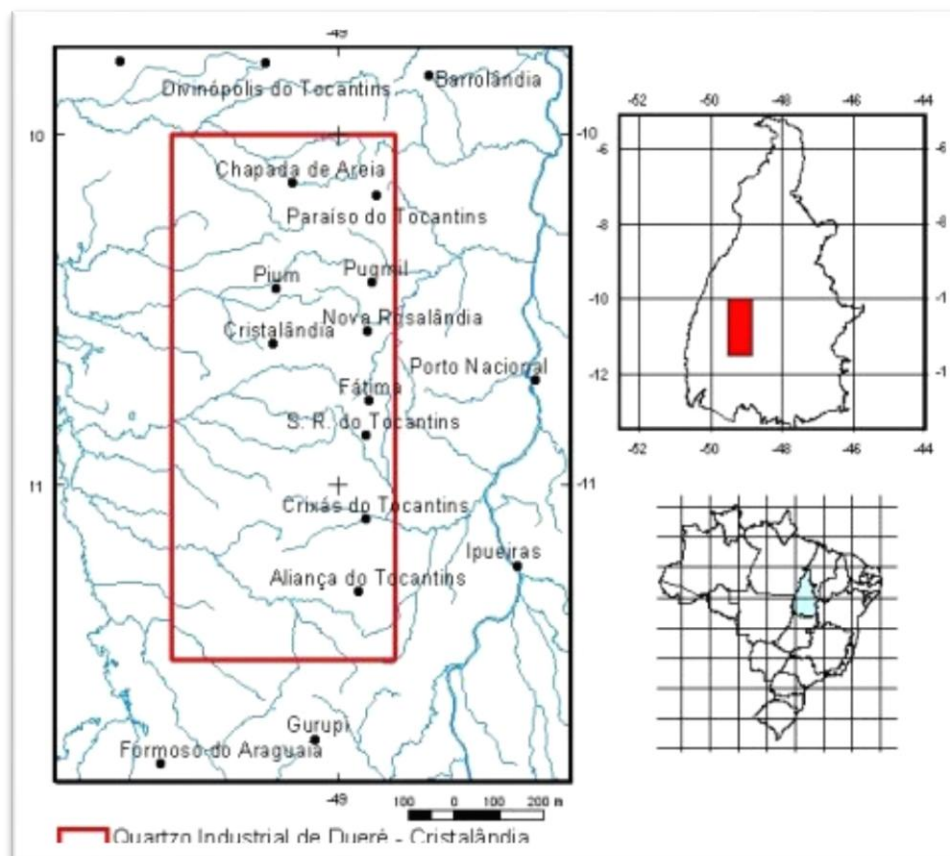
Após consulta no cadastro mineiro no site do DNPM, verificou-se que a área do processo mencionado acima é delimitada por um polígono de 346,83 hectares, que engloba um total de quinze propriedades rurais. O volume extraído na mina 01, denominada de mina da Baixa, e mina 02 denominada de mina do Manchão que segue as seguintes coordenadas em UTM no *Datum* WGS 84 (E 697491.06 - S 8828788.94) e (E 698427.9 - S 8827487.41) respectivamente, consultadas no *Google Earth* gira em torno de 30.000 kg comercializado no próprio galpão de estocagem dos cooperados da mina. Os garimpeiros reclamam da falta de valorização do produto, devido às quantidades de atravessadores existentes até o consumidor final, que segundo eles são os países asiáticos, especialmente a China e Japão.

#### **2.4. Geologia Regional**

Segundo Abdallah (1996. *apud* CPRM, 2011), o enquadramento geotectônico é definido por unidades da faixa de dobramento Araguaia, de idade neoproterozóica, caracterizada por um conjunto litológico com evolução tectono-metamórfica progressiva e posicionando-se na porção ocidental do orógeno, compreendendo as formações Pequizeiro e Xambioá do Grupo Baixo Araguaia estado do Tocantins. A região está contida no arcabouço tectônico estrutural representado pelas rochas do Grupo Baixo Araguaia a leste e por Complexos Metamórficos a sul e oeste (Figura 2).



Figura 2 – Municípios com importantes ocorrências de quartzo na região centro oeste do estado de Tocantins.



Fonte: (LAMANA, 2015).

Pode-se visualizar na figura 2, os importantes depósitos de quartzo indicado por Lamana (2015) no estado, e os principais municípios distribuídos entre as regiões sul, centro oeste e norte, destacando 13 cidades tocantinenses.

## 2.5. História da Mineração

Desde a pré-história o homem esteve ligado de alguma forma à mineração, através de confecção de artefatos para caça, pesca e para proteção própria. Para iniciar a narração busca-se conceituar inicialmente, o processo que originou a atividade que chamamos de mineração. A mineração é denominada como toda atividade relacionada à extração e beneficiamento de minerais que se encontram na natureza intactos ou que não tenham sofrido da ação antrópica (ação gerada pelo homem). Dependendo da geometria do corpo ou a forma em que se encontra o depósito mineral, a sua exploração é feita em minas a céu aberto ou subterrânea incluindo pedreiras, shafts, poços artesianos etc. Tal finalidade é destinada principalmente para comercialização, que exige condições ideais de aplicação, ou seja, o beneficiamento que consiste em preparar esses minérios de forma rudimentar (lapidação) ou mecanizado com uso de equipamentos e máquinas adequadas (FURMAM, 2015).

## **2.6. Processos de Exploração do Quartzo**

A mineração se dá com início da localização de jazidas minerais cuja produção provável venha a compensar as despesas e suporte as técnicas de extração. Segundo Mendo (2009), a lavra do quartzo é feita nos garimpos e em porcentagem maior por sistemas artesanais. A exploração do minério é feita geralmente a céu aberto, existindo poucas ocorrências pelo método subterrâneas, onde sua cota não extrapola mais de dez metros abaixo da superfície. Uma das particularidades dos jazimentos do mineral é a quantidade muito pequena do cristal aproveitado em relação as partes semelhantes do minério de quartzo na lavra. A operação de desenvolvimento mineiro envolve varias condicionantes e estudos preliminares, tendo em vista que a distribuição geológica do minério não possui um intervalo constante para que possa impedir que o cristal de interesse perca seu valor a partir de rupturas indesejadas com uso de equipamentos e maquinas na operação da mina. Quando o alvo de interesse é focado em preservar a estrutura cristalográfica do cristal, há necessidade de uma atenção na lavra e na planta de beneficiamento. Mas quando o alvo de interesse é para obtenção de lascas de quartzo, o uso intensivo de maquinários pesados não causam prejuízos na comercialização do produto.

## **2.7. Garimpagem**

Dentro desta contextualização, a exploração do cristal de rocha no local ocorre por método “artesanal” que na literatura denomina-se de garimpagem. Nestes termos Furman (2015), define que tal método de lavra é sub classificado em garimpagem manual, mecânica e dragagem. Garimpos são explorações manuais ou no máximo semi-mecanizadas de substâncias minerais valiosas, como ouro, diamantes, diversos tipos de gemas, pedras decoradas, pegmatitos e outros tipos de minérios visíveis na superfície de modo coluvionar ou aluvionar. Os minerais extraídos em garimpo geralmente possui valor de mercado considerável, que em maior parte segue por uma retirada sem planejamento técnico que leve em consideração a segurança ao trabalhador e medidas mitigadoras de impacto ambiental.

### **2.7.1. Garimpagem Manual**

É a forma de processamento da substância mineral a partir da lavagem do material *in situ*, com uso de artefatos ou equipamentos específicos de forma rudimentar, subclassificação de acordo com o método, ou seja, auxílio de ação de águas pluviais, fluviais ou por catas manuais (FURMAN, 2015).

### 2.7.2. Garimpagem Mecânicas

Este método inicialmente aplica o desmonte hidráulico e, posteriormente e finalmente a separação pelo tamanho das partículas em equipamentos vibratórios ou fixos denominados de peneira. Podem ser classificadas como garimpagem mecânica por desmonte hidráulico e garimpagem mecânica em leitos submersos com auxílio de mascarita, escafandro e chupadora (FURMAN 2015).

### 2.8. Mineral de Quartzo

Segundo Santos (2008), o quartzo é um mineral industrial composto de  $\text{SiO}_2$ , a sílica presente faz com que seja subclassificado como mineral para indústria de cerâmica, fundentes, abrasivos e gemas ou pedras preciosas.

O quartzo é um dos minerais que compõe a família dos silicatos. Muito abundante na crosta terrestre devido a sua alta resistência ao intemperismo físico e químico. Tal razão explica a sua abundância na crosta terrestre, além de ser um dos constituintes nas rochas ígneas, metamórficas e sedimentares. Existem cerca de vinte variedades surpreendentes, devido ao seu brilho e grau de cristalinidade que às vezes é comparado com o diamante que diferem pelas suas durezas na escala de *Mohs*, 7 e 10 respectivamente (UNESP, 2015).

É uma das formas principais da sílica ( $\text{SiO}_2$ ), além da tridimita e a crisobalita, que apresentam diferenças na estrutura cristalina. A sílica composta no quartzo apresenta em torno de 20 modificações polimórficas. Com a oscilação de temperatura sofrem algumas modificações de fase, onde cada uma recebe sua designação exclusiva. O quartzo alfa é imutável à temperatura ambiente, modificando-se na variedade beta a  $573\text{ }^\circ\text{C}$  e em tridimita a  $870\text{ }^\circ\text{C}$ . À temperatura de  $1470\text{ }^\circ\text{C}$  sucede a modificação para crisobalita, até atingir o ponto de fusão a  $1713\text{ }^\circ\text{C}$  (TORIKAI e DEER 1987).

Quando adicionado o quartzo a uma massa cerâmica atua como preenchimento dos espaços vazios, ou seja, melhorando o empacotamento dos grãos e conseqüentemente reduzindo retração atuando como controle de dilatação e distorção do produto final após o seu tratamento térmico na cerâmica (ALBUQUERQUE et al., 2007 apud ARAUJO, 2008).

Quando o quartzo submetido a uma rampa de aquecimento ocorre transformações de fase no quartzo, e em cada fase possui uma denominação específica. A fase do quartzo alfa, que é estável à temperatura ambiente, transforma-se na

temperatura de 573 °C (variedade beta), em tridimita à 870 °C, em cristobalita à 1470 °C e atinge o ponto e fusão a 1713 °C (LOBATO, 2009).

De acordo com Luz (2015), o quartzo é o mais comum dos minerais polimorfos e, isso ao fato de seus cristais grandes, transparentes e bem formados, é notório há séculos e séculos. As mais conhecidas variedades cristalinas do quartzo são: quartzo hialino ou cristal de rocha, quartzo leitoso, esfumaçado, roxo (ametista), negro (morion), verde (prásio) etc. Estas disparidades são usadas também como gemas e ornamentação, alguns aplicados como o quartzo natural que é, o que é retirado da natureza ou cultivado que se produz a partir do desenvolvimento hidrotérmico em autoclave.

O mecanismo de coloração do quartzo está associado à incorporação de íons de impureza na rede cristalina do quartzo e à formação de centros de cor devido a efeitos de irradiação e tratamento térmico. Apesar de estar sendo investigada há muito tempo, a causa da cor em muitas espécies de quartzo continua em aberto para algumas impurezas incorporadas. As primeiras tentativas de incorporar impurezas ao quartzo sintético remontam a meados dos anos 50. Os objetivos iniciais eram tão somente o aumento da taxa de crescimento hidrotérmico do quartzo piezelétrico e a melhoria de suas propriedades eletroacústicas (STANLEY 1956).

Na área em estudo a paragênese mineral de interesse econômico e estratégico é o “cristal de rocha, variedade de quartzo abundante na natureza, encontrado como incolor e transparente. Existem também ocorrências semelhantes em maiores escalas, como o quartzo colorido, caso do citrino, o quartzo-rosa, e o quartzo leitoso, associados e encaixados ao minério.

## **2.9. Quartzo no Tocantins**

O Diagnóstico da Situação Mineral do Estado do Tocantins elaborado pela MINERATINS (2008), relata os principais municípios de ocorrências relevantes, alguns explorados desde 1940, entre eles:

Os principais municípios que apresentam interessantes ocorrências de quartzo industrial estão distribuídos na região sul, centro-oeste e norte do estado. Dentre os municípios destacam-se Cristalândia, Pium, Dueré, Jaú, São Salvador, Monte Santo, Goianorte, Itaporã, Bandeirantes, Couto Magalhães, Dois Irmãos, Xambioá e Araguanã (SEPLAN; MINERATINS, 2008, p. 77 e 78).

## **2.10. Quartzo no Brasil**

Diniz *et al* (apud LUZ, BRAZ, 2000, p.14), afirma que as maiores reservas desse mineral no mundo em quantidade e qualidade está localizado no Brasil. Tal fato nos enseja maior lucro e produtividade, pois há ganhos nas operações de exploração e beneficiamento, gerando assim menos custo no processamento. Provocando assim uma vantagem extra na participação em produzir e exportar para o mercado mundial. O DNPM estimou em 1999 uma participação de 80% no fornecimento de lascas de quartzo nos países como Japão, Alemanha, China e Reino Unido, aplicados como nutrientes.

A forma e obtenção de lasca e cristal de quartzo no Brasil intensificaram-se na época da Segunda Guerra Mundial e continua intermitente até hoje, porém houve uma redução na produção da forma de cristal, pois muitos consumidores em especial os EUA que destinavam a aplicação na indústria bélica, é farto de tecnologias que viabilizaram suas reservas que apresentam baixos teores e poucos disseminados. Minas Gerais, Goiás, Tocantins e Bahia são os principais e tradicionais produtores de lascas e cristal de Quartzo. Os depósitos deste mineral na Bahia estão localizados no Espinhaço setentrional e na Chapada Diamantina ocidental (GEOLOGIA, 2012).

## **2.11. Oferta Mundial de quartzo**

De acordo com as estatísticas oficiais do Departamento Nacional de Produção Mineral (2014), o Brasil detém 95% das reservas mundiais, o equivalente a 78 milhões de toneladas. Estes dados referem-se a quartzo de todas as qualidades, ou seja, para fabricação de Fe-Si, vidros, silício metalúrgico, cerâmicas tradicionais etc. A maior reserva do país esta no estado do Pará, cerca de 60 % das jazidas.

## **2.12. Produção do Quartzo no Brasil**

No ano de 2013 a produção nacional de cristal de quartzo foi de aproximadamente 11.000,00 toneladas (t). O pequeno minerador e o minerador informal são responsáveis por essa estatística, gerada a partir destes cristais aplicados em eletrônicos. Detentor das maiores reserva de blocos naturais, o Brasil destina sua produção principalmente para silício metálico (DNPM, 2014).

### 2.13. Tecnologia Mineral do Quartzo no Brasil

Conforme citado por Luz e Braz (2000), apesar da qualidade das grandes reservas de quartzo no Brasil, essa vantagem não torna País muito à frente dos demais, pois o país não possui um centro de tecnologia suficiente que atenda a demanda do mercado. Um exemplo clássico é o silício metalúrgico que o país produz, mais em contrapartida importa todo produto de qualidade e aplicação eletrônica. Devido a forte tecnologia que tem, o Japão é líder na produção e consumo de quartzo cultivado, por possuir baixo custo de cada fração que produz aplicado nos eletrônicos que comercializa.

Segundo Mendo (2009), para que o Brasil se desenvolva e acompanhe a tecnologia faz-se necessário:

Um maior investimento das grandes empresas em tecnologia, para diminuir a dependência dos produtos manufaturados de quartzo, como o silício de grau eletrônico. A aplicação de uma política de estímulo à industrialização interna visando agregação de valor a matéria prima mineral e solução da dependência externa de produtos industrializados. É necessário também um programa de capacitação tecnológica para a maioria dos mineradores, visando principalmente, o entendimento do mercado (MENDO, 2009).

### 2.14. Aplicação e Uso do Quartzo

Mendo (2009), cita que a aplicação do quartzo no mercado está relacionado com a composição impura e algumas anomalias que o mercado consumidor exige para cada área de aplicação industrial. O material de melhor qualidade é utilizado para fibras ópticas e afins, a partir das lascas ou pó do referido cristal. Já os de menor atributo tem destino ao setor de metalurgia, estrutural e abrasão.

Sabe-se que existem inúmeras aplicações do Quartzo. É amplamente utilizado nas indústrias bélica, telecomunicações, metalúrgica, areia para moldes de fundição, fabricação de vidro, abrasivos, lixas, fibras óticas, refratários, cerâmica, produtos eletrônicos, indústria de ornamentos, elétrica e construção civil. Esse último abre um leque de aplicação como, por exemplo argamassa, concreto (pó reativo) e silestone (placas de resinas com quartzo britado). Também são usadas na fabricação de aço especiais, ligas especiais, silicones, refratários, vidros planos (CETEM 2012).

As lascas de quartzo de boa qualidade são utilizadas na produção do quartzo cultivado quartzo fundido, cerâmica especiais, e *filler* para microcircuito. O Pó de quartzo pode ser aplicado na construção civil e no quartzo fundido, que perde suas propriedades piezelétricas quando reduz sua granulometria e passa por etapas de

sinterização. Quando o quartzo sofre essas modificações abre um leque de aplicações de valor agregado (MENDO, 2009).

#### **2.14.1. Pó reativo**

Segundo Bina (1998), o concreto de pó reativos (CPR), que vem sendo desenvolvido na Europa e no Canadá, nos últimos anos destacou-se pela alta resistência mais elevada do que o concreto de alto desempenho (CAD), pois melhora os aspectos do concreto convencional e a conexão com o meio ambiente. O volume de cimento aplicado na produção do CPR é de duas vezes e meia mais material do que no concreto convencional, o que causaria liberações de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Portanto isso compensaria em 60% da quantidade de CO<sub>2</sub> lançados no meio ambiente, pois em razão do aumento da resistência mecânica provocados pelo pó reativo no concreto isso diminuiria bastante o seu volume comparado ao concreto convencional. Tal eficiência otimizaria melhores desempenhos e obras mais complexas tendo em vista os pesos específicos entre ambos.

#### **2.14.2. Pó de Quartzo**

De acordo com Serafim, *et al.* (2012), o pó de quartzo utilizado nas misturas de concretos de pó reativo (CPR), tem as funções de reagir durante o tratamento térmico e melhorar o empacotamento dos grãos do concreto possibilitando complementar as reações provenientes da sílica ativa para o acontecimento de reações pozolânicas. Segundo Vanderlei (*apud* SERAFIM *et al.* 2012, p. 28), a reatividade máxima para a reação pozolânica acontecer é obtida com partículas de tamanho entre 5 a 25 micrometros. O tamanho médio das partículas de pó de quartzo utilizado, segundo é de 10 micrômetros, portanto da mesma classe granular do cimento. Com isto é possível de reagir durante o processo de cura, originando a benéfica e desejável reação pozolânica.

#### **2.14.3. Pozolana**

O termo se refere a um produto rico em sílica de forma reativa, in natura ou produzida em laboratório. A NBR e *American Society for Testing and Materials* (ASTM), em sua norma, define pozolanas como materiais silicosos ou silicoaluminosos que, contém quantidades menores ou nenhuma atividade aglomerante, que quando reduzido sua granulometria adicionado à H<sub>2</sub>O, reagem com Ca(OH)<sub>2</sub> à temperatura ambiente, formando compostos com propriedades aglomerantes (SERAFIM; LICETTI, 2012).

## **2.15. Processamento Mineral**

Dutra (2009) considera que o tratamento de minérios pode ser conceituado basicamente como sendo a ciência que transforma rocha em matérias primas para suprir os mais diversos ramos industriais. Na realidade, compreende um universo amplo e multidisciplinar, envolvendo diversos campos de engenharia propriamente dita. As irregularidades na distribuição elementar são geradas por processos geológicos e climáticos, resultando em alguns casos numa grande concentração de minerais em locais exclusivos que é denominada de jazidas minerais quando apresentam dimensões e características que permitam sua exploração econômica. Tais minerais em sua maior parte necessitam de um determinado tratamento, utilizando-se essencialmente de processos físicos, sem alterar a estrutura química chamados de concentrados.

### **2.15.1. Operações unitárias**

Para que ocorra o beneficiamento do minério na planta é necessário adotar alguns procedimentos combinados sequencialmente, segundo CETEM (2012), ocorre sequencialmente com a remoção da cobertura vegetal estocadas em pilhas de material orgânico, para que seja utilizadas no fechamento da mina. O desmonte será mecânico ou hidráulico com uso de máquinas e equipamentos respectivamente, ou seja, não haverá perfuração pelo fato da rocha ser friável. Após esse procedimento haverá o carregamento e transporte do R.O.M. para deslamagem e conseqüentemente a cata manual antes da britagem do rejeito.

### **2.15.2. Beneficiamento**

O foco deste trabalho de pesquisa é desenvolver o tratamento físico do minério de quartzo rejeitado no garimpo, desta forma é preciso estabelecer e sugerir uma unidade de beneficiamento, que segundo Cetem (2012) tem por função modificar o tamanho das partículas, sua forma e distribuição granulométrica, visando ao seu uso como agregado na construção civil constituído resumidamente por britagem, peneiramento/classificação, moagem, transporte para estoque e manuseio de materiais para a comercialização do produto final “Pó reativo”. Sugere-se antes do processo de britagem, a lavagem do ROM transportados pelos caminhões para a remoção da lama constituída de matérias orgânica e solos deposicionais, ou seja, o estéril que neste contexto caracterizada pela rocha encaixante.



### **2.15.3. Amostragem**

A técnica de amostragem em tratamento de minérios é aplicada quando pretende-se utilizar uma certa quantidade de amostra (g) para caracterizar, e que tal alíquota seja representativa da amostra global. Para efeito da representatividade é necessário adotar procedimentos sistemáticos. Caso o roteiro não leve tais considerações o resultado não será confiável, pois muitas das vezes os resultados obtidos ficam distorcidos ou muito fora dos parâmetros indicados na literatura (OLIVEIRA; AQUINO, 2007).

Conforme Allen (1981, apud Oliveira e Aquino, 2007), as amostras em gramas são estimativas de um dado material em grandes proporções (toneladas), que são representativas e minimizam erros no projeto futuro, que vai desde a avaliação de reserva, complexo industrial e comercialização.

Um roteiro de amostragem acurado, ou seja, quando na coleta a adotam a mesma probabilidade de ser coletada e pertencer à amostra global, garante ao investidor retorno mais confiável no projeto, pois muitos empreendimentos falham nos planejamentos estatísticos de coleta, inviabilizando o processamento mineral futuro (OLIVEIRA; AQUINO, 2007).

As amostras podem ser pelo método de probabilidade ou não. Além da amostragem probalística que foi citado anteriormente, a não probalística segue uma coleta intenção ou não intencional. Na intencional é feita com objetivos específicos, enquanto que a não intencional é realizada com avaliação de conveniência e/ou de disponibilidade. Para compreensão de um roteiro de amostragem, pode ser da seguinte forma: Universo ou lote > Incremento > Amostra primaria > Preparação > Homogeneização e Quarteamento > Amostra final ou Arquivo (OLIVEIRA; AQUINO, 2007).

### **2.15.4. Homogeneização e Quarteamento**

Segundo Santos (2008), homogeneização é o ato de misturar, juntar vários elementos, formar um material integrado, idêntico. Quartear é o ato de partir, dividir em varias partes um certo material homogêneo, com a finalidade de retirar uma alíquota da amostra global para ser submetida a um determinado tratamento específico.

Santos (2008) relata que em grandes empresas a homegeneização é feita em pilha pulmão através de correias transportadoras. Já em uma escala menor, por exemplo

em laboratório a homogeneização é feita analisando o tamanho da amostra encaminhada ao laboratório. Quando a amostra é menor que cinco kg é aconselháveis trabalhar apenas com a pilha cônica. Caso a amostra seja maior que cinco e menor que dez kg, é indicado usar o pilha longitudinal seguida da pilha cônica. Acima de dez kg, é indicado trabalhar com o quarteador Jones. Os métodos indicados acima tem como finalidade, seguir um roteiro sistemático tornando a amostra final representativa.

A metodologia que deve ser utilizada para homogeneizar é da seguinte forma: Coletar o material com uma pá de baixo para cima e no sentido anti-horário em pilhas cônicas, transferindo esse material para outro ponto em forma de pilha espiral. A repetição desse procedimento depende do tamanho da amostra, quanto menor mais vezes é repetido. Geralmente o processo é repetido por cinco vezes. Já em pilhas longitudinais o material é espalhado no sentido linear, depois é numerado de um a dez, separando as partes ímpares das pares. Escolhe-se umas das partes e forma uma nova pilha longitudinal, repetindo-se esse processo até chegar a massa adequada para o método de pilha cônica (SANTOS, 2008).

O quarteamento é feito em quarteadores Jones ou em pilha cônica. O quarteador Jones é uma peça que possui divisórias que leva a mesma probabilidade de do material seguir um dos dois caminhos. Já o método de pilha cônica é utilizado uma cruz em chapa de aço, onde a cruz é pressionada de cima para baixo na parte central da pilha resultando em quatro partes. Tal processo é repetido até atingir uma amostra adequada para um determinado tipo de caracterização ou tratamento mineral (SANTOS, 2008).

#### **2.15.5. Classificação**

A classificação é a separação em faixas granulométricas. A técnica mais aplicada é com uso de peneiras, mesmo que existem diferentes materiais, características mineralógicas e físicas, o peneiramento classifica as partículas por tamanhos. O método de peneiramento é utilizado pelo homem desde a antiguidade, cerca de 150 a.C por sistemas rudimentares, mais que, o principal objetivo era separar o material desejado. Muito tem modernizado nos dias de hoje, a evolução começou quando os alemães no século XV, construiu a primeira peneira de arame em telas, gerando resultados satisfatórios do que a técnica antiga. A partir de então passou a definir as primeiras classificação em frações e series, como por exemplo a “Tyler” (SAMPAIO; SILVA, 2007).

Um dos avanços qualitativos sugerida pelo professor alemão R. von Rittinger foi a padronização das frações em peneiramentos, onde ele estabeleceu a abertura em duas peneiras consecutivas em ordem decrescente é a divisão da aberturas em milímetros pela raiz de 2, por exemplo na série Tyler  $3 = 6730$ , pegando esse valor em mm e dividindo por raiz de dois, acha-se o valor da próxima peneira neste caso 4 na série Tyler = 4,76 mm (SAMPAIO; SILVA, 2007).

Análise granulométrica é feita com uso de peneiras. Todo operador deve levar em consideração estado em que se encontram as peneiras, para não comprometerem resultados garantindo a representatividade de um determinado tipo de minério. Deve-se retirar impurezas que ficaram em testes anteriores e após o uso limpa-las e deixando pronta para ensaios posteriores. A amostra é analisada e registrada o peso antes da sua classificação, podendo ser húmido ou a seco. O autor descreve também que o ensaio a seco as amostra devem ser submetida à retirada de umidade em estufa. É adotada o intervalo de frações e o números máximos de peneiras. O material na peneira não pode exceder a altura máxima de duas vezes a abertura dentro da peneira, para que a partículas tenha a chance de expor sobre a malha e ser peneirada, e não ficar sobreposta às partículas grosseiras (SAMPAIO; SILVA, 2007).

Sampaio e Silva (2007) ressaltam que na distribuição granulométrica deve antes ser preparada uma tabela com a linha, abertura (unidade da fração), peso e as percentagens da fração retida, acumulada e passante para a apresentação dos dados obtidos em gráficos. As frações em mm é a abertura, o peso é a massa (g) retida em cada fração, a percentagem retida é gerada dividindo a massa da fração pela massa total classificada, a percentagem acumulada é a soma da fração (%) da peneira anterior com a percentagem retida posterior, a percentagem passante é 100 % da amostra menos a percentagem acumulada naquela fração.

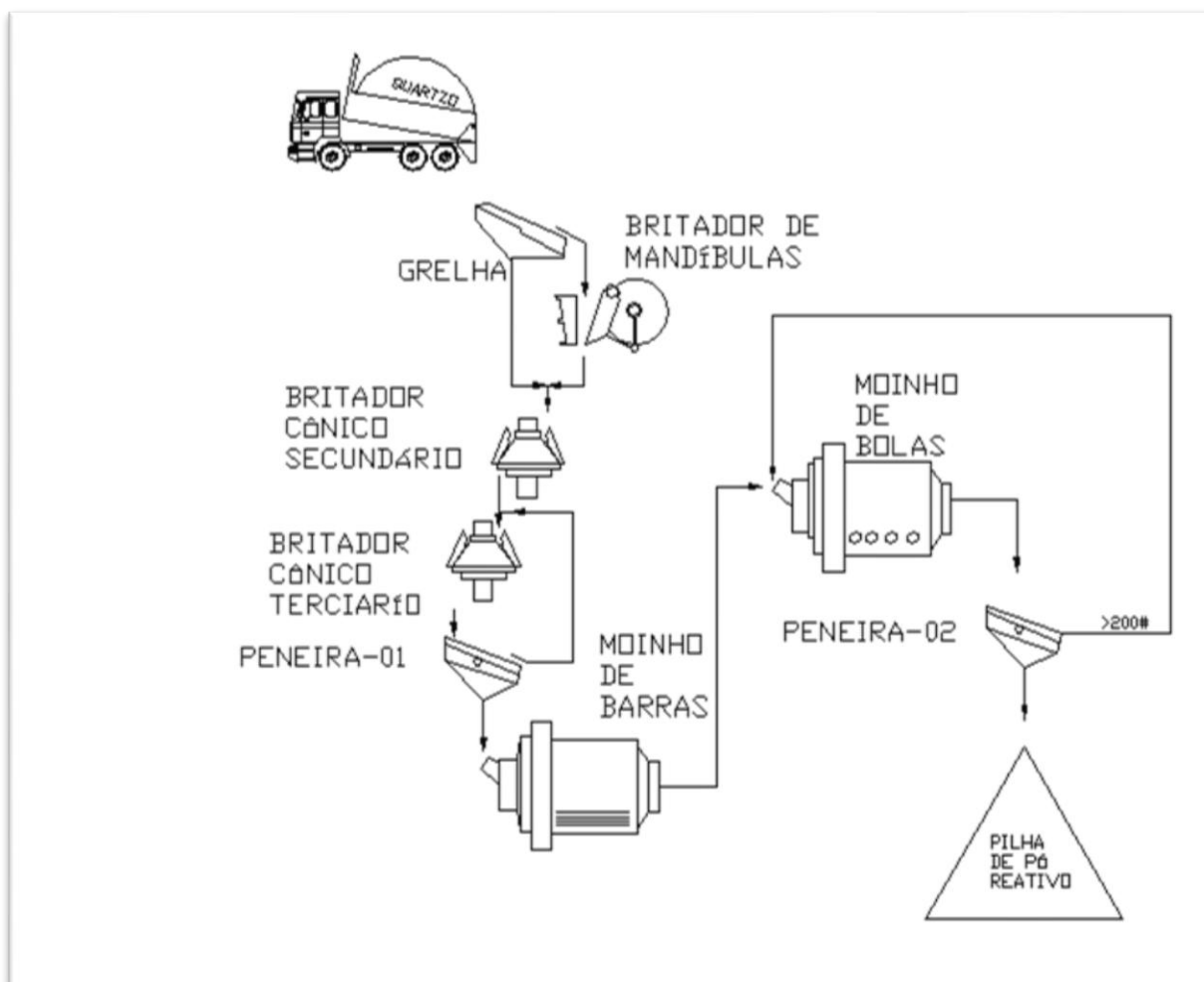
#### **2.15.6. Britagem**

De acordo com Chaves e Peres (2009), as operações de cominuição são a britagem e a moagem. Cominuição compreende o conjunto de operações de redução das rochas realizado por métodos pré-determinado, podendo a produção de finos ser ou não a finalidade da operação. Para cada objetivo existe um sequenciamento de circuito que melhor se adapta com um equipamento específico. A necessidade de um circuito de cominuição se faz necessário para manusear o material, transporte contínuo, permitir a utilização do minério, liberar as partículas. As forças que atuam durante o processo de britagem é de compressão, cisalhamento ou de impacto.

Na britagem os tamanhos são maiores que a moagem. O cisalhamento ocorre nas linhas de fraqueza do mineral. Chaves e Peres (2009) relata que a relação de redução é pequena no processo de britagem, já na moagem leva relação de redução enormes que segue dois estágios: a que possui um tamanho maior feita em moinhos de barra e circuito aberto e a fina em moinho de bolas em circuito fechado.

Levando em consideração ao tema deste trabalho e exemplificando no que Chaves e Peres (2009) relata em seu livro foi elaborado um circuito de cominuição envolvendo a britagem e moagem do quartzo leitoso, conforme figura 3 abaixo.

Figura 3 - Circuito de cominuição. Elaborado com software AutoCad 2015



Fonte: Autor

Conforme demonstrado na figura acima, o circuito compreende cinco estágios de cominuição de quartzo: britagem primária com britador de mandíbulas, britagem secundária com britador cônico, britagem terciária com britador cônico, moagem primária com moinho de barras e moagem secundária com moinho de bolas, para a produção final de pó reativo, ou seja, uma granulometria abaixo de 200 # ou 74  $\mu\text{m}$ .

### 2.15.7. Moagem

A moagem é utilizada quando se pretende produzir uma maior quantidade de um material finos, geralmente seguida da britagem. A moagem pode ser feita com moinhos de bolas ou de barras. Após a coleta o material é submetido à redução primária e secundária com uso de britadores e conduzida para o moinho geralmente quando a amostra atingir uma faixa granulométrica abaixo de 6 mm. O roteiro de preparação de uma amostra é feita pelo seguinte: britagem primária e secundária, quarteamento e destinada aos ensaios finais de moagem, análise mineralógica ou química. O tempo de ensaio depende das características do minério, por exemplo a densidade, dureza, e tenacidade (SAMPAIO e BARBATO, 2007).

Segundo Chaves e Peres (2009), a moagem é um conjunto de operações de cominuição de uma fração abaixo de  $\frac{3}{4}$ ” executada com máquinas que tornam o material redondo, reduzindo as arestas através do cisalhamento da superfície da partículas com a carga moedora. A partir da finalidade ou a exigência do mercado é que o engenheiro irá determinar o melhor roteiro e equipamentos (britador ou moinhos) adequados para atingir o objetivo. Tais objetivos na moagem é principalmente atingir o grau de liberação das espécies minerais, além de adequar a exigência industrial, transporte específico (polpa em mineroduto, “pellet feed” pelotização e ou a própria rocha, por exemplo a brita) e adequação para processos metalúrgicos.

Os equipamentos de moagem são os mais utilizados para fins de aplicação industriais, denominados de moinhos de: barras e bolas, seixos (moinhos de carga cadente) e de martelo, existem também os moinhos vibratórios de discos, de impacto. Cada finalidade de operação exige um tipo específico, por exemplo se na operação deve ou não produzir finos. O moinho tem formato de um cilíndrico, que gira em torno do seu eixo, seu revestimento é feita de chapas de ligas especiais, fixado com solda ou parafusado. A transmissão é feita de varias formas: correias em v, redutor ligado diretamente ao moinho, motor conectado diretamente ao moinho e redutor com acoplamento hidráulico (CHAVES; PERES, 2009).

A alimentação é feita com um alimentador de tambor “drum feeder”, alimentador com tubo “spout feeder” e alimentador de bico-de-papagaio “scoop feeder”. Existem fenômenos que podem ocorrer dentro do moinho nos corpos moedores em função da velocidade: efeitos cascata, catarata e velocidade crítica (CHAVES; PERES, 2009).

Os moinhos de bolas são equipamentos que usam bolas de vários tamanhos em seu leito, trabalham com frações de alimentação na faixa de 14 a 28# que geram muito finos. A carga moedora “bolas” que é utilizada tem que estar na faixa de 40 até 50 % de seu volume. Existem diversos diâmetros de cargas moedoras, cada uma dependente do tamanho do moinho, o ideal é que sempre mescle diversos diâmetros de bolas, para que a mais finas preencha o espaço das bolas maiores, aumentando a produção de finos. Em escala industrial geralmente é utilizados bolas acima de 1” (CHAVES; PERES, 2009).

#### 2.15.8. Determinação experimental do WI para moinhos de bolas

O WI é uma sigla utilizada em circuito de beneficiamento que significa “Work Index”, ou Índice de Trabalho em português. É um procedimento que determina a energia necessária para reduzir um certo material em kwh/tonelada, ou seja, é a resistência do minério a moagem, são utilizados desde um tamanho teoricamente infinito até 80% passante para efeito do calculo de WI (SAMPAIO e BARBATO, 2007).

Entre os métodos que podem gerar esse resultado está o Método de Bond. A lei de Bond diz que a energia necessária para cominuir uma certa quantidade de minério é inversamente proporcional a raiz quadrada do diâmetro das partículas (SAMPAIO e BARBATO, 2007).

Chaves e Peres (2009), ressalta também que o WI é realizado com objetivos de reduzir a amostra de alimentação em 80% passante na fração teste simulando em uma operação de 250% de carga circulante. A execução do teste de moabilidade em laboratório é feita da seguinte forma:

1. Pesar uma amostra de 10 kg homogênea
2. Britar o material e registrar a classificação em 3.36 mm (6# Tyler)
3. O produto grosseiro (acima de 3.36mm) deve ser rebritado em moinho de rolos e incorporado ao undersize
4. Homogeneizar os produtos em pilha alongada e separar uma amostra para ser trabalhada e a outra como contra prova
5. A amostra deve ser feita a análise granulométrica da alimentação. A malha de teste é a peneira que será determinado para o Wi e determinar o P.
6. O moinho cilíndrico é o moinho padrão com dimensões de 30,5 x 30,5 cm (1x1 ft). Dispor de conta-giros e dispositivo de parada automática. A carga moedora é

a seguinte: 43 bolas de 36,5mm; 67 bolas de 29,4 mm; 10 bolas de 25,4; 71 bolas de 19 mm e 94 bolas de 15,9 mm

7. O ciclo de moagem é iniciado com volume de 700 ml que foi utilizado para determinação da densidade aparente e com duração de 100 revoluções. Logo após é descarregado para peneiras para o peneiramento.
8. O produto ideal é calculado por uma forma fornecidas pelas normas e o numero de rotação que o moinho deverá girar para gera-lo . Sampaio e Barbato (2007) relata que o passante em 200# é pesado e registrado. Pega-se a mesma quantidade de massa passante da amostra global e retorna o circuito
9. O ciclo é repetido até que estabilizar o passante de 200#. Alguns laboratórios exigem um numero mínimo de 7 ciclos. Lembrando que deve-se realizar o ensaio granulométrico em cada ciclo para determinar o P
10. O GPR é o valor da massa moída por revoluções, calcula-se a media aritmética dos três últimos ciclos
11. O WI é gerado com o seguinte calculo:

$$WI = \frac{44.5}{\text{Malha teste}^{0.23} \times GPR^{0.625} \times \frac{10}{P} \times \frac{10}{F}}$$

Onde:

- WI índice de trabalho para a moagem (kwh/t)
- Malha de Teste é a abertura de classificação do ensaio (µm)
- GPR é Média dos três últimos valores do índice de moabilidade
- P é a abertura da peneira pela qual passam 80% que alimentou o moinho em micrometros
- F é a fração da peneira especifica que passou 80% da massa que alimentou o moinho

## 2.16. Medidas de Segurança

Toda atividade de extração propicia benefícios econômicos e sociais, traduzidos em melhor qualidade de vida para os cidadãos envolvidos. No entanto a execução de algumas tarefas consideradas perigosas pode resultar em acidentes indesejáveis. A extração do quartzo para produção do pó reativo, apesar de não envolver máquinas e equipamentos de grande na Cooperativa, como em outros setores da mineração, pode implicar em situações de riscos que devem ser minimizados e gerenciado através de medidas preventivas de segurança e higiene do trabalho. Para

tanto torna-se necessário as observações nas Normas Reguladoras da Mineração – NRM's, especificamente na NRM 22 e 18, que trata dos procedimento ao trabalhador e do beneficiamento respectivamente, tendo em vista o material produzido ausente de proteção individual e coletivo que minimize os riscos pode ocasionar a silicose, que é uma doença incurável. Conforme citada pela NRM's (2002), é necessário adotar o programa que é imprescindível para dar segurança e proteção aos trabalhadores.

### **2.16.1. Silicose**

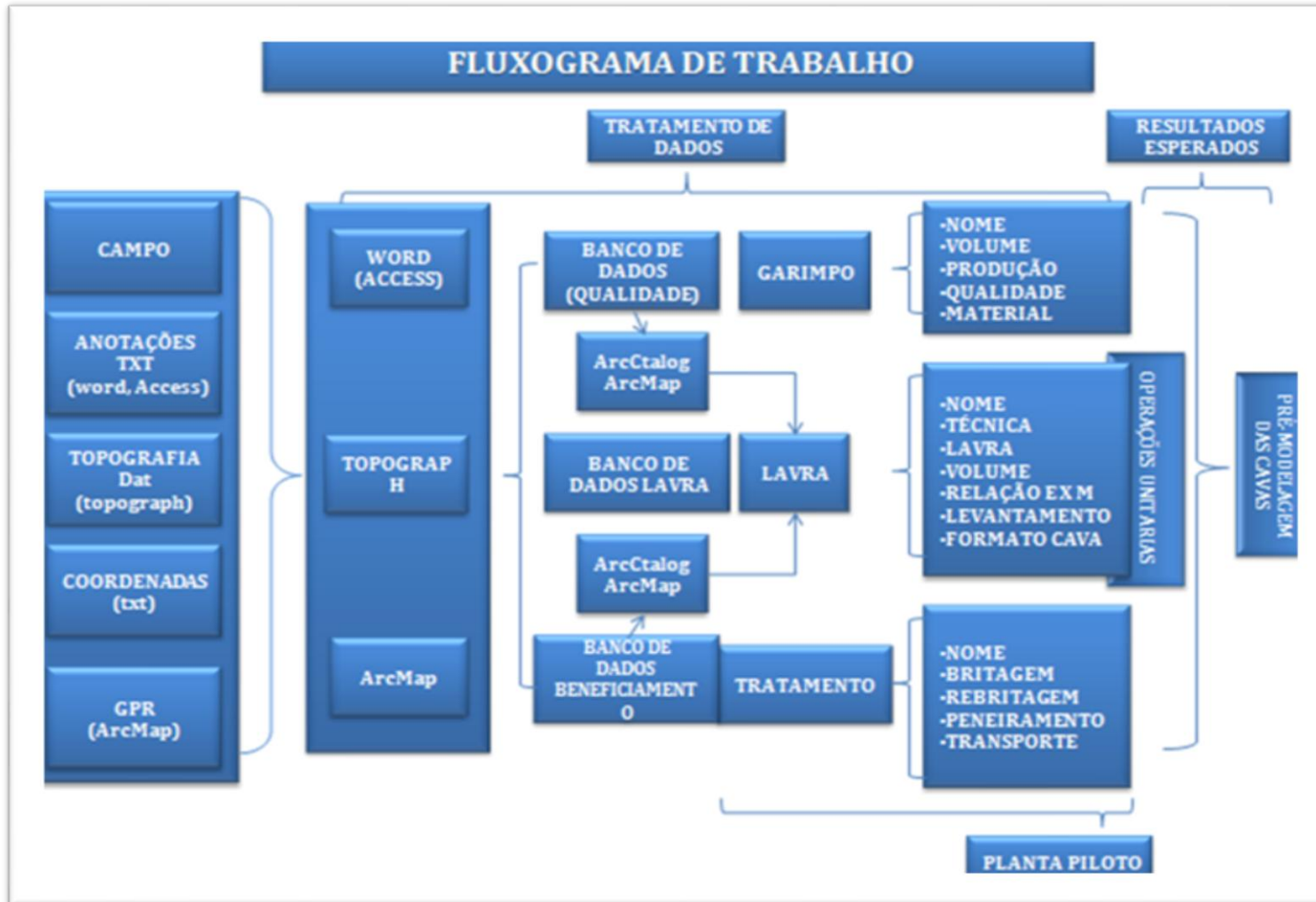
Compondo 60% da composição da crosta terrestre, o quartzo possui formula molecular  $\text{SiO}_2$ , é o principal causador dessa doença. Segundo Mello (2010), a silicose é umas das principais doenças provocadas pela sílica contidas em muitos minerais e rochas devido ao seu contato próximo quando estão em suspensão, alcançando assim na absorção de ar pelo pulmão nas vias náuseas provocando acúmulo de micropartículas no tecido fibrótico do ser humano.

É provocado em atividades relacionadas à construção civil, mineração, cerâmica em polos industriais e metalurgia de forma que ocorria o contato por um certo período de tempo. A doença pode ser acometida em três fases: crônica, subaguda e aguda que não existe cura (MELLO, 2015).



## 2.18. Fluxograma das Atividades

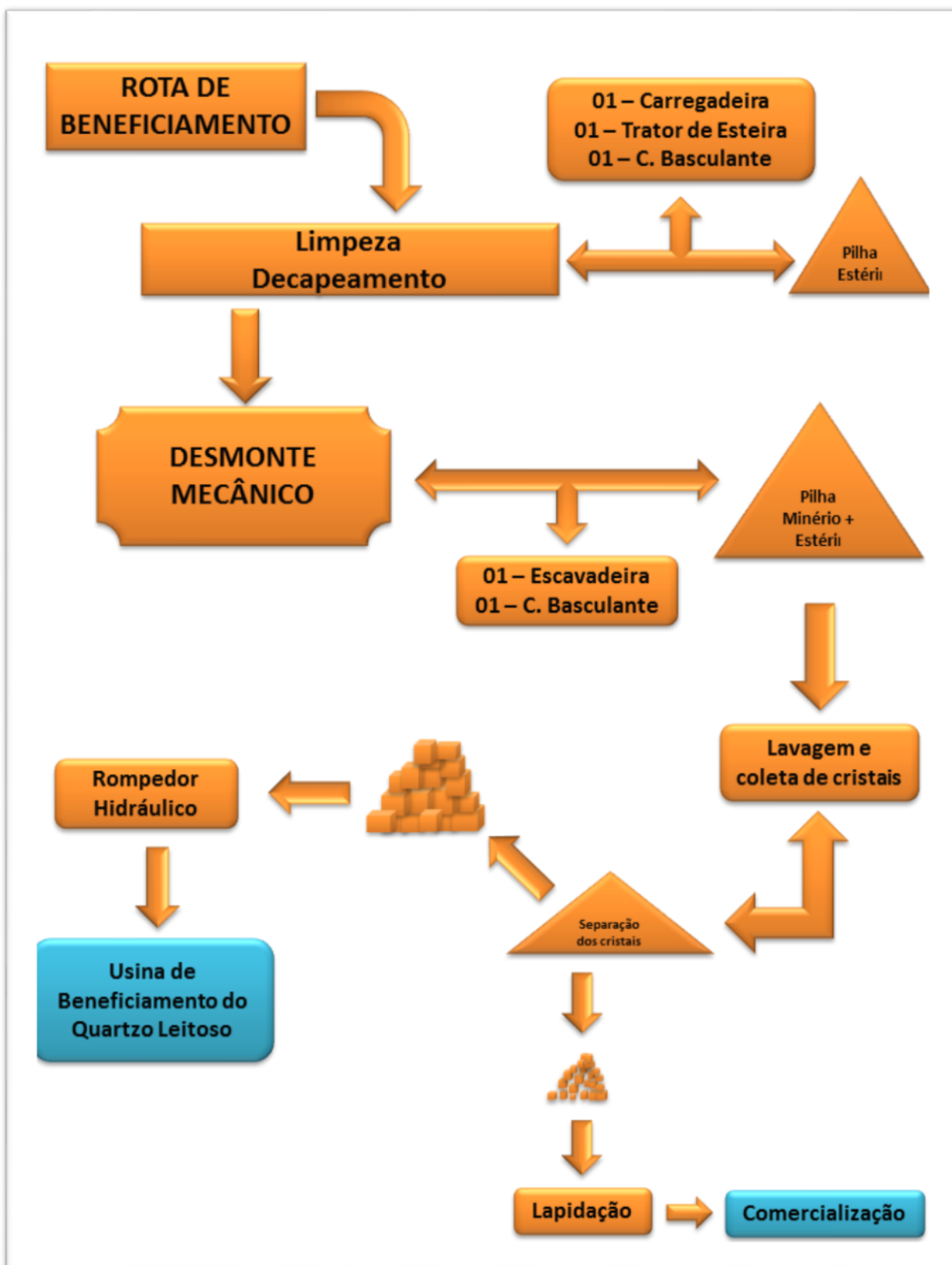
Figura 4 - Fluxograma da Metodologia



Fonte: Autor

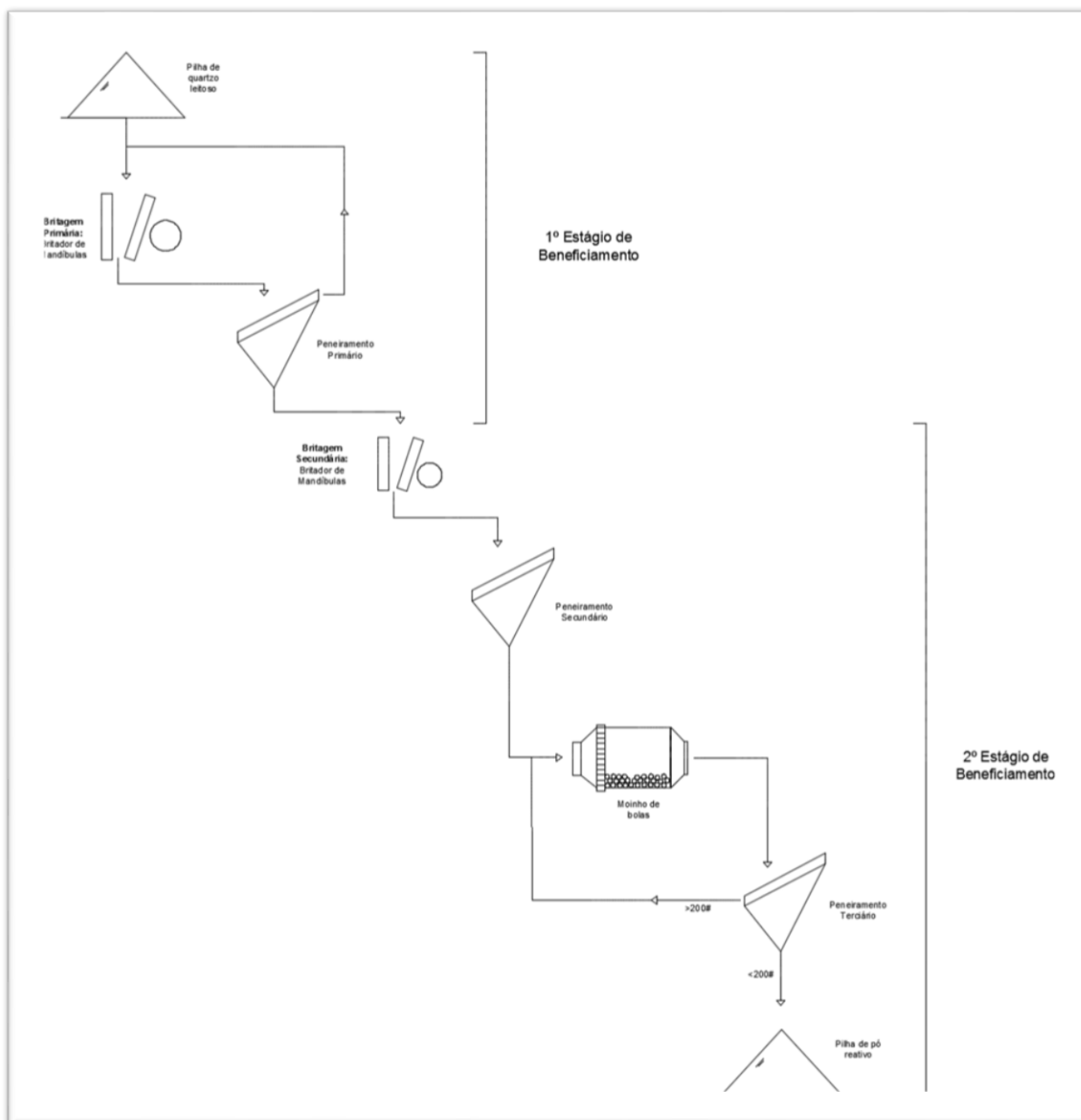
## 2.19. Rota de Beneficiamento

Figura 5 - Rota de Beneficiamento na Cooperativa



## 2.20. Circuito de beneficiamento

Figura 6 – Usina de Beneficiamento elaborado com software AutoCad 2015



Fonte: Autor

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho em andamento está sendo elaborado com material coletado na mina (ver figura 07 e 08), que consiste basicamente no beneficiamento do minério de menor valor econômico, pois não é considerado como rejeito já que todo cristal é comercializado, exceto aqueles que estão misturados e vão junto com o bota-fora. Os testes de beneficiamento foram estudados com pesquisas em site, artigos e todas as fontes de informações referentes ao ramo da mineração.

Figura 7 - Quartzo Cristalino



Fonte: Autor

Figura 8 - Quartzo Leitoso



Fonte: Autor

Após visitas realizadas no local verificou-se que a extração do bem mineral ocorre de forma simples e dinâmica, além do método de catação, utiliza uma escavadeira hidráulica. A mina escolhida para foco deste trabalho foi a Mina Manchão que possui a maior produção na Cooperativa (ver figura 09), que segue as seguintes coordenadas em UTM no *Datum* WGS 84 (E 698427.9 - S 8827487.41) respectivamente, consultadas no **Google Earth**.

Figura 9 - Mina Manchão do Felipe



Fonte: Autor

No decorrer do segundo semestre de 2015, foram feitas duas visitas no garimpo, para coleta de material e levantamento de dados. O primeiro roteiro foi primordial para que gerasse um resultado que nos encaminhasse para um procedimento mais acurado na execução do segundo roteiro, no entanto o trabalho foi desenvolvido em duas etapas:

1. Na primeira etapa foi desenvolvido, elaborando os dados com diferentes testes de beneficiamento:
  - Abrasividade – “Los Angeles”
  - Análise Granulométrica
  - Britagem e Moagem
  - Curva de partição
  - Determinação do Work Index – Wi, experimental.

Em quatro materiais: Quartzo Leitoso Natural (QLN), Quartzo Leitoso com Choque térmico de 300 °C (QLCT), Quartzo Cristalino Natural (QCN) e o Quartzo Cristalino com Choque Térmico de 300°C (QCCT), para ser posteriormente tratados com resultados estatísticos para afirmar matematicamente qual a melhor condição para execução de sua aplicação em Concretos Convencionais com Pós Reativos.

2. Na segunda etapa foi executado testes em outras condições. Com a britagem e moagem em apenas dois materiais: quartzo natural leitoso (QNL) e quartzo leitoso com choque térmico de 500 °C (QLCT), gerando planilhas e gráficos.

O fato de no segundo roteiro trabalhar apenas com quartzo leitoso é devido os resultados do cristalino e o leitoso manteve-se constantes aproximadamente. E também pelo foco no tema proposto.

### **3.1 Roteiro de Beneficiamento aplicado**

O beneficiamento começa desde a separação do minério associado á rocha encaixante, no caso do garimpo específico utiliza formas rudimentares e mecanizadas, seguindo o veio mineralizado. O quartzo impuro em estudo é um minério de menor valor econômico na região, o “quartzo impuro ou leitoso” que é comercializado á valores de até 30 centavos o kg. Essa classificação de minerais varia de região para região. Na cooperativa esse bem mineral é nomeado de semitransparente, ou seja, o quartzo translúcido.

Como o cristal de maior valor está sempre associado ao de menor valor, o roteiro de beneficiamento consiste em basicamente o transporte para fora da mina com uso de máquinas ou equipamentos manuais, lavagem, separação manual ou catação. Neste momento duas pilhas são formadas: quartzo leitoso ou impuro e cristais.

A classificação dos cristais é feita por um colaborador de vasta experiência (no caso específico da Mina Manchão do Felipe, que segue as seguintes coordenadas em UTM no Datum WGS 84 (E 698427.9 - S 8827487.41) respectivamente, consultadas no *Google Earth*, é feita pelo Sr. Guin, arrendatário do lote/mina), que seleciona cristais que tem valor por kg de 50, 00 (cinquenta reais) até R\$ 300,00 (trezentos reais) normalmente. Na escala abaixo dos R\$ 50,00 (cinquenta reais) até 0,70 (setenta centavos) são cristais que possuem grau de transparência menor. Segundo relatos do

arrendatário e garimpeiro cadastrado na cooperativa, foi encontrado um cristal de 48 kg avaliada e vendida por R\$ 30.000 (trinta mil reais) anos atrás.

Finalmente o mineral abaixo de 0,70 centavos, o quartzo leitoso, formam um volume bem maior, talvez a metade da produção. A proposta para o beneficiamento desta classe mineral é sugerida com um circuito fechado seguido dos seguintes estágios:

- Britagem primária (britador de mandíbulas);  
Obs: Não haverá necessidade de escalpe, pois o “Run Of Mine” transportado para fora da mina, numa praça que ocorrerá a lavagem com bomba hidráulica, para a separação e catação manual retirando 80 % do material argiloso impregnado na rocha de origem.
- Britagem secundária (britador de mandíbulas);
- Peneiramento (peneiras de dois decks);
- Moagem (moinho de bolas);
- Peneiramento (Peneiras de quatro decks);
- Pilha de Pó reativo;
- Ensacamento (á vácuo de 5 kg);

A proposta deste trabalho é buscar aplicação desse resíduo que tem o menor valor econômico, a partir de ensaios de beneficiamento para atingir o grau de liberação e caracterização tecnológica. Foram feitos levantamentos de custos a partir do Work Index (Wi) por tonelada e da relação Wi e consumo de kWh/t para determinar o consumo de kWh/t necessário para atingir o grau de liberação em concentrados de  $\text{SiO}_2$  para produção de pó reativo.

### 3.2 Pesquisa qualitativa

A pesquisa qualitativa focou principalmente a produtividade do quartzo na COOPERCRISTAL durante um período de produção no ano de 2015. A produção mineral nas duas maiores minas “Baixa e Manchão” gira em torno de 30.000 kg de quartzo por mês. Na cooperativa, são classificados 07 produtos (ver figura 10) para comercialização, sendo separados de acordo com sua cristalinidade:

Tabela 1 - Tipos de cristais e valores comercializados na cooperativa

<b>Tipo de Minério</b>	<b>Valor em R\$</b>
<b>1. Extra</b>	$\geq 200$

2. Limpo	180 á 150
3. Semi-limpo	100
4. Transparente	80 á 70
5. Semitransparente A	< 70 á 50
5.1 Semitransparente B	30, 15 e 10
6. Leitoso ou impuro	0,70 á 0,30

Fonte: Autor

Figura 10 – Amostras de cristais comercializados na Cooperativa. A (Limpo lapidado), B (Transparente bruto), C (Semi-limpo bruto), D (Pirita associada bruta), E (Ametista lapidada), F (Pirita bruta).



Fonte: Autor

A pesquisa abrange um período de produção entre janeiro a setembro de 2015. Dentro da Cooperativa os cristais de melhor qualidade variam até R\$ 300,00 (trezentos reais) normalmente, a sua qualidade (pureza, grau de cristalinidade, brilho, nº de faces e



tamanho) tem total influencia no seu preço. Geralmente são explotados 100 kg desse tipo de mineral por mês nas minas Manchão do Felipe e Baixa da Égua.

### **3.3. Materiais e tratamentos laboratoriais**

#### *3.3.1. Coleta*

Foram coletados amostras de quartzo cristalino e leitoso em média de 20 kg de cada mineral. Posteriormente foram encaminhados ao Laboratório de Beneficiamento de Rochas e Minerais do CEULP/ULBRA. As amostras foram coletadas em sacos plásticos, transparentes, com auxílio de martelo de geólogo e picareta. O padrão de coleta seguiu uma sequencia aleatória, sem nenhum tipo de malha específica.

#### *3.3.2. Secagem*

Após a coleta o material foi lavado para retirar do solo residual e deixado secar à temperatura ambiente e redução da umidade. Após 24 horas foram colocadas em bandejas e colocadas em estufa, permanecendo por mais 24 horas a 80 °C.

#### *3.3.3. Granulometria*

O material trabalhado foi com tamanho máximo de 50 mm, devido o britador ter um gape de 70 mm, sendo assim 80% de sua abertura máxima. Após a britagem primária, a classificação inicial foi feita com peneiras disponíveis no laboratório ( $\frac{3}{4}$ " até 200#). Sendo assim, todo o material utilizado foi submetido à britagem primária e posteriormente foi quarteado e estocado em lotes duplos para moagem. Na etapa 01 foi quarteado material para o choque térmico de 300°C para o leitoso e o cristalino. Na etapa 02 foi quarteado o material para o quartzo leitoso de 500°C e o natural.

#### *3.3.4. Homogeneização e quarteamento*

Para se executar o quarteamento é necessário fazer a homogeneização de todo produto, com a finalidade de que qualquer alíquota da amostra global seja representativa.

Na primeira etapa foi utilizada a massa da amostra global passante de  $\frac{3}{4}$ " é de 7,628,2g para o quartzo leitoso e 7484,4g para o quartzo cristalino. Por essa massa total de cada AM, foi feita a homogeneização em pilha cônica. A AMQL (amostra de quartzo leitoso) foi despejada em uma pilha em forma de cone. Após esse procedimento foi

recolhido com uma pá específica no sentido anti-horário de até esgotar a pilha e formando assim outro cone. Esse processo foi repetido por cinco vezes.

Após esse procedimento de homogeneização, a amostra foi quarteada por duas vezes, dividindo a pilha em quatro partes iguais. Foi numerada no sentido anti-horário de 01 a 04. As amostras pares eram separadas em sacos plásticos e o restante do material formava uma nova pilha que era dividida novamente e numeradas no mesmo sentido, só que agora separava as partes ímpares e colocavam em sacos plásticos. As partes pares que restou, representava a amostra global e foi com elas que foi levantado os dados para determinação do Wi (*Work Index*). Esse roteiro de homogeneização e quarteamento foram executados nas duas AM, do quartzo leitoso e o cristalino. O objetivo principal do quarteamento é a homogeneização do produto seco.

Na etapa 02 seguiu-se o mesmo roteiro, com a diferença que foi trabalhado com amostra de 500°C e com a massa inicial de 8518,9 g, onde foram quarteada duas vezes, gerando oito pilhas sendo 04 para a repetição do WI no QLN, e as outras 04 pilhas para repetição do WI no QLCT de 500°C.

Na segunda etapa houve uma repetição de quatro ciclos em cada amostra, ou seja, trinta e dois ciclos. Cada circuito de operação durava em média 25 minutos. A metodologia aplicada foi com intuito de ter representatividade nos resultados do WI, e comparar se a amostra com choque térmico realmente produz mais pó reativo na operação.

### 3.4. Calculo da densidade relativa

O calculo de densidade foi realizado por picnometria, através da seguinte fórmula:

$$d = \frac{(P_{pm} - P_p)}{2P_{pa} + P_{pm} - P_p - P_{pma}} \text{ g/cm}^3$$

- d = densidade
- P<sub>p</sub> = peso do picnômetro minério
- P<sub>pm</sub> – Peso do picnômetro mais minério
- P<sub>pa</sub> = Peso do Picnômetro mais agua
- P<sub>pma</sub> = Pesos do picnômetro mais minério mais água

### 3.5. Choque Térmico

Através de uma técnica denominada de “*Quenching*”, que consiste em tratamento térmico no quartzo, e tem o objetivo de diminuir o tempo de ciclo do moinho e gerar mais finos, foi feita um choque térmico nas duas amostras QLN e QCN. Após a retirada da umidade, as amostras foram para mufla com velocidade de 1,7 °C por minuto, ou seja, a cada hora subia 100 °C até atingir a temperatura máxima de 300 °C. No final, com um recipiente de 5 litros de água a temperatura ambiente, era despejado diretamente em cada amostra.

Na segunda etapa foi feita com quartzo leitoso em mesmo procedimento, diferenciando apenas para 500°C.

### 3.6. Estimativa de estéril x minério

Com a finalidade de obter-se uma estimativa de quantidade de quartzo nas pilhas de bota fora, foram coletados duas amostras em pontos distintos no bota fora Manchão (ver figura 11). A distribuição granulométrica é apresentada em resultados e discursões.

Figura 11 - Estéril



Fonte: Autor

### 3.7. Teste abrasão “Los Angeles” de agregado graúdo

Na busca de conhecer o potencial de desgastes dos quartzos trabalhados, foram feito o teste em equipamento específico de abrasão, no QLN e QCN para a possível aplicação em pavimentação asfáltica.

Segundo DNER-ME (1998), o ensaio de Los Angeles de agregado graúdo, é um procedimento específico que determina o desgaste que ocorre no corpo da rocha em contato com esferas geralmente constituídas de ligas de aço em sua composição. Quando o moinho operado á um número X de voltas em um intervalo de tempo (revoluções x rotação por minuto). O numero de voltas e o passante na peneira de 1,7mm são registradas efeito da porcentagem de abrasividade.

Em seguida serão apresentados os resultados para cada minério. Os equipamentos e materiais utilizados foram:

- Balança de 16 kg com sensibilidade de 1g;
- 12 esferas de 47,6 mm, com peso total de 5000g;
- Estufa á 100 °C;
- Maquina “Los Angeles”;
- Peneiras de 1,7; 2; 2,4; 4,8; 6,3; 9,5; 12,5 e 19”.
- Bandejas;
- Colher retangular;
- Pincel, e
- Sacos plásticos de 1kg.

Os procedimentos adotados nas duas amostras foram os mesmos. Primeiro foi selecionado a classificação de acordo com a granulometria que mais se aproxima da que será utilizada na obra. Adicionou-se a amostra QLN primeiro e depois o QCN, com uma massa de 4.526 e 4550g respectivamente, Fixou-se a tampa na máquina com 06 parafusos 5/8”, calibrou com 600 revoluções e iniciou-se o ciclo do equipamento. Em média a máquina mantinha uma velocidade periférica de 30 voltas por minuto.

O próximo passo após completar o ciclo de revoluções, será de aguardar a parada automática do moinho de bolas. Com auxílio de uma chave 3/4”, a tampa é retirada, a bandeja é posicionada abaixo da boca do moinho, que é girado para que nada caísse fora, inclusive as esferas.

Após a limpeza das bolas, o material passava por uma classificação granulométrica. A massa na peneira de 1,7 mm era registrada para efeito do cálculo de abrasão. A fórmula consiste em:

$$A_n = m_n - m_n / m'_n \times 100 \text{ onde,}$$

$A_n$  é a abrasão Los Angeles da graduação  $n$ , com aproximação de 1%,  
 $n$  é a graduação (A, B, C, D E, F, ou G), escolhida para o ensaio,  
 $m_n$  é a massa total da amostra seca, colocada na maquina,  
 $m'_n$  é massa da amostra lavada e seca, após o ensaio (retida na peneira 1,7mm).

### 3.8. Work Index

Foram utilizados no moinho uma carga moedora de 17 bolas de 36 mm; 26 bolas de 30 mm; 4 bolas de 25,4mm; 27 bolas de 20,2 mm e 35 bolas de 16,8 mm (ver figura 12).

Figura 12 - Carga moedora utilizada



Fonte: Autor

Com uso de uma proveta foi adicionado o material e registrada a sua graduação em ml, que após pesagem registrou-se a massa das amostra quarteada. Em seguida foi adicionada ao moinho, para determinar o passante de 200 mesh a cada ciclo de moagem.

O numero de ciclo estabilizava quando o passante de 200 *mesh* tornava-se constante. Em média as 48 amostras estabilizava entre 3 e 4 ciclos.

O moinho estava calibrado com uma potência de 150 rpm, e 200 voltas em 02,87 minutos, ou seja, 02 minutos e 52 segundos.

A cada ciclo era registrada a curva granulométrica, ou seja, o retido nas peneiras até o fundo (abaixo de 200#), antes e depois da moagem, além da carga circulante de reposição.

No total foram feitos 48 ciclos que duravam um tempo de operação de 25 minutos cada.

### 3.9. Análise de Difração de Raio X - DRX em quartzo leitoso e cristalino com choque térmico.

As amostras Quartzo Leitoso e Quartzo Cristalino com choque térmico de 300°C foram submetidas a análises de DRX em aparelho portátil. Os picos de quartzo com choque térmico de 300 °C serão apresentados em seguida.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. Densidade relativa

Cálculos:

Tabela 2 - Densidade relativa\_Cálculos

Picnometro 01	A <sub>11</sub> = 41,26	A <sub>12</sub> = 42,73	A <sub>13</sub> = 99,20	A <sub>14</sub> = 98,31
---------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------

$$\rho = 42,73 - 41,26 / ((42,73 + 98,31) - (41,26 + 99,20)) \rho = 2,53 \text{ g/cm}^3$$

Picnometro 02	A <sub>11</sub> = 34,39	A <sub>12</sub> = 36,05	A <sub>13</sub> = 89,52	A <sub>14</sub> = 88,51
---------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------

- $\rho = 2,55 \text{ g/cm}^3$

Picnometro 03	A <sub>11</sub> = 33,44	A <sub>12</sub> = 34,64	A <sub>13</sub> = 98,28	A <sub>14</sub> = 97,55
---------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------

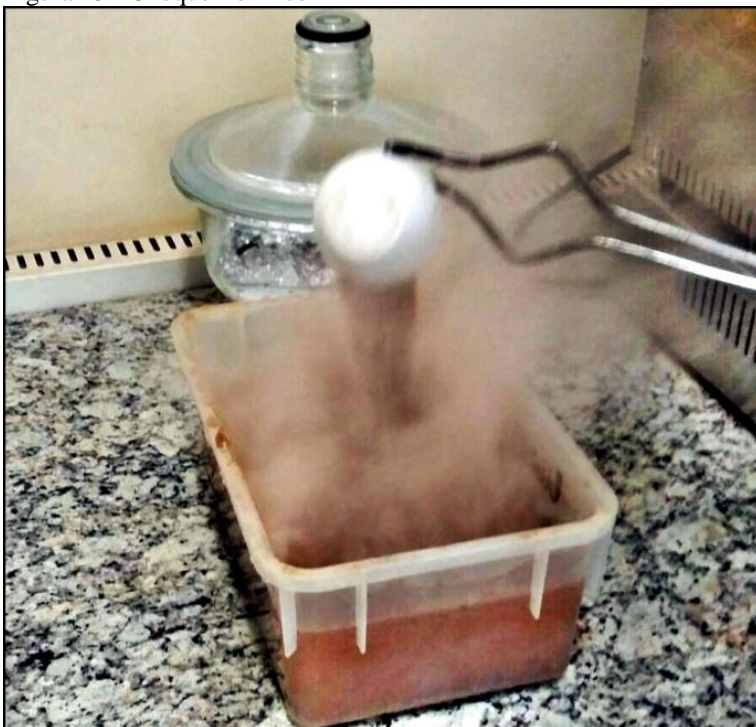
- $\rho = 2,55 \text{ g/cm}^3$

Portanto a média das densidades = **2,54 g/cm<sup>3</sup>**.

### 4.2. Choque Térmico

Com o objetivo de diminuir o tempo de ciclo do moinho e gerar mais finos, foi feita um choque térmico nas duas amostras QLN e QCN. Após a retirada da umidade, as amostras foram para mufla para rampa de aquecimento ascendente, com velocidade de 1,7 °C por minuto, ou seja, a cada hora elevava 100 °C até atingir a temperatura máxima de 300 °C. No final, com um recipiente de 5 litros de água a temperatura ambiente, era despejado diretamente em cada amostra. Na segunda etapa foi feita com quartzo leitoso em mesmo procedimento, diferenciando apenas para 500°C. A rampa de aquecimento

Figura 13 - Choque Térmico



Fonte: Autor

#### 4.3. Estimativa de estéril x minério

Após a classificação granulométrica foi constatado que na mina do manchão, representaram um teor médio de 56.82 % de fragmentos de quartzo no tamanho entre 1” a 12 # (ver figura abaixo). A distribuição granulométrica é apresentada conforme a tabela abaixo.

Figura 14 - Cristais Retido nas Peneiras



Fonte: Autor

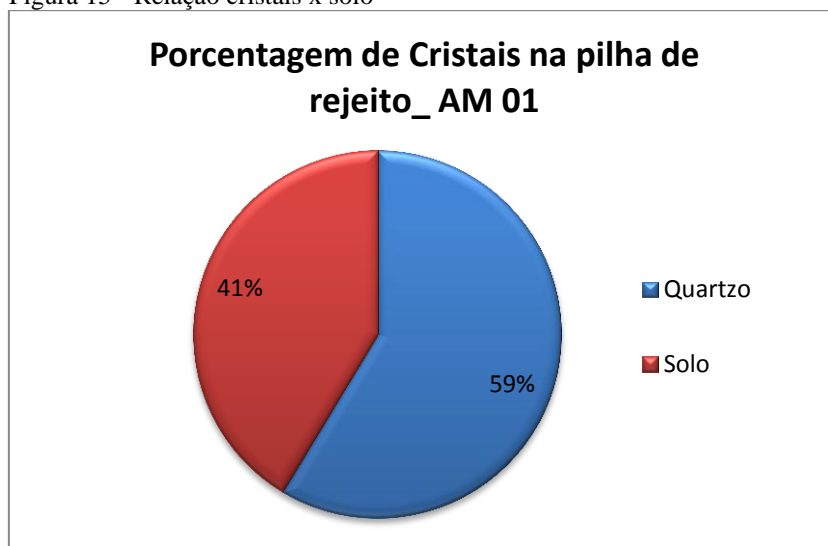
➤ Ponto 01:

Tabela 3 Pilha 01 de Estéril

Fração		Amostra 01_Pilha de estéril_Distrib. Granulometrica			
Pol	Fração mm	Massa (g)	Massa (%)	Retido (%)	Passante (%)
1"	25.4	1248.1	21.927	21.927	78.073
3/4"	19.4	289.4	5.084	27.011	72.989
1/2"	12.5	361.3	6.347	33.359	66.641
3/8"	9.5	148.4	2.607	35.966	64.034
1/4"	6.3	361.9	6.358	42.324	57.676
4#	4.724	227.3	3.993	46.317	53.683
8#	2.38	412.0	7.238	53.555	46.445
12#	1.68	288.7	5.072	58.627	41.373
< 12#	0	2355.0	41.373	100.000	0.000
Total =		5692.1			

Fonte: Autor

Figura 15 - Relação cristais x solo



Fonte: Autor

➤ Ponto 02

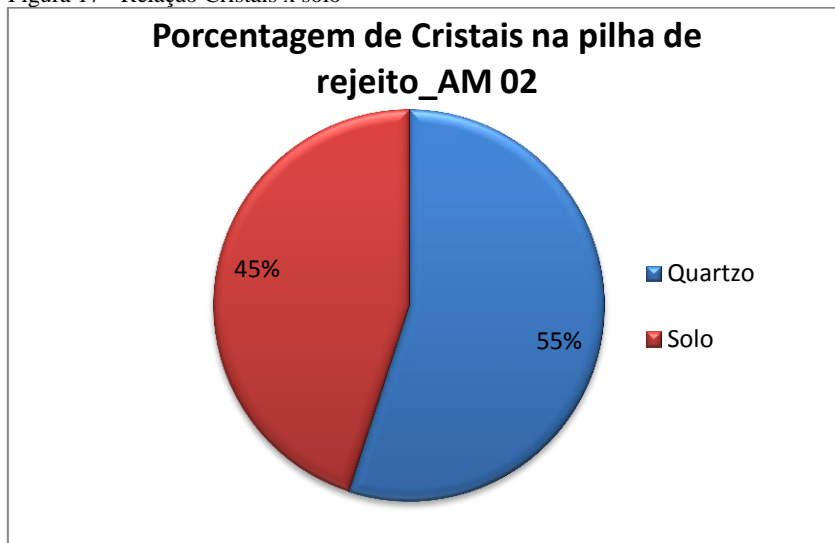
Figura 16 - Am 02 da Pilha de estéril

Fração		Amostra 02_Pilha de estéril_Distrib. Granul.			
Pol	Fração mm	Massa (g)	Massa (%)	Retido (%)	Passante (%)
1"	25.4	1680.9	24.496	24.496	75.504
3/4"	19.4	145.7	2.123	26.619	73.381
1/2"	12.5	176.5	2.572	29.192	70.808
3/8"	9.5	181.4	2.644	31.835	68.165
1/4"	6.3	281.4	4.101	35.936	64.064
4#	4.724	156.3	2.278	38.214	61.786
8#	2.38	682.0	9.939	48.153	51.847
12#	1.68	470.7	6.860	55.012	44.988
< 12#	0	3087.0	44.988	100.000	0.000
		6861.9			

Fonte: Autor



Figura 17 - Relação Cristais x solo



Fonte: Autor

#### 4.4. Teste abrasão “Los Angeles” de agregado graúdo

As amostras também foram submetidas ao ensaio Los Angeles (figura 18 abaixo) para o potencial de resistência aos desgastes dos quartzos trabalhados, para a possível aplicação em pavimentação asfáltica.

Figura 18 - Máquina de Teste de Abrasão



Fonte: Autor

Adicionou-se a amostra QLN primeiro e depois o QCN, com uma massa de 4.526 e 4550g respectivamente; fixou-se a tampa na máquina com 06 parafusos 5/8”; calibrou com 600 revoluções e iniciou-se o ciclo do equipamento. Em média a máquina mantinha uma velocidade periférica de 30 voltas por minuto. Após completar o ciclo de revoluções, e com auxílio de uma chave 3/4”, a tampa é retirada, a bandeja é posicionada

abaixo da boca do moinho, que é girado para que nada caísse fora, inclusive as esferas (ver figura 19).

Figura 19 - Carga abrasiva pós revoluções




Fonte: Autor

Após a limpeza das bolas, o material passava por uma classificação granulométrica. A massa na peneira de 1,7 mm era registrada para efeito do cálculo de abrasão.

#### 4.4.1. Com QLN

O ensaio de abrasão com o quartzo leitoso natural gerou resultado não satisfatório para aplicação em obras rodoviárias, pois de acordo com resultados obtidos a partir da formula mencionada anteriormente o desgastes foi maior que 45% (ver figura 15), ou seja, o resultado exato de 50,75%.

Figura 20 - Relatório Técnico do Ensaio de Abrasão para QLN

	Relatório de Técnico	Documento Nº 0296/2015
	Fone: (63) 8461-6842	Data de emissão 22/09/2015

## ENSAIO DE ABRASÃO - EA NBR NM 51/2000

<b>Interessado:</b> Marcos André de Jesus Lima - Acadêmico de de Eng. De Minas	<b>Endereço:</b> 706 sul, alameda 08, lote 14.	<b>Data:</b> 22/09/2015
<b>Class. Geológica:</b> Quartzo Leitoso	<b>Procedência:</b> COOPERCRIстал	<b>Estudo:</b> TSS

PENEIRAS		FRAÇÕES DA MOSTRA ANTES DO ENSAIO				FRAÇÕES DA MOSTRA APÓS DO ENSAIO			
Passando mm(pol.)	Retido mm(pol.)	Graduação A	Graduação B	Graduação C	Graduação D	Graduação A	Graduação B	Graduação C	Graduação D
38(1. 1/2)	25 (1')	1.250±25							
25 (1")	19(3/4")	1.250±25							
19(3/4")	12.7(1/2")	1.250±25	2.500±50				157.3		
12.7(1/2")	9.5(3/8")	1.250±25	2.500±50				2071.8		
9.5(3/8")	6.3(1/4")			2.500±50					
6.3 (1/4")	4.8(N°4)			2.500±50					
4.8(N°4)	2.4(N8)				5000±100				
Carga Abrasiva	12 esferas 5.000 ± 25	11 esferas 4.584 ± 25	8 esferas 3.330 ± 25	6 esferas 2.500 ± 25					
Peso Total		4,526					2,229.10		
Peso Retido # 1.7mm							2,229.10		
CÁLCULO DA ABRASÃO	$n\% = 100 \times (P_n - P'_n) / P_n(\%) =$						50.75		

**OBSERVAÇÃO:** A amostra ensaiada não atende a especificação p/ obras rodoviárias, pois o desgaste foi maior que 45%.


*Miller Pereira Almeida*  
Técnico Laboratório II  
Especializado  
Geotecnia / Concreto

Fonte: Autor

#### 4.4.2.Com QCN

O ensaio de abrasão com o quartzo cristalino natural, apesar de ter aproximado do ideal, não gerou resultado satisfatório para aplicação em obras rodoviárias, pois de acordo com resultados obtidos a partir da formula mencionada anteriormente o desgastes foi maior que 45% (ver figura 16), ou seja, o resultado exato de 47,49 %.

Figura 21 - Relatório Técnico do Ensaio de Abrasão para QCN

	Relatório de Técnico	Documento Nº 0297/2015
	Fone: (63) 8461-6842	Data de emissão 22/09/2015

## ENSAIO DE ABRASÃO - EA NBR NM 51/2000

<b>Interessado:</b> Marcos André de Jesus Lima - Acadêmico de Eng. De Minas.	<b>Endereço:</b> 706 Sul, Alameda 08, Lote 14	<b>Data:</b> 22/09/2015
<b>Class. Geológica:</b> Quartzo Cristalino	<b>Procedência:</b> COOPERCRISTAL	<b>Estudo:</b> TSS

PENEIRAS		FRAÇÕES DA MOSTRA ANTES DO ENSAIO				FRAÇÕES DA MOSTRA APÓS DO ENSAIO			
Passando mm(pol.)	Retido mm(pol.)	Graduação A	Graduação B	Graduação C	Graduação D	Graduação A	Graduação B	Graduação C	Graduação D
38(1. 1/2')	25 (1')	1.250±25							
25 (1")	19(3/4")	1.250±25							
19(3/4")	12.7(1/2")	1.250±25	2.500±50				227.1		
12.7(1/2")	9.5(3/8")	1.250±25	2.500±50				2161.9		
9.5(3/8")	6.3(1/4")			2.500±50					
6.3 (1/4")	4.8(Nº4)			2.500±50					
4.8(Nº4)	2.4(N8)				5000±100				
Carga Abrasiva		12 esferas 5.000 ± 25	11 esferas 4.584 ± 25	8 esferas 3.330 ± 25	6 esferas 2.500 ± 25				
Peso Total			4,550				2,389.00		
Peso Retido # 1.7mm							2,389.00		
CÁLCULO DA ABRASÃO		$n\% = 100 \times (P_n - P'_n) / P_n(\%) =$					47.49		

**OBSERVAÇÃO:** A amostra ensaiada não atende a especificação p/ obras rodoviárias, pois o desgaste foi maior que 45%.

*Miller Pereira Almeida*  
Técnico Laboratório II  
Especializado  
Geotecnia / Concreto

Fonte: Autor

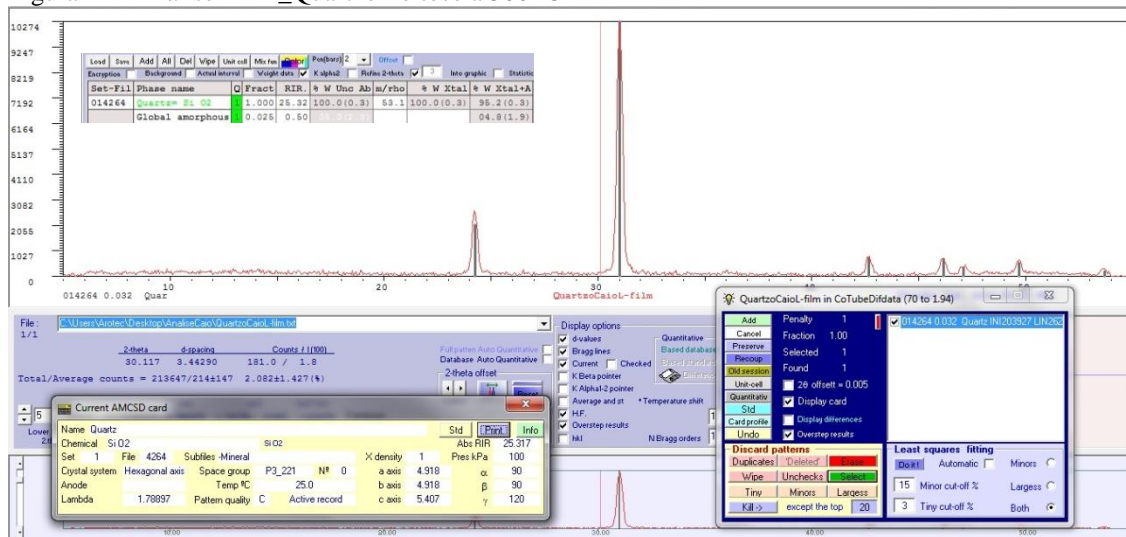
#### 4.5. Análise de Difração de Raio X - DRX em quartzo leitoso e cristalino com choque térmico

No intuito de caracterizar as duas amostras para comparar os resultados físicos dos mineralógicos, as amostras foram preparadas com choque térmico à 300 °C, e cominuída até atingir uma alíquota de 10g de dimensões inferiores de 75 µm para ser caracterizada. As amostras foram encaminhada para caracterização em DRX na empresa OLYMPUS em Belo Horizonte. A composição de SiO<sub>2</sub> nas duas amostras (quartzo leitoso e cristalino), houve picos de variações constantes, conforme as imagens abaixo.

#### 4.5.1. Quartzo Leitoso a 300 °C

Na figura seguinte, é exposto o resultado da difração de raios – X do quartzo leitoso submetido ao choque térmico à 300 °C.

Figura 22 - Análise DRX\_Quartzo Leitoso a 300 °C

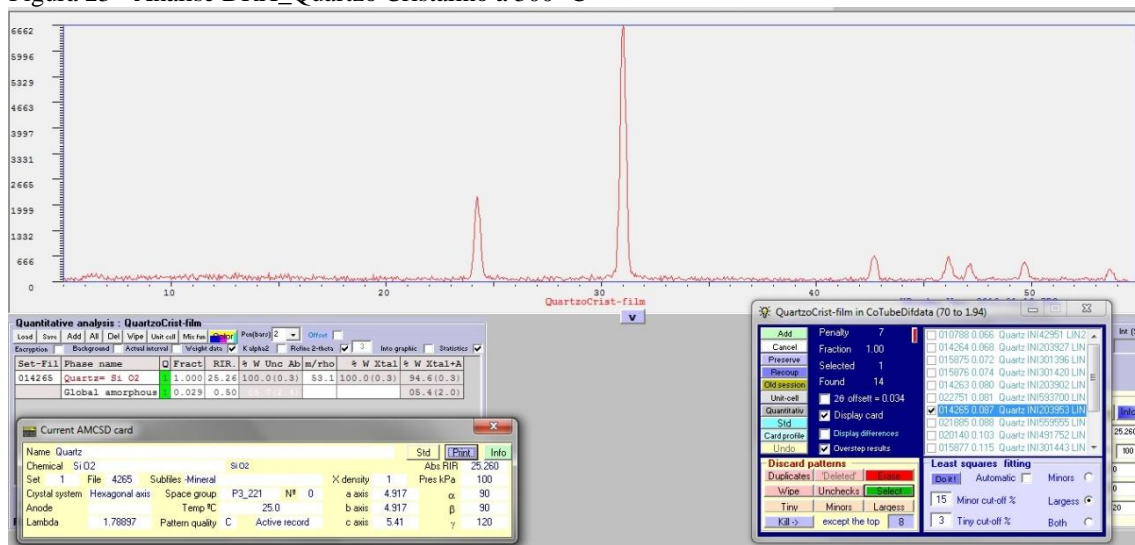


Fonte: Aparelho portátil da empresa OLYMPUS

Na difração podemos observar que a amostra é composta, através da análise semi-quantitativa (figura acima), em uma parcela majoritária de 96,2% de SiO<sub>2</sub> e demais percentuais representando fases amorfas.

#### 4.5.2. Quartzo Cristalino á 300 °C

Figura 23 - Análise DRX\_Quartzo Cristalino á 300 °C



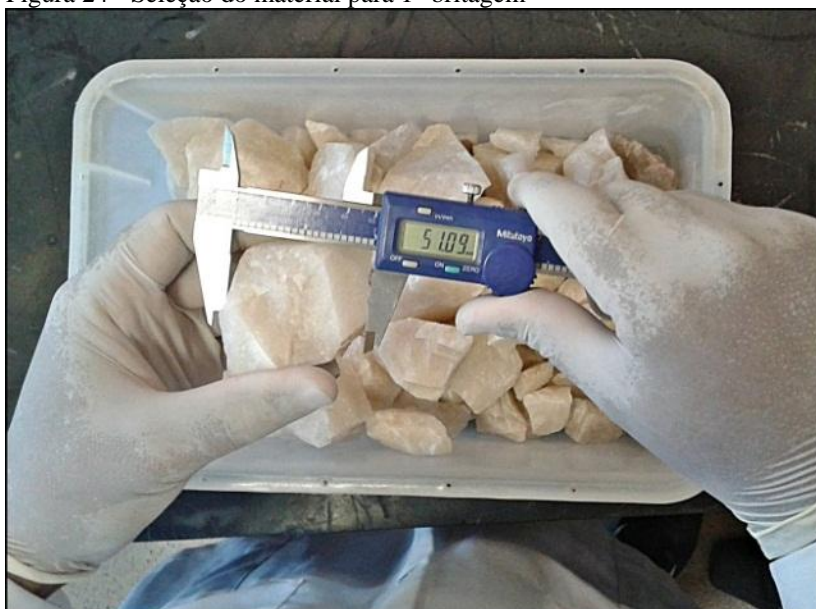
Fonte: Aparelho portátil da empresa OLYMPUS

Podemos discernir que a amostra se trata do mesmo percentual da amostra anterior, porém ocorre uma alteração nos eixos da estrutura mineral. Onde os eixos a, b e c demonstram um valor de 4,917 (eixo a); 4,917 (eixo b) e 5,41 (eixo c) enquanto a amostra de quartzo leitoso apresenta os eixos com valores de 4,918; 4,918 e 5,807 respectivamente. As propriedades em ambos os quartzos, não tiveram tanta relevância em termos de estruturas, apenas a qualidade da gema, analisando a amostra visualmente.

## 5.6. Work Index

Para a determinação do  $W_i$ , foram selecionadas amostras com tamanho médios de 50 mm (80 % do gape do britador), e posteriormente o circuito de moagem (ver figura 24 abaixo)

Figura 24 - Seleção do material para 1° britagem



Fonte: Autor

Para o circuito de moagem foram preparadas amostras homogêneas e posteriormente quarteadas (Ver figura 25 abaixo).

Figura 25 - Homogeneização do Material



Fonte: Autor

Abaixo será apresentado os resultados de britagem e moagem em amostra do quartzo leitoso. Após registrar a massa contidas em 175 ml da proveta graduada neste caso em média para cada amostra foi de 322.5 g e depois adicionada ao moinho (ver figura 24 abaixo).

Figura 26 - Adição de QLN



Fonte: Autor

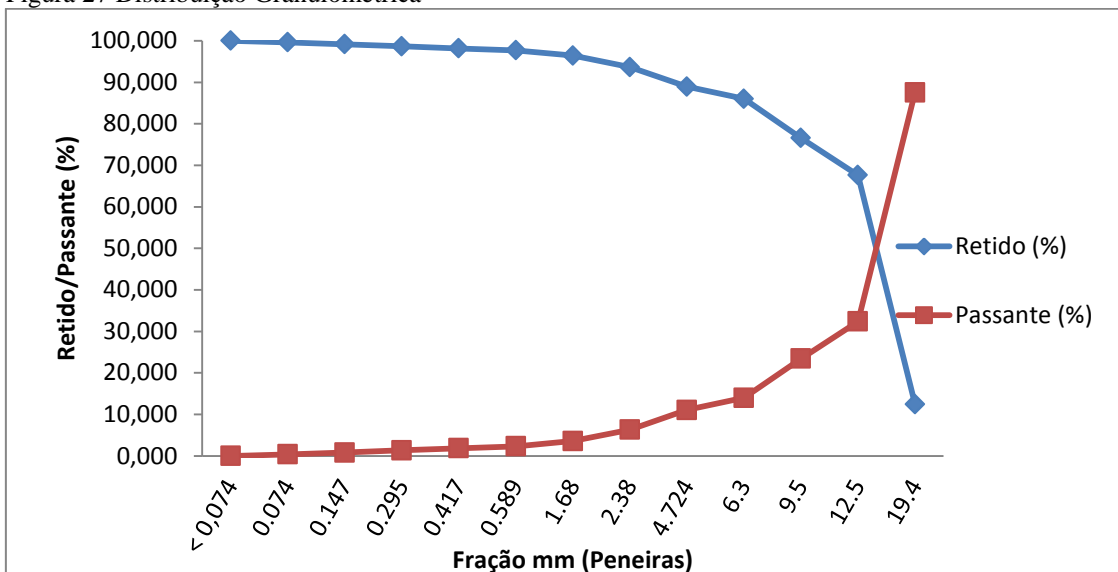
➤ 1° Britagem do Quartzo leitoso

Tabela 4 - 1° Britagem do QL

Fração		1° Britagem_Distribuição Granulométrica			
Pol	mm	Massa (g)	Massa (%)	Retido (%)	Passante (%)
3/4"	19.4	1060.0	12.443	12.443	87.557
1/2"	12.5	4700.0	55.171	67.614	32.386
3/8"	9.5	762.0	8.945	76.559	23.441
1/4"	6.3	806.2	9.464	86.023	13.977
4#	4.724	247.7	2.908	88.930	11.070
8#	2.38	403.0	4.731	93.661	6.339
14#	1.68	235.0	2.759	96.420	3.580
28#	0.589	109.0	1.280	97.699	2.301
35#	0.417	40.0	0.470	98.169	1.831
48#	0.295	42.0	0.493	98.662	1.338
100#	0.147	44.0	0.516	99.178	0.822
200#	0.074	37.0	0.434	99.613	0.387
< 200#	< 0,074	33.0	0.387	100.000	0.000
	Massa =	8518.9			

Fonte: Autor

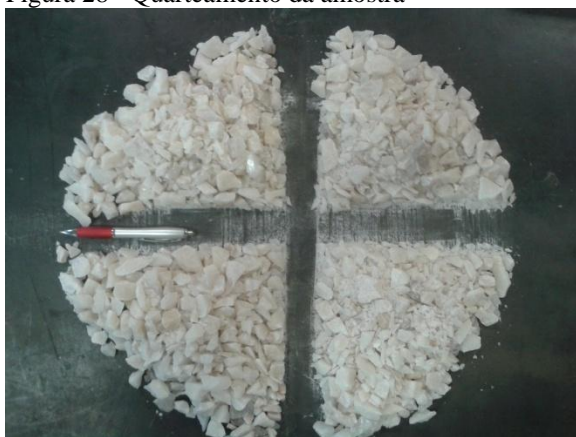
Figura 27 Distribuição Granulométrica



Fonte: Autor

Após a classificação granulométrica a amostra foi quarteada, sendo que a pilha 01 e 03 foi destinada para o choque térmico de 500 °C e a pilha 02 e 04 para teste natural. Abaixo será apresentado os gráficos de ensaio de moagem e os resultados de wi.

Figura 28 - Quarteamento da amostra



Fonte: Autor

Figura 29 - Pilha pares para test do QNL



Fonte: Autor



## 5.6.1 Moagem do quartzo leitoso natural

## ➤ Pilha 01

Tabela 5 - Distribuição Granulométrica

Fração		Pilha 1_Distribuição Granulométrica Moagem QLN			
Pol	mm	Massa (g)	Massa (%)	Retido (%)	Passante (%)
3/8"	9.5	63.56	19.424	19.424	80.576
1/4"	6.3	89.31	27.293	46.716	53.284
8#	2.38	80.42	24.576	71.292	28.708
12#	1.68	17.6	5.378	76.671	23.329
28#	0.01	15.3	4.676	81.346	18.654
48#	0.0177	12.1	3.698	85.044	14.956
100#	0.037	13.89	4.245	89.289	10.711
200#	0.074	17.98	5.495	94.783	5.217
< 200#	< 0,074	17.07	5.217	100.000	0.000
Massa =		327.23			

Fonte: Autor

Tabela 6 - Ciclos Am 01

Fração		AM 1_Ciclos_(g)			
Pol	Fração mm	1°	2°	3°	4°
3/8"	9.5	57.79	51.34	47.66	53.09
1/4"	6.3	87.35	86.92	85.21	72.89
8#	2.38	82.35	75.16	69.66	68.15
12#	1.68	16.71	23.18	18.97	14.85
28#	0.01	16.18	21.36	17.04	13.84
48#	0.0177	11.74	11.55	9.8	7.99
100#	0.037	12.54	12.64	13.02	11.1
200#	0.074	16.96	21.79	24.33	26.75
< 200#	< 0,074	21.8	16.94	16.8	16.31
Massa =		323.42		Média =	16.68333333

Fonte: Autor

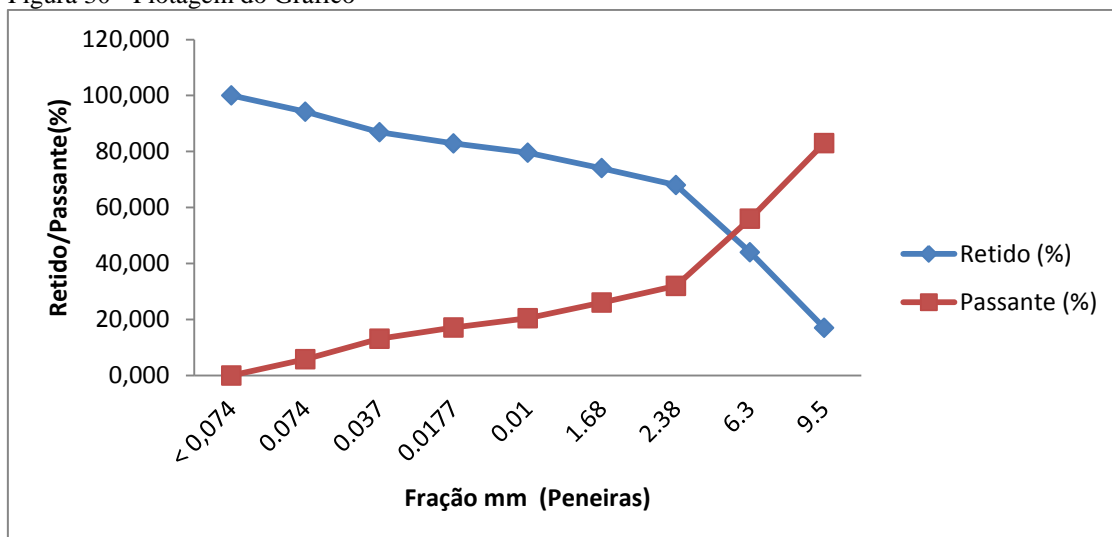
Tabela 7 - Média dos ciclos

MÉDIAS DOS CICLOS			
Média (g)	Massa (%)	Retido (%)	Passante (%)
52.470	17.039	17.039	82.961
83.093	26.983	44.022	55.978
73.830	23.975	67.998	32.002
18.428	5.984	73.982	26.018
17.105	5.555	79.537	20.463
10.270	3.335	82.872	17.128
12.325	4.002	86.874	13.126
22.458	7.293	94.167	5.833

17.963	5.833	100.000	0.000
<b>307.940</b>			

Fonte: Autor

Figura 30 - Plotagem do Gráfico



Fonte: Autor

### ➤ Pilha 02

Tabela 8 - Pilha 2\_Distribuição

Fração		Pilha 2_Distribuição Granulométrica QLN			
Pol	mm	Massa (g)	Massa (%)	Retido (%)	Passante (%)
3/8"	9.5	65.2	20.497	20.497	79.503
1/4"	6.3	75.6	23.766	44.263	55.737
8#	2.38	73.1	22.980	67.243	32.757
12#	1.68	18.9	5.942	73.185	26.815
28#	0.01	23.2	7.293	80.478	19.522
48#	0.0177	15.5	4.873	85.351	14.649
100#	0.037	14.5	4.558	89.909	10.091
200#	0.074	13.6	4.275	94.184	5.816
< 200#	< 0,074	18.5	5.816	100.000	0.000
Massa =		318.1			

Fonte: Autor

Tabela 9 - AM 2\_Ciclos

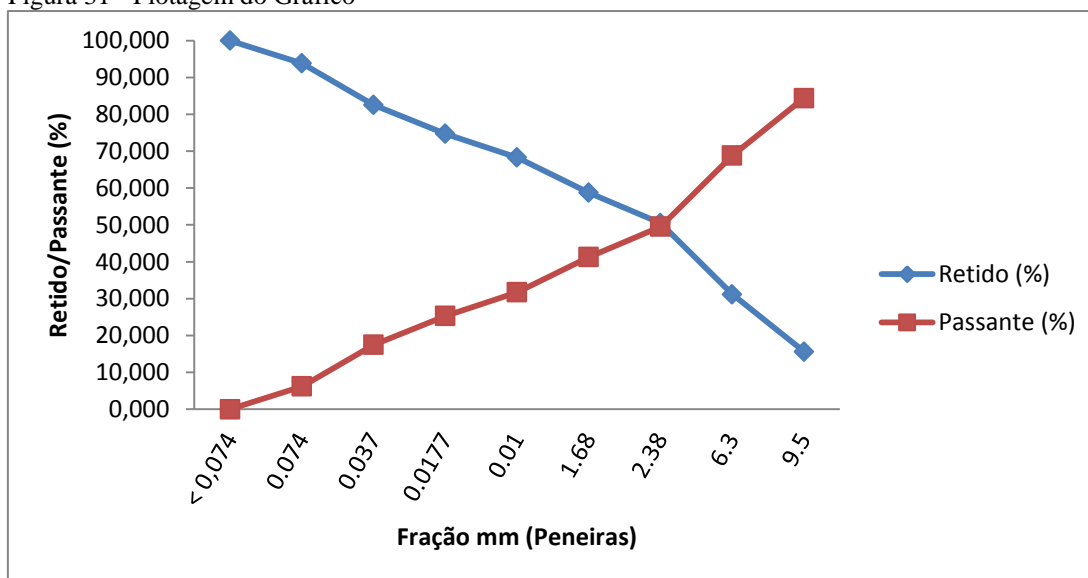
Fração		AM 2_Ciclos_(g)			
Pol	Fração mm	1°	2°	3°	4°
3/8"	9.5	61.97	48.1	42.53	42.31
1/4"	6.3	43.64	49.74	52.8	48.24
8#	2.38	63.88	62.89	57.79	56.38

<b>12#</b>	1.68	20.4	25.99	26.42	30.27
<b>28#</b>	0.01	26.35	29.38	30.84	32.82
<b>48#</b>	0.0177	24.05	20.36	17.3	18.61
<b>100#</b>	0.037	22.98	24.97	24.91	24.7
<b>200#</b>	0.074	25.74	32.28	40.72	41.99
<b>&lt; 200#</b>	< 0,074	24.76	17.72	17.93	17.1
	Massa =	313.77		Média =	17.58333333

<b>Média (g)_Ciclos</b>	<b>Massa (%)</b>	<b>Retido (%)</b>	<b>Passante (%)</b>
<b>48.728</b>	15.607	15.607	84.393
<b>48.605</b>	15.568	31.175	68.825
<b>60.235</b>	19.293	50.468	49.532
<b>25.770</b>	8.254	58.722	41.278
<b>29.848</b>	9.560	68.281	31.719
<b>20.080</b>	6.431	74.713	25.287
<b>24.390</b>	7.812	82.525	17.475
<b>35.183</b>	11.269	93.794	6.206
<b>19.378</b>	6.206	100.000	0.000
<b>312.215</b>			

Fonte: Autor

Figura 31 - Plotagem do Gráfico



Fonte: Autor

➤ Pilha 03

Tabela 10 - Pilha 3\_Distribuição Granulométrica

<b>Fração</b>		<b>Pilha 3_Distribuição Granulométrica QLN</b>			
<b>Pol</b>	<b>mm</b>	<b>Massa (g)</b>	<b>Massa (%)</b>	<b>Retido (%)</b>	<b>Passante (%)</b>
<b>3/8"</b>	9.5	92.3	28.532	28.532	71.468
<b>1/4"</b>	6.3	77.6	23.988	52.519	47.481

<b>8#</b>	2.38	67.1	20.742	73.261	26.739
<b>12#</b>	1.68	19.1	5.904	79.165	20.835
<b>28#</b>	0.01	17.3	5.348	84.513	15.487
<b>48#</b>	0.0177	12.5	3.864	88.377	11.623
<b>100#</b>	0.037	11	3.400	91.777	8.223
<b>200#</b>	0.074	14.9	4.606	96.383	3.617
<b>&lt; 200#</b>	< 0,074	11.7	3.617	100.000	0.000
	Massa =	323.5			

Fonte: Autor

Tabela 11 - AM 3\_Ciclos

Fração		AM 3_Ciclos_(g)			
Pol	Fração mm	1°	2°	3°	4°
<b>3/8"</b>	9.5	97.01	94.33	80	84.19
<b>1/4"</b>	6.3	82.86	72.06	81.86	67.13
<b>8#</b>	2.38	65.65	64.94	60.77	62.75
<b>12#</b>	1.68	15.06	16.91	18.87	19.69
<b>28#</b>	0.01	13.7	17.46	18.97	20.24
<b>48#</b>	0.0177	9.14	9.35	10.07	10.27
<b>100#</b>	0.037	9.84	10.55	11.96	12.25
<b>200#</b>	0.074	12.83	18.57	20.65	23.46
<b>&lt; 200#</b>	< 0,074	15.83	16.37	17.02	16.89
	Massa =	321.92		Média =	16.76

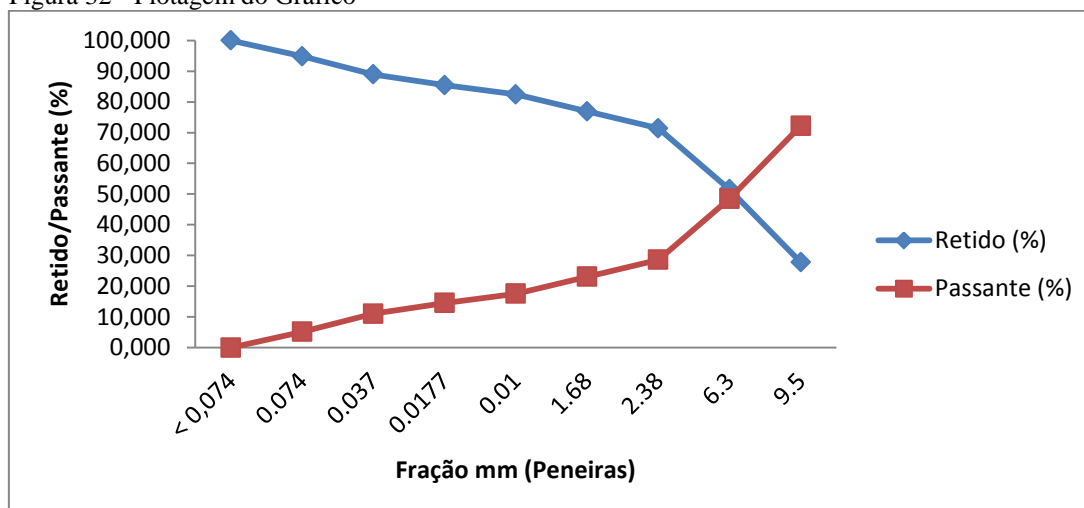
Fonte: Autor

Tabela 12 - MÉDIAS DOS CICLOS

MÉDIAS DOS CICLOS			
Média (g)_Ciclos	Massa (%)	Retido (%)	Passante (%)
<b>88.883</b>	27.787	27.787	72.213
<b>75.978</b>	23.752	51.539	48.461
<b>63.528</b>	19.860	71.399	28.601
<b>17.633</b>	5.512	76.911	23.089
<b>17.593</b>	5.500	82.411	17.589
<b>9.708</b>	3.035	85.446	14.554
<b>11.150</b>	3.486	88.932	11.068
<b>18.878</b>	5.902	94.833	5.167
<b>16.528</b>	5.167	100.000	0.000
<b>319.875</b>			

Fonte: Autor

Figura 32 - Plotagem do Gráfico



➤ Pilha 04

Tabela 13 - Pilha 4\_Distribuição Granulométrica

Pilha 4_Distribuição Granulométrica QLN					
Pol	Fração mm	Massa (g)	Massa (%)	Retido (%)	Passante (%)
3/8"	9.5	88.8	27.898	27.898	72.102
1/4"	6.3	67.2	21.112	49.010	50.990
8#	2.38	78.5	24.662	73.673	26.327
12#	1.68	17.3	5.435	79.108	20.892
28#	0.01	15.6	4.901	84.009	15.991
48#	0.0177	12.4	3.896	87.904	12.096
100#	0.037	13.1	4.116	92.020	7.980
200#	0.074	13.5	4.241	96.261	3.739
< 200#	< 0,074	11.9	3.739	100.000	0.000
Massa =		318.3			

Fonte: Autor

Tabela 14 - AM 4\_Ciclos

Fração		AM 4_Ciclos_(g)			
Pol	Fração mm	1°	2°	3°	4°
3/8"	9.5	82.47	72.69	78.96	61.08
1/4"	6.3	62.71	61.81	52.92	64.39
8#	2.38	70.09	68.48	62.18	60.98
12#	1.68	16.05	20.06	12.84	13.9
28#	0.01	17.85	20.75	15.66	11.87
48#	0.0177	13.87	12.63	9.91	7.31
100#	0.037	16.25	19.8	13.89	12.59
200#	0.074	15.33	18.35	27.98	26.78
< 200#	< 0,074	18.52	17.24	17.95	17.2
Massa =		313.14		Média =	17.46333333

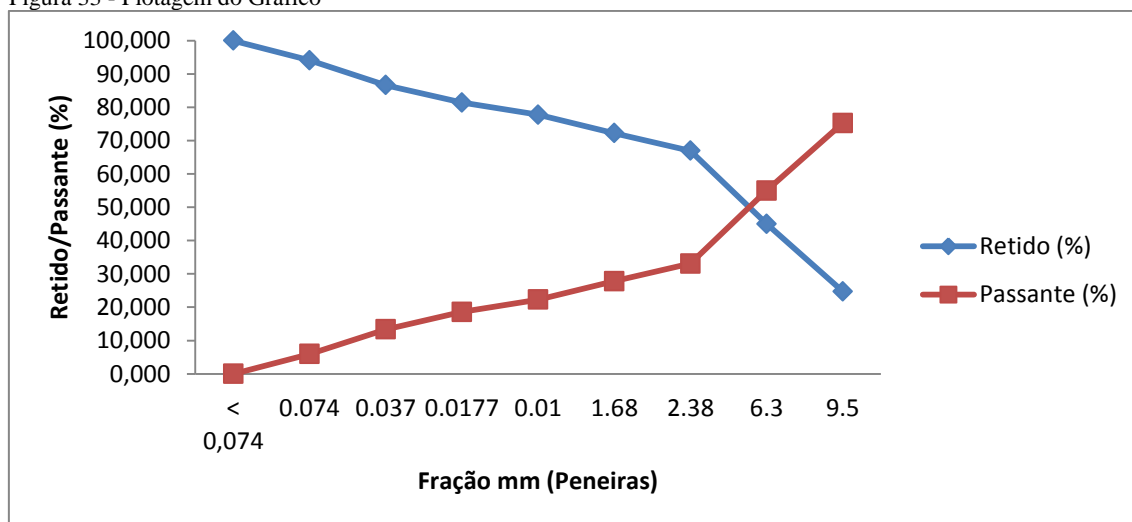
Fonte: Autor

Tabela 15 - MÉDIAS DOS CICLOS

<b>MÉDIAS DOS CICLOS</b>			
<b>Média (g)_Ciclos</b>	<b>Massa (%)</b>	<b>Retido (%)</b>	<b>Passante (%)</b>
<b>73.800</b>	24.737	24.737	75.263
<b>60.458</b>	20.265	45.002	54.998
<b>65.433</b>	21.933	66.935	33.065
<b>15.713</b>	5.267	72.202	27.798
<b>16.533</b>	5.542	77.743	22.257
<b>10.930</b>	3.664	81.407	18.593
<b>15.633</b>	5.240	86.647	13.353
<b>22.110</b>	7.411	94.058	5.942
<b>17.728</b>	5.942	100.000	0.000
<b>298.335</b>			

Fonte: Autor

Figura 33 - Plotagem do Grafico



Fonte: Autor

### 5.6.2. Moagem do Quartzo Leitoso com 500°C

#### ➤ Pilha 01

Tabela 16 - Quartzo Leitoso com 500°C

<b>Fração</b>		<b>Pilha 1_Distribuição Granulométrica QLCT</b>			
<b>Pol</b>	<b>mm</b>	<b>Massa (g)</b>	<b>Massa (%)</b>	<b>Retido (%)</b>	<b>Passante (%)</b>
<b>3/8"</b>	9.5	65.53	19.496	19.496	80.504
<b>1/4"</b>	6.3	66.3	19.725	39.221	60.779
<b>8#</b>	2.38	81.42	24.223	63.445	36.555
<b>12#</b>	1.68	20.06	5.968	69.413	30.587
<b>28#</b>	0.01	26.1	7.765	77.178	22.822
<b>48#</b>	0.0177	23.31	6.935	84.113	15.887
<b>100#</b>	0.037	18.6	5.534	89.647	10.353
<b>200#</b>	0.074	21.5	6.397	96.043	3.957
<b>&lt; 200#</b>	< 0,074	13.3	3.957	100.000	0.000

Massa =	336.12
---------	--------

Fonte: Autor

Tabela 17 - AM 1\_Ciclos

Fração		AM 1_Ciclos_(g)			
Pol	mm	1°	2°	3°	4°
<b>3/8"</b>	9.5	31.95	28.47	17.82	19.88
<b>1/4"</b>	6.3	50.99	42.49	42.69	40.61
<b>8#</b>	2.38	66.47	59.5	54.18	51.34
<b>12#</b>	1.68	20.39	26.46	31.98	36.34
<b>28#</b>	0.01	30.51	27.81	28.74	32.2
<b>48#</b>	0.0177	38.97	29.68	22.39	20.2
<b>100#</b>	0.037	34.52	44.59	46.08	40.24
<b>200#</b>	0.074	36.09	48.68	57.63	65.53
<b>&lt; 200#</b>	< 0,074	24.29	24.41	24.26	23.6
Massa =		334.18	Média =	32.18667	

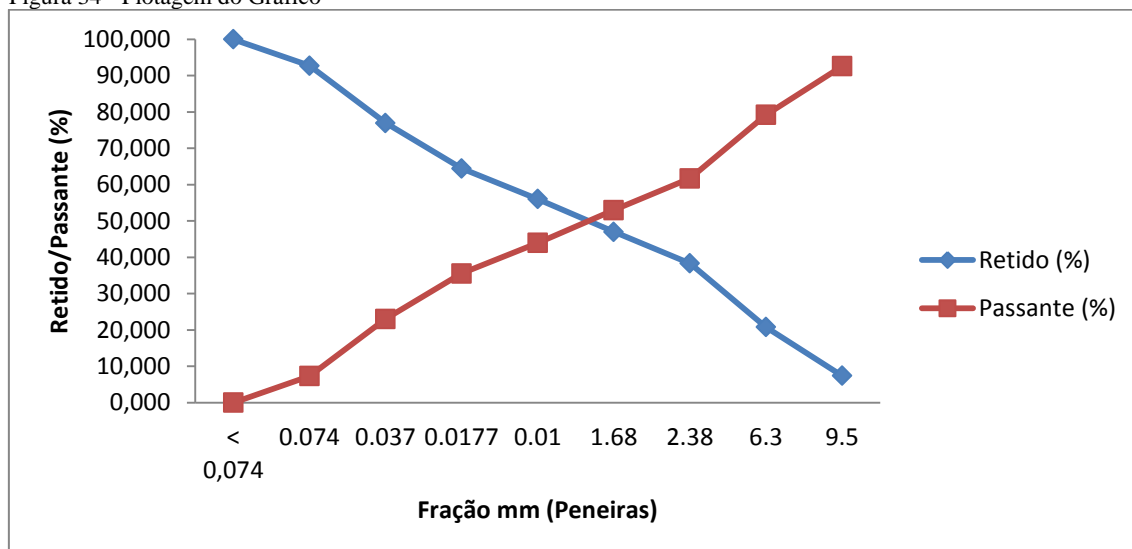
Fonte: Autor

Tabela 18 - Médias Dos Ciclos

MÉDIAS DOS CICLOS			
Média (g) Ciclos	Massa (%)	Retido (%)	Passante (%)
<b>24.530</b>	7.422	7.422	92.578
<b>44.195</b>	13.372	20.795	79.205
<b>57.873</b>	17.511	38.305	61.695
<b>28.793</b>	8.712	47.017	52.983
<b>29.815</b>	9.021	56.039	43.961
<b>27.810</b>	8.415	64.453	35.547
<b>41.358</b>	12.514	76.967	23.033
<b>51.983</b>	15.729	92.696	7.304
<b>24.140</b>	7.304	100.000	0.000
<b>330.495</b>			

Fonte: Autor

Figura 34 - Plotagem do Gráfico



Fonte: Autor

## ➤ Pilha 02

Tabela 19 - Pilha 2\_Distribuição Granulométrica

Fração		Pilha 2_Distribuição Granulométrica QLCT			
Pol	mm	Massa (g)	Massa (%)	Retido (%)	Passante (%)
3/8"	9.5	69.53	21.106	21.106	78.894
1/4"	6.3	66.3	20.126	41.232	58.768
8#	2.38	78.3	23.768	65.000	35.000
12#	1.68	20.89	6.341	71.341	28.659
28#	0.01	20.1	6.101	77.443	22.557
48#	0.0177	25.31	7.683	85.126	14.874
100#	0.037	18.9	5.737	90.863	9.137
200#	0.074	17.2	5.221	96.084	3.916
< 200#	< 0,074	12.9	3.916	100.000	0.000
Massa =		329.43			

Fonte: Autor

Tabela 20 - AM 2\_Ciclos

Fração		AM 2_Ciclos_(g)			
Pol	mm	1°	2°	3°	4°
3/8"	9.5	40.9	32.29	20.88	22.05
1/4"	6.3	58.47	51.4	48.22	41.26
8#	2.38	80.42	71.48	67.87	60.85
12#	1.68	19.96	26.35	20	30.92
28#	0.01	27.95	25.84	28.54	30.49
48#	0.0177	30.32	27.86	23.43	21.07
100#	0.037	26.41	34.86	36.85	36.02



<b>200#</b>	0.074	23.4	36.53	48.83	56.71
<b>&lt; 200#</b>	< 0,074	20.39	20.53	21.06	20.96
	Massa =	328.22	Média =	27.64667	

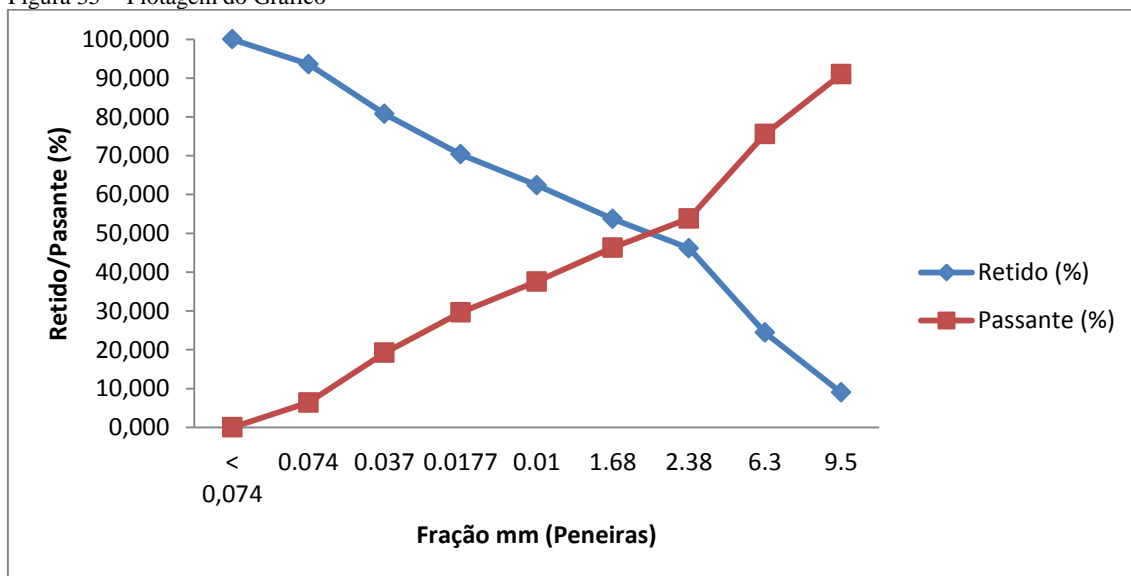
Fonte: Autor

Tabela 21 - MÉDIAS DOS CICLOS

<b>MÉDIAS DOS CICLOS</b>			
<b>Média (g)_Ciclos</b>	<b>Massa (%)</b>	<b>Retido (%)</b>	<b>Passante (%)</b>
<b>29.030</b>	8.992	8.992	91.008
<b>49.838</b>	15.437	24.429	75.571
<b>70.155</b>	21.730	46.160	53.840
<b>24.308</b>	7.529	53.689	46.311
<b>28.205</b>	8.736	62.425	37.575
<b>25.670</b>	7.951	70.376	29.624
<b>33.535</b>	10.387	80.764	19.236
<b>41.368</b>	12.814	93.577	6.423
<b>20.735</b>	6.423	100.000	0.000
<b>322.843</b>			

Fonte: Autor

Figura 35 - Plotagem do Gráfico



Fonte: Autor

### ➤ Pilha 03

Tabela 22 - Pilha 4\_Distribuição

<b>Fração</b>	<b>Pilha 4_Distribuição Granulométrica QLCT</b>
---------------	-------------------------------------------------

Pol	mm	Massa (g)	Massa (%)	Retido (%)	Passante (%)
<b>3/8"</b>	9.5	69.1	20.572	20.572	79.428
<b>1/4"</b>	6.3	78.4	23.340	43.912	56.088
<b>8#</b>	2.38	80.2	23.876	67.788	32.212
<b>12#</b>	1.68	20.6	6.133	73.921	26.079
<b>28#</b>	0.01	18.6	5.537	79.458	20.542
<b>48#</b>	0.0177	21.2	6.311	85.770	14.230
<b>100#</b>	0.037	18.1	5.389	91.158	8.842
<b>200#</b>	0.074	16.3	4.853	96.011	3.989
<b>&lt; 200#</b>	< 0,074	13.4	3.989	100.000	0.000
Massa =		335.9			

Fonte: Autor

Tabela 23 - AM 4\_Ciclos

Fração		AM 4_Ciclos_(g)			
Pol	mm	1°	2°	3°	4°
<b>3/8"</b>	9.5	43.36	27.58	22.49	20.78
<b>1/4"</b>	6.3	66.74	61.33	56.23	51.41
<b>8#</b>	2.38	73.8	68.16	64.16	62.81
<b>12#</b>	1.68	18.77	15.25	13.49	11.53
<b>28#</b>	0.01	26.46	23.42	19.37	17.73
<b>48#</b>	0.0177	31.33	34.6	36.7	36.2
<b>100#</b>	0.037	28.56	41.3	44.7	52.06
<b>200#</b>	0.074	24.18	39.5	52.81	57.5
<b>&lt; 200#</b>	< 0,074	20.28	20.91	20.93	21.03
Massa =		333.48		Média =	27.71667

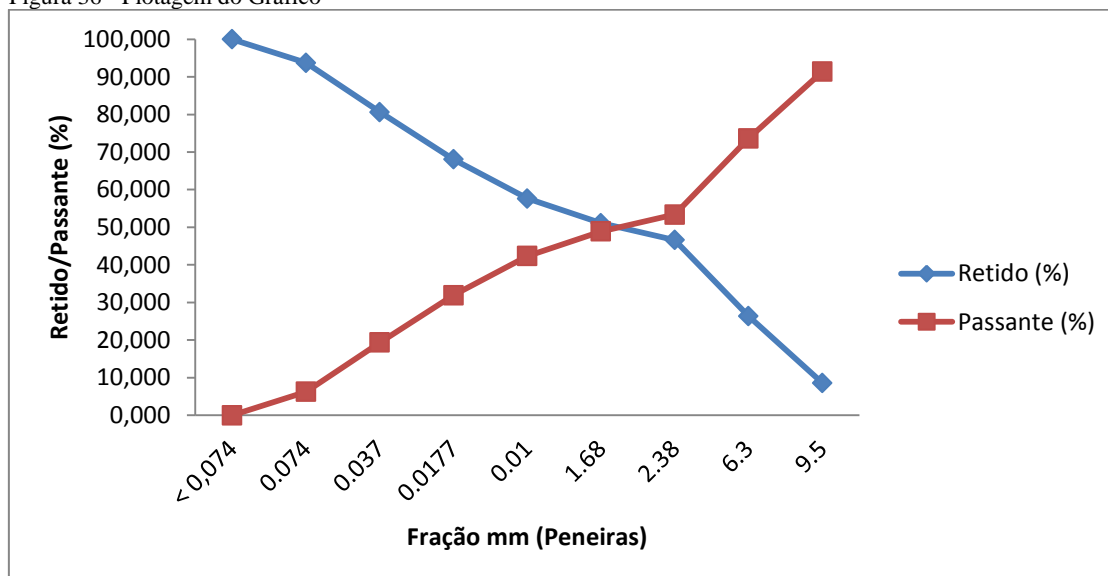
Fonte: Autor

Tabela 24 - AM 4\_Ciclos

MÉDIAS DOS CICLOS			
Média (g)_Ciclos	Massa (%)	Retido (%)	Passante (%)
<b>28.553</b>	8.604	8.604	91.396
<b>58.928</b>	17.756	26.360	73.640
<b>67.233</b>	20.259	46.619	53.381
<b>14.760</b>	4.448	51.067	48.933
<b>21.745</b>	6.552	57.619	42.381
<b>34.708</b>	10.458	68.077	31.923
<b>41.655</b>	12.552	80.629	19.371
<b>43.498</b>	13.107	93.736	6.264
<b>20.788</b>	6.264	100.000	0.000
<b>331.865</b>			

Fonte: Autor

Figura 36 - Plotagem do Gráfico



Fonte: Autor

Resultados do Índice de Trabalho - WI:

- Quartzo Leitoso Natural
  - Pilha 01 = 286,79
  - Pilha 02 = 288,30
  - Pilha 03 = 304,34
  - Pilha 04 = 282,01
  - Média = 360,86 kwh/t**
- Quartzo Leitoso à 500°C
  - Pilha 01 = 181,79
  - Pilha 02 = 202,99
  - Pilha 03 = 206,026
  - **Média = 196,93 kwh/t**
- Quartzo Leitoso à 300 °C
  - **Média = 416,31kwh/t**

Comparando os índices de trabalhos gastos para produzir o Pó Reativo, verifica-se que a amostra de QL 500°C, obteve-se o menor custo energético com relacionado a energia potencial para reduzir a partícula. Já na amostra de 300°C aparentemente no quartzo houve um endurecimento, pois conforme os resultados acima,

o kwh/t foi maior que o quartzo natural. Portanto deve-se salientar que foram valores consideravelmente altos, tendo em vista que foi utilizado um WI modificado, pois os equipamentos que utilizou-se não se adequa ou não estão próximos aos que consta na literatura. Por exemplo é o sistema de transmissão para o tambor do moinho.

É notório nos resultados apresentados que, quando aumentou a temperatura de 300 para 500°C aumentou também a quantidade de finos e diminuiu a energia gasta pelo equipamento para quase menos da metade dos outros dois materiais QLN e QLCT de 300°C.

Foi acordada em orientação a alternativa de aumentar a temperatura, por exemplo, para 900°C. Portanto, levando em consideração no que diz Lobato (2009) quando o quartzo é submetido a uma rampa de aquecimento ocorre transformações de fase no quartzo, e em cada fase possui uma denominação específica. A fase do quartzo alfa, que é estável à temperatura ambiente, transforma-se na temperatura de 573 °C (variedade beta), em tridimita à 870 °C, em cristobalita à 1470 °C e atinge o ponto de fusão a 1713 °C, ou seja, poderia haver variações estruturais na aplicação final do Pó-Reativo.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante das praticas laboratoriais desenvolvida durante esse trabalho, foi possível conhecer as características do mineral, suas vantagens e limitações.

O processo teve um único objetivo, buscar uma aplicação para o cristal que possui um valor muito pequeno em relação aos demais comercializados na cooperativa. Dentre varias que podem ser aplicada buscou-se desenvolver com recursos que o CEULP/ULBRA oferecia que são os laboratórios de solos, de engenharia civil e de engenharia de minas, detentor de equipamentos para ensaios de beneficiamento mineral.

Foi explorado ao máximo os equipamentos que pudesse ser utilizado para gerar dados do mineral estudado “o quartzo leitoso”. Durante o desenvolvimento foi constatado que alguns possíveis usos não se adequava aos parâmetros legais das normas técnicas, por exemplo a aplicação em obras rodoviárias de pavimentação asfáltica.

Tendo em vista o crescimento do setor de construção civil na região de Palmas/TO, focou-se no processo de beneficiamento para a produção de Pó-Reativo. A princípio sabia-se que produzir o pó reativo não seria fácil, uma vez que o quartzo tem dureza 07 na escala *mols*. Portanto ao longo desse trabalho desenvolveu-se roteiros de beneficiamento para que diminuísse o tempo de circuito de beneficiamento e produzisse uma maior quantidade de finos.

Com adoção de roteiros de processamento mineral intercalados com tratamento térmicos foi possível nas condições aqui desenvolvidas, obter uma maior quantidade de Pó Reativo, mesmo que o equipamento utilizado não esteve dentro das condições ideais para gerar resultado próximo ao que consta na literatura.

Espera-se que todo trabalho que foi desenvolvido auxiliem em posteriores projetos com a adoção de uma nova rota de beneficiamento, utilizando equipamentos próximos aos ideais de caracterização mineral, possibilitando um menor custo energético para produção de pós reativos aplicados aos concretos convencionais.

Buscar uma aplicação desse bem mineral e abundante no Tocantins, mais precisamente em Cristalândia/TO, é de suma importância para a economia do município e para a Cooperativa dos Garimpeiros de Cristalândia – COOPERCRSITAL.

## 6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Desenvolver rota de beneficiamento para o silestone;
- Desenvolver rota de beneficiamento para o silício de Grau Metalúrgico – SiGM;
- Desenvolver roteiros de tratamento físicos para produção de Pó Reativo com choque térmico acima de 573°C;
- Desenvolver roteiro de beneficiamento com britadores de martelos que tem indicativos de uma produção maior de finos para o mineral estudado, conforme a literatura.
- A partir do Work Index – WI determinado, elaborar estudo de viabilidade com ênfase na logística da região de Cristalândia/TO, onde encontra-se a jazida;

## 6. REFERÊNCIAS

- ABDALLAH, S., 1996. **Relatório sobre as mineralizações de cristal de rocha da região de Cristalândia-Pium e Ametistas de Pau D'arco (TO)**, Prisma mineração, relatório interno, inédito. Arcoverde, W.L., Schobbenhaus, C., 1997, Geologia do Quartzo. In: Principais Depósitos Mineraiis do Brasil, volume IV, parte C, pag. 315-324. Relatórios e planos de pesquisa de mineradores locais.
- ARAÚJO, Janiara Ferreira de. **A influência da adição de caulim, quartzo e feldspato potássico na formulação de masas cerâmica para telhas: Modelo Estatístico.** 2008. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.
- BARBOSA, M. I. M.; PORPHÍRIO, N. H. **Caracterização Tecnológica de Lascas de Quartzo**, 45p-SérieTecnologia Mineral, CNPq/CETEM, 1995.
- BINA, Paulo. Monobeton Soluções Tecnológicas (Org.). **Força pós-reativa.** 1998. Disponível em: <<http://piniweb.pini.com.br/construcao/noticias/forca-pos-reativa-86154-1.aspx>>. Acesso em: 02 jun. 2015.
- CETEM, Centro de Tecnologia Mineral; MCT, Ministério da Ciência e Tecnologia. **Manual de Agregados para Construção Civil.** 2. ed. Rio de Janeiro: [s.n], 2012. 432 p.
- CHAVES, Arthur Pinto; PERES, Antonio Eduardo Clark. Teoria e Pratica do Tratamento de Minérios: Britagem, Peneiramento e Moagem. In: CHAVES, Arthur Pinto; PERES, Antonio Eduardo Clark. **Teoria e Pratica do Tratamento de Minérios: Britagem, Peneiramento e Moagem.** 4. ed. São Paulo: Signus, 2009. Cap. 3. p. 153-234.
- CHAKRABORTY D., **On the in corporation of metallic impurities in syn the tic quartz single crystals**, IN: J. of Crystal Growth 44 (5), 599-603, 1978.
- CPRM, Serviço Geológico do Brasil -. **Quartzo Industrial Dueré-Cristalândia - TO.** 2011. Disponível em:

<<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=204&sid=32>>. Acesso em: 20 maio 2015.

DEER, W.A.; HOWIE, R. A. ; ZUSSMAN. **An Introduction to the Rock-Forming Mineral**, Logman Group Ltd, p. 340- 355, London, 1975. Disponível em: <[http://www.cetem.gov.br/publicacao/series\\_srmi/srmi-02.pdf](http://www.cetem.gov.br/publicacao/series_srmi/srmi-02.pdf)> acesso em 13 mai. 2015.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADA DE RODAGEM - DNER. **NORMA RODOVIÁRIA N° 035/98**: Agregados - Determinação da Abrasão "Los Angeles". Rio de Janeiro, 1998. 06 p. Disponível em: <<http://ipr.dnit.gov.br/normas/DNER-ME035-98.pdf>>. Acesso em: 04 out. 2015.

DNPM, Departamento Nacional de Produção Mineral. **SUMARIO MINERAL 2014**. Brasília: Diretoria de Planejamento e Desenvolvimento da Mineração - Diplam, 2014. 34 v. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2014>>. Acesso em: 29 jun. 2015.

DINIZ FILHO, L.C.; ARCOVERDE, W.L. **Quartzo (Cristal), Sumário Mineral, Brasília**, DNMPM/2000.

FURMAN, Marina. **Mineração e o Meio Ambiente**. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAbccAF/mineracao-meio-ambiente>>. Acesso em: 12 mai. 2015.

GEOLOGIA, Entendendo a. **Quartzo: Ocorrências do Quartzo no Brasil**.. 2012. Ian Lucas Quinteiro. Disponível em: <<http://entendendoageologiaufba.blogspot.com.br/2012/03/quartzo.html>>. Acesso em: 21 maio. 2015.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cristalândia Tocantins: Cidades**. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=170610&search=||info%20-%20informa%20-%20completas>>. Acesso em: 01 jun. 2015.



LAMANA, Chirley Xavier. Seção: Recursos Minerais do Brasil. In: TO, Quartzo Industrial Dueré-cristalândia - (Ed.). Recursos Minerais do Brasil. Goiânia: Chirley Xavier Lamana, 2015. p. 01.

LEMOS, C. R. ; LASTRES, H. M. M. **Novos Materiais, Desafios e Oportunidades**, Parte 3, Quartzo e Silício, INT/1992.

LOBATO, Emílio. **Relatório Técnico 37: Perfil do Quartzo**. Brasília: J. mendo Consultoria, 2009.

LUZ, A. B.; NETO, J. P. **Obtenção de Pó de Quartzo de Alta Pureza**. In: Anais do XVI ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E HIDROMETALURGIA, Vol. I Processamento Mineral, p.191-202, Rio de Janeiro RJ, setembro/1995. Disponível em: <[http://www.cetem.gov.br/publicacao/series\\_srmi/srmi-02.pdf](http://www.cetem.gov.br/publicacao/series_srmi/srmi-02.pdf)> acesso em 13 mai. 2015.

LUZ, Adão Benvindo da; BRAZ, Eliezer. **Quartzo: SÉRIE ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS - SRMI**. Rio de Janeiro: [s.n], 2000. 20 p. (IV). Disponível em: <[http://www.cetem.gov.br/publicacao/series\\_srmi/srmi-02.pdf](http://www.cetem.gov.br/publicacao/series_srmi/srmi-02.pdf)>. Acesso em: 22 maio 2015.

MENDO, Consultoria J. **Perfil do Quartzo: Relatório Técnico 37**. Belo Horizonte - Mg: J Mendo Consultoria, 2009. 32 p. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256650/P27\\_RT37\\_Perfil\\_do\\_Quartzo.pdf/3ea3802c-8da9-4012-a246-c722d750de1f](http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256650/P27_RT37_Perfil_do_Quartzo.pdf/3ea3802c-8da9-4012-a246-c722d750de1f)> .Acesso em: 13 maio 2015.

MELLO, Paulo. **Silicose: Doença e Saúde do Trabalho**. 2010. Disponível em: <<http://pauloffomello.blogspot.com.br/2010/01/silicose.html>>. Acesso em: 09 nov. 2015.

NRM. Constituição (2002). Normas Reguladoras da Mineração nº NRM 22 e NRM 18, de 22 de janeiro de 2002. **Normas Reguladoras da Mineração**: Brasília, DF, 29 jan. 2002. Disponível em: <[http://www.dnpm-pe.gov.br/Legisla/nrm\\_00.php](http://www.dnpm-pe.gov.br/Legisla/nrm_00.php)>. Acesso em: 16 nov. 2015.

OLIVEIRA, Maria Lúcia M. de; AQUINO, José Aury de. Amostragem. In: SAMPAIO, João Alves; FRANÇA, Silvia Cristina Alves; BRAGA, Paulo Fernando Almeida (Ed.). **Tratamento de Minérios: Práticas Laboratoriais**. Rio de Janeiro: Cetem-mct, 2007. Cap. 01. p. 03-51.

SANTOS, Rubens Tavares dos. Tratamento de Minérios em Laboratório. In: SANTOS, Rubens Tavares dos. **Tratamento de Minérios em Laboratório**. Mariana - Mg: Dom Viçoso, 2008. Cap. 2. p. 03.

SANTOS, Rubens Tavares dos. Tratamento de Minérios em Laboratório. In: SANTOS, Rubens Tavares dos. **Tratamento de Minérios em Laboratório**. Mariana - Mg: Dom Viçoso, 2008. Cap. 2. p. 04-53.

SAMPAIO, João Alves; BARBATO, Carla Napoli. Moagem. In: SAMPAIO, João Alves; FRANÇA, Silvia Cristina Alves; BRAGA, Paulo Fernando Almeida (Ed.). **Tratamento de Minérios: Práticas Laboratoriais**. Rio de Janeiro: Cetem-mct, 2007. Cap. 09. p.168-175.

SAMPAIO, João Alves; SILVA, Fernanda Arruda Nogueira Gomes da. Análise Granulométrica por Peneiramento. In: SAMPAIO, João Alves; FRANÇA, Silvia Cristina Alves; BRAGA, Paulo Fernando Almeida (Ed.). **Tratamento de Minérios: Práticas Laboratoriais**. Rio de Janeiro: Cetem-mct, 2007. Cap. 03. p.54-71.

SEPLAN, Secretaria do Planejamento; MINERATINS, Companhia de Mineração do Tocantins. **Avaliação e Diretrizes para o Setor Mineral do Estado Do Tocantins: Diagnóstico do Setor Mineral do Estado do Tocantins**. Palmas, To: [s. N], 2008. 1 p. Disponível em:

<<http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1732815/Diagnóstico+do+Setor+Mineral+do+Estado+do+Tocantins/2a192c0e-42ff-4658-83cc-ba1e54c6b363>>. Acesso em: 20 maio 2015.

SERAFIM, Diego; LICETTI, Juliana do Carmo. **Análise do Desempenho de Três Tipos de Cimento no Concreto de Pós-Reativos**. 2012. 53 f. TCC (Graduação) -

Curso de Curso de Tecnologia em Concreto, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

STANLEY, J. M.; THEOKRITOFF S., **Incorporation of impurities in syn the tic quartz crystals**, IN: Am. Min. 41, 527-29, 1956.

TORIKAI, D. ; SCHINOHARA, A. H.; IWASAKI, H. ; SUZUKI, C.K. **Estudo de Atenuação Ultrassônica em Quartzo**. Cerâmica, 33(211), p.167-172, 1987.

Disponível em: <[http://www.cetem.gov.br/publicacao/series\\_srmi/srmi-02.pdf](http://www.cetem.gov.br/publicacao/series_srmi/srmi-02.pdf)> acesso em 13 mai. 2015.

UNESP, Banco de Dados. **Quartzo**: Museu DNPM. Disponível em:

<<http://www.rc.unesp.br/museudpm/banco/silicatos/tectossilicatos/quartzo.html>>.

Acesso em: 30 maio 2015.