



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

Isadora Tomaz Marques

FIBRA ÓPTICA: Um estudo exploratório para uso do quartzo de Cristalândia-TO

Palmas - TO

2015

Isadora Tomaz Marques

FIBRA ÓPTICA: Um estudo exploratório para uso do quartzo de Cristalândia-TO

Projeto apresentado como requisito parcial da disciplina Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia de Minas TCC, orientado pela Professora Doutora Angela Ruriko Sakamoto.

Palmas - TO

2015

Isadora Tomaz Marques

FIBRA ÓPTICA: Um estudo exploratório para uso do quartzo de Cristalândia-TO

Projeto apresentado como requisito parcial da disciplina Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia de Minas TCC, orientado pela Professora Doutora Angela Ruriko Sakamoto.

Aprovada em 17 de Julho de 2015.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Angela Ruriko Sakamoto
Centro Universitário Luterano de Palmas

Prof. Dr. Dorival Carvalho Pinto
Centro Universitário Luterano de Palmas

Prof. Valério Sousa Lima
Centro Universitário Luterano de Palmas

Palmas - TO

2015

RESUMO

MARQUES, Isadora Tomaz. **Fibra Óptica:** Um estudo exploratório para uso do quartzo de Cristalândia. 2015. 46 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Minas, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas, 2015.

Neste trabalho estudou-se as possibilidades de utilização do quartzo que é explotado na região do município de Cristalândia, no estado do Tocantins. O estudo foi baseado em trabalhos anteriores, contendo purificações com resultados eficazes possibilitando gerar destinação ao quartzo da região. Espera-se que a partir da contribuição das pesquisas realizadas, ocorra no futuro a utilização do minério nos processos iniciais necessários para a confecção da fibra óptica. Acredita-se no desenvolvimento do município a partir de exploração do quartzo, fator relevante para a melhoria da qualidade de vida da população da região. No garimpo Baixa da Égua foram recolhidas amostras em campo, enviadas para análise através dos métodos de espectrofotometria de molibdato de amônio, fator que permitiu a análise do teor de silício, bem como aplicação do método de espectrofotometria de absorção atômica com o objetivo de analisar o teor de alumínio e de ferro. Como resultado, obteve-se a pureza do silício com uma média significativa, mas que ainda precisa passar por processos de purificação para alcançar as especificações do silício de ultra alta pureza destinado à fibra óptica, os processos utilizados para desenvolver essa purificação podem ser denominados pelos métodos de Lixiviação e de Eletrodifusão, e pelo método de Silício Grau Metalúrgico.

Palavras-chave: Quartzo, Caracterização, Cristalândia, Fibra Óptica.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Zonas de ocorrências de quartzo brasileiro.....	15
Figura 2 – Quartzo Industrial de Dueré e Cristalândia.....	16
Figura 3 – Rota de processamento das lascas de quartzo.....	18
Figura 4 – Sinais multimodo e monomodo	23
Figura 5 – Índice de refração da sílica vítrea em função da concentração de dopantes.....	24
Figura 6 – Amostras de quartzo.....	33
Figura 7 – Amostras selecionadas para análises.....	34
Figura 8 – Sequência proposta para obtenção do silício purificado.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Caracterização do quartzo para teores de SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3	34
--	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Métodos de purificação, justificativas e limitações.....	35
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SIMBOLOS.

AAS – Espectrofotometria de Absorção Atômica

Al – Alumínio

BA – Bahia

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

dB/Km – Decibéis por quilômetro

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral

EUA – Estados Unidos da América

Fe – Ferro

FRX – Espectrometria de Fluorescência de Raio-X

g – Gramas

GeO₂ – Dióxido de Germânio

GO – Goiás

H – Hipótese

HCl – Ácido Clorídrico

HF – Ácido Fluorídrico

IV – Espectroscopia Infravermelha

Kg – Quilogramas

Km – Quilômetros

LIQC - Laboratório Ciclo Integrado de Quartzo

MCVD - Modified Chemical Vapor Deposition

MG – Minas Gerais

O - Oeste

OVD - Outside Vapor-phase Deposition

PCVD - Plasma Chemical-Vapor Deposition

S – Sul

SiGM – Silício Grau Metalúrgico

SiGE – Silício Grau Eletrônico

SiGS – Silício Grau Solar

SiGQ – Silício Grau Químico

SiO₂ – Óxido de Silício

TO - Tocantins

Unicamp - Universidade de Campinas

VAD - Vapor-phase Axial Deposition

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 GEOLOGIA LOCAL	14
2.2 CARACTERIZAÇÃO DO MINÉRIO DE QUARTZO	16
2.3 MÉTODOS DE PURIFICAÇÃO DO QUARTZO	18
2.4 SÍLICA VÍTREA.....	20
2.4.1 Formas da sílica vítrea e seus métodos	21
2.5 FIBRA ÓPTICA	22
2.5.1 Formas da fibra óptica e seus métodos	23
3 MATERIAIS E MÉTODOS	28
4 ANÁLISES	31
4.1 CIDADE DE CRISTALÂNDIA	31
4.2 GARIMPO CRISTALÂNDIA	31
4.3 CARACTERIZAÇÃO DO QUARTZO DO BAIXA DA ÉGUA.	32
4.4 PROPOSTA EM RELAÇÃO ÀS ANÁLISES	34
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	42
7 REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

Esse trabalho de conclusão de curso explora o potencial do uso de quartzo de Cristalândia (TO) como possível matéria prima na produção de fibra óptica. O mundo interconectado demanda linhas de transmissão seguras e de alta capacidade de transporte de comunicações de rede, os cabos constituídos por fibra óptica agregam qualidade e segurança nessas transmissões. Este projeto efetua um levantamento bibliográfico do processo de produção, desde a retirada do quartzo, passando pelos seus processos de purificação, até a sua fase final, a fibra óptica.

Em Cristalândia, o processo de garimpo é realizado em várias localidades e com diferentes tipos de formação, com famílias distribuídas em diversos locais de lavra, em média são 44 famílias que dependem do garimpo do quartzo para garantir seu sustento, garimpo que é realizado através da utilização de escavadeiras, e máquinas hidráulicas. Mesmo com essa grande importância para a região, o quartzo não é valorizado como deveria, e acaba impossibilitando o estado e até mesmo o país de gerar o devido valor econômico sem os devidos beneficiamentos por qual ele pode passar. O material é exportado na forma bruta e volta purificado na forma de bastões puros de sílica utilizados na produção da fibra, ou em forma de fibra óptica já processada. Um dos objetivos deste trabalho é evidenciar aos envolvidos os processos de beneficiamento do quartzo, para a valorização desse minério na fabricação de fibras ópticas, um dos muitos materiais que hoje são vitais para o pleno desenvolvimento e uso da tecnologia de informação.

O Brasil tem mais de 300 milhões de usuários de internet, é uma das regiões do mundo que mais cresce em termos de população conectada. Para atender tal público, a Google em parceria com as empresas Algar Telecom (Brasil), Antel (Uruguai) e Angola Cables, esta implantando 10.000 km de cabos de fibra óptica submarinos, conectando Boca Raton na Flórida (EUA) ao Brasil, com dois pontos de conexão: Fortaleza e Santos (GOOGLE BLOG, 2014).

A necessidade de ampliar a capacidade da infraestrutura, que proporciona o funcionamento da internet é de suma importância no progresso da capacidade da transmissão de dados, sendo este mais um dos motivos que ratifica a importância deste estudo.

Através da pesquisa foi possível observar as impurezas contidas no quartzo de Cristalândia e os métodos que podem ser aplicados para a retirada dessas impurezas para que

essas não afetem as condições da fibra óptica, deixando a sílica em condições necessárias para o futuro processo de produção.

Os problemas norteadores desta pesquisa foram a busca pela identificação de características atrativas para a utilização do quartzo de Cristalândia em processo de produção da fibra óptica sem passar por grandes purificações. Caso essas características sejam afirmativas a busca de processos diretos para a produção de insumos para a fibra óptica será desenvolvida. Em caso negativo tem-se como ideia inicial descobrir os meios que possam trazer as características do quartzo para a fibra óptica. Trazendo a tona também questões como: Quais são os constituintes do minério que precisam ser eliminados para tornar um grau puro? Qual o melhor método para que isso aconteça? Ao longo desse trabalho essas questões serão analisadas, buscando através da teoria, soluções eficientes.

As pesquisas envolvendo veios hidrotermais de quartzo em Cristalândia são praticamente inexistentes, devido o Tocantins não possuir mapeamento geológico, o que dificulta e compromete a avaliação econômica e também um possível projeto de lavra na região, podendo então dificultar projetos de futuras instalações de processamentos do quartzo. Devido o Tocantins estar distante dos grandes centros de produção e pesquisas, pode acarretar dificuldades ao futuro desenvolvimento desse projeto.

As hipóteses que envolvem essa pesquisa são: A falta de pesquisas específicas, por indústrias, no uso do quartzo de Cristalândia coíbe possíveis investimentos; O beneficiamento dos resíduos da extração de quartzo, se beneficiados no local de extração, aumentam a agregação do valor do quartzo e aumenta o giro na economia local; Há técnicas de processamento de quartzo acessíveis que podem ser usadas para seu beneficiamento.

As formas de transmissão de sinais ópticos são datadas a cinco milhões de anos atrás quando a chama, sinais de fumaça, era utilizada como meio de comunicação, e com o tempo os meios de comunicação foram se adequando e necessitando de tecnologias mais avançadas e rápidas, sendo assim a humanidade foi desenvolvendo de forma gradativa, meios que pudessem atender aos requisitos de comunicação a longas distâncias e a velocidades extremamente rápidas. É neste contexto que o quartzo que já é usado em vários processos do dia-a-dia, como vidrarias de um modo geral, materiais de construção civil, equipamentos de uso para energia fotovoltaica, é empregado na fabricação de vias rápidas de transporte de informações. O transporte rápido de dados é uma das funções do quartzo na confecção de cabos, que após passar pelos processos de purificação e dopagens chega ao processo final de puxamento, transformando a sílica em cabos de fibra óptica, direcionando esta pesquisa para

um possível desenvolvimento futuro na região de Cristalândia de processos que envolvam a fibra óptica.

O objetivo geral em que esse projeto visa desenvolver é caracterizar o quartzo de Cristalândia, identificando os meios viáveis para sua purificação através de estudos bibliográficos, avaliar as possibilidades de uso na produção da fibra óptica e consequentemente aumentar o valor agregado ao minério extraído na região.

Como especificações dos objetivos gerais tem-se: Identificar os tipos e quantidades de impurezas; Analisar as técnicas de beneficiamento aplicadas ao quartzo buscando alcançar as especificações que permitem chegar aos métodos utilizados para produção da sílica pura; Elaborar um parecer para auxiliar a purificação necessária na produção desse bem tecnológico.

Sendo assim analisar os constituintes do quartzo e os métodos de purificação voltados para os requisitos da produção de fibras ópticas será possível estabelecer se o quartzo da região atende aos requisitos desta indústria. Este parecer pode gerar retornos para o desenvolvimento tecnológico do Estado e também para a comunidade de Cristalândia buscando os melhores meios para purificar o material.

A função da fibra óptica traz para sociedade a possibilidade de avanços em tecnologia no geral, já que com ela é possível transmitir sinais para comunicação com alta nitidez, precisão e rapidez. Com base nessa importância que se busca a melhoria e a maior produção desses produtos que trazem tanto valor aos meios envolvidos e não só diretamente à indústria de software e hardware. A busca do aperfeiçoamento dos processos, redução dos custos e uso dos bens minerais disponíveis em nosso estado, pode abrir inúmeras oportunidades para expansão e crescimento.

Segundo Dona Francisca, presidente da cooperativa CooperCristal, há uma carência da valorização dos cristais de quartzo que depois de retirados da terra, são o sustento de muitos dos que ali vivem e trabalham, e que devido a sua cultura deu o nome a cidade. Através da implantação da produção e beneficiamento do quartzo, independente da indústria a ser instalada, a geração de renda será de extrema importância para o desenvolvimento da região e criação de condições para capacitação e formação da mão de obra com uma maior conscientização das questões ambientais do processo extrativo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico permite basear a análise que será realizada ao longo do trabalho de conclusão de curso. Foi feito um levantamento bibliográfico que envolve o quartzo e a fibra óptica, estudos com os diversos processos que são realizados até chegar à fibra óptica final, sendo assim o referencial teórico adotado para prover suporte a esta pesquisa são: geologia local, a caracterização do minério de quartzo, métodos de purificação do quartzo, a fibra óptica, e, os métodos de fabricação da fibra.

2.1 GEOLOGIA LOCAL

Os recursos mundiais de grandes cristais de quartzo ocorrem principalmente no Brasil (CETEM, 2008). Na escala de tempo geológico o maciço rochoso da região de Cristalândia é datado da era Proterozóica (CPRM, 2003), período que teve início a 2,5 bilhões de anos atrás, e forma o período Pré-Cambriano juntamente com a era Arqueana e a era Hadeana com duração de aproximadamente 4 bilhões de anos (DNPM, 2015).

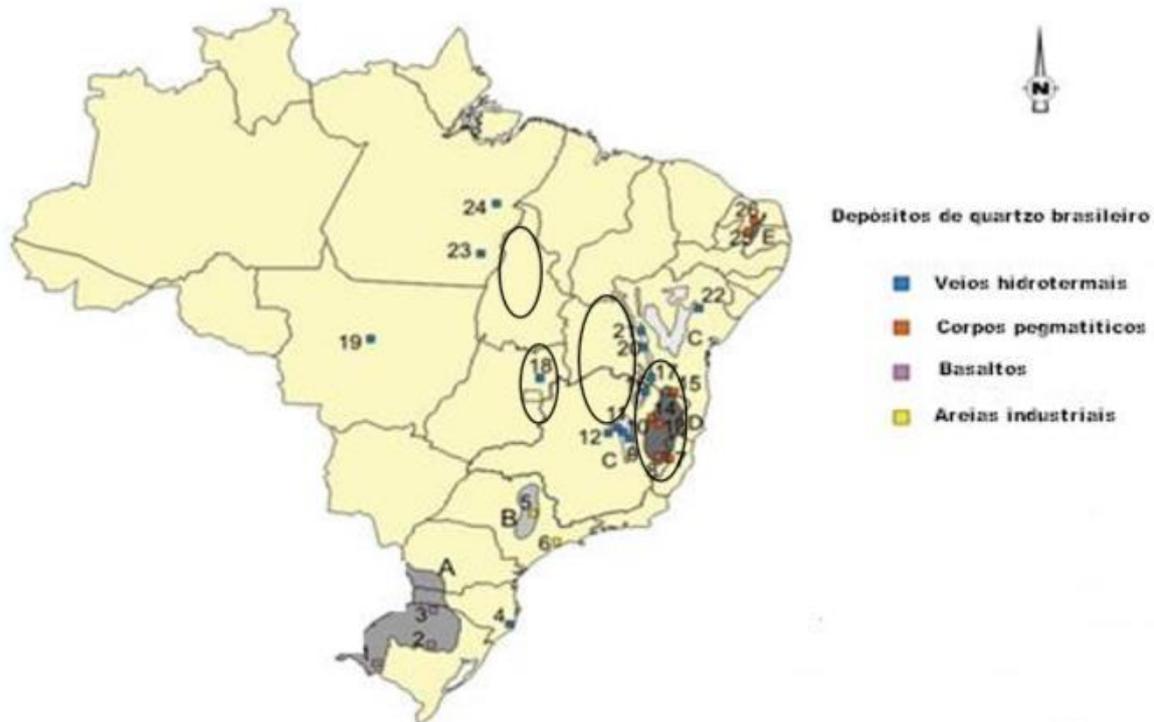
Em 1971, Cassedanne definiu os tipos de quartzo que ocorrem em território brasileiro, podendo ser classificados em veio hidrotermais, pegmatitos, drusas em basalto e depósitos eluviais e aluviais. Os veios hidrotermais são responsáveis por conterem alta perfeição cristalina e grandes dimensões (CETEM, 2008). São formados em baixos graus de solubilidade da sílica e em temperaturas e pressões próximas a da superfície da terra (FYFE, 1978 *apud* CETEM 2008). Além das lascas presentes em formações hidrotermais conterem menores teores de Alumínio (Al) do que lascas formadas em veios pegmatíticos (ARGONZ 2011).

Os depósitos com corpos pegmatíticos são mais hidratados e a cristalização ocorre em um processo mais demorado segundo Kuzvart (1984, *apud* CETEM, 2008). As drusas em basalto são constituídas por quartzo leitoso, como por exemplo, ametista e ágata. E por fim os depósitos aluviais que são encontrados abaixo de camadas de material argiloso, considerado por Campbell depósitos secundários (CETEM, 2008).

Durante a II Guerra Mundial foram analisados os depósitos de cristais e até hoje, essas análises, podem ser consideradas de grande importância internacionalmente. As análises foram realizadas por Stoiber *et al.* (1945), Campbell (1946) e Johnston e Butler (1946), mostravam localizações dos veios hidrotermais e definição morfológica. Os depósitos estudados foram nas seguintes regiões: Sete Lagoas e Montes Claros (MG), Mimoso (BA),

Cristalina (GO), Cristalândia (TO). Dessas regiões também foram retirados os cristais exportados para os EUA durante a II Guerra Mundial (CETEM, 2008). A demanda pelo quartzo durante a segunda guerra mundial ocorreu devido à utilização desse bem mineral como controlador de frequência em equipamentos de comunicação (CETEM, 2000).

Figura 1 – Zonas de ocorrências de quartzo brasileiro.

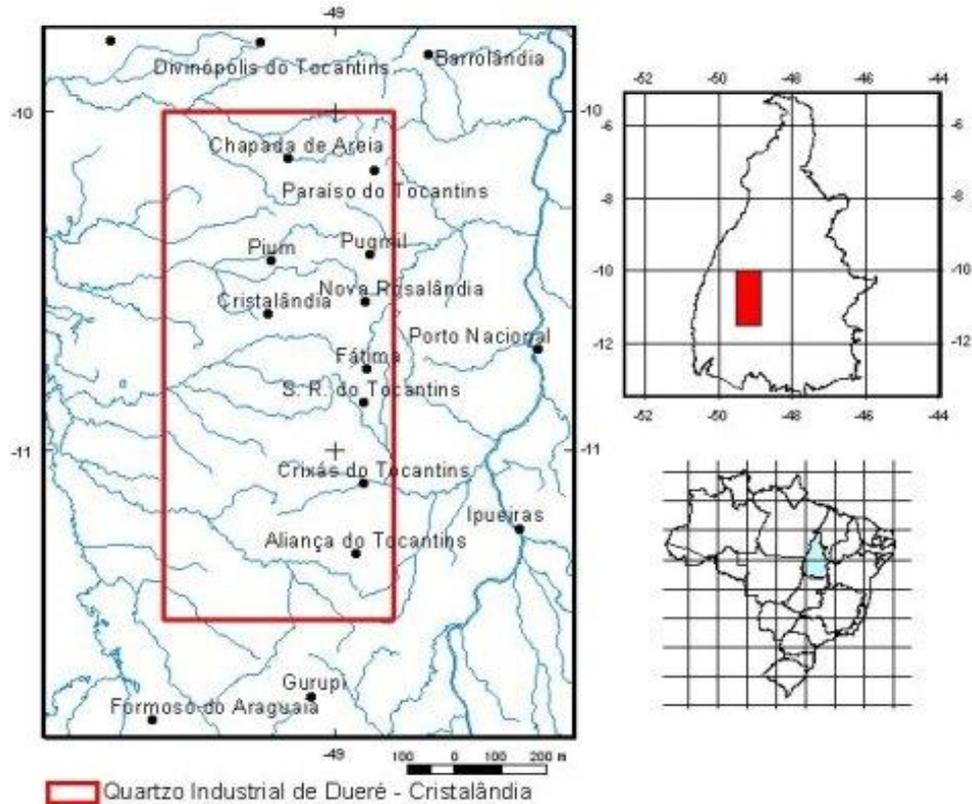


Fonte: Gotze (2012, *apud* GUERRA 2013)

De acordo com a CPRM (2011) o enquadramento geotécnico local pode ser definido por:

“[...] unidades da faixa de dobramento Araguaia, de idade neoproterozoica, 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 (figura 2). A Formação Pequizeiro, com importante distribuição na área pesquisada, é representada por uma sequência predominantemente metassedimentar, de baixo grau metamórfico, constituída por sericita quartzo xisto, sericita clorita xisto, apresentando xistosidade bem desenvolvida e consistindo a rocha encaixante regional dos veios mineralizados. A Formação Xambioá é composta por biotita quartzo xisto, em contato tectônico de baixo ângulo com a Formação Pequizeiro.”

Figura 2 – Quartzo Industrial de Dueré e Cristalândia



Fonte: CPRM (2011)

2.2 CARACTERIZAÇÃO DO MINÉRIO DE QUARTZO

A sílica é considerada como elemento fundamental na composição do quartzo, minério classificado como o mais abundante do planeta.

“O quartzo é um composto mineral formado por átomos de sílica e oxigênio, SiO_2 , integrante do grupo de sílica da família dos tectossilicatos. Na natureza o quartzo ocorre como uma das formas polimórficas da sílica, coexistindo de maneira metaestável [...]” (HUMMEL, 1989).

Através de análises realizadas por Marko *et al.* (2006) observou-se as pressões e temperaturas em que os cristais foram formados em Cristalândia, que chegaram a pressões 300 MPa e a temperaturas de 400°C, a temperatura foi caindo até 280°C na última etapa do crescimento, com altos graus de salinidade, rica em NaCl e CaCl_2 (CETEM, 2008).

A exploração do quartzo na região de Cristalândia é realizada, utilizando escavadeiras, depois que o material é retirado do solo é lapidado até chegar ao tamanho de lascas que segundo Hummel (1989) é um termo internacionalmente aceito e consiste na fragmentação de

blocos de quartzo, realizada por garimpeiros podendo conter 20 a 200 g, os garimpeiros utilizam martelos para chegar à forma desejada.

As lascas podem ser classificadas em seis classes: primeira, mista, segunda, terceira, quarta e quinta. Essas classes determinam a transparência visual, que conseqüentemente determinam as inclusões fluídas (regiões leitosas) e as fissuras que as lascas possuem. As pertencentes à primeira classe são aquelas transparentes com teor mínimo ou zero de inclusões e fissuras internas, as classes subsequentes diminuem sucessivamente a transparência, pois as inclusões e fissuras aumentam (CETEM, 2008).

Como realizado no trabalho de Argonz (2011) para dar início aos processos de purificação, as lascas de quartzo são analisadas para observar exatamente quais as impurezas estão contidas, sendo assim é necessário passar por processos de caracterização.

Esses processos de caracterização podem ser divididos em: método de espectrofotometria de molibdato de amônio (para analisar teores de silício), espectrometria de absorção atômica, e através do microscópio eletrônico de varredura.

A espectrofotometria de molibdato de amônio consiste na extração do elemento com ácido clorídrico e ácido fluorídrico a frio, esses ácidos liberam o tetrafluoreto de silício e através da interação com a água ocorre a formação do ácido silícico e fluorsilícico fazendo com que ocorra a reação destes com o molibdato formando os complexos silico-molíblicos. O equipamento utilizado para essa análise é o espectrofotômetro uv-visível digital (TERRA ANÁLISES, 2015). Permitindo assim, nas análises de quartzo, identificar quais os teores de Silício encontrados nas amostras disponibilizadas.

A espectrometria de absorção atômica pode ser utilizada para analisar o ferro, o alumínio, manganês, cobre e diversos outros elementos, essa diferença em análises é adquirida fazendo as alterações necessárias no equipamento para cada componente a ser analisado, o princípio desse processo analítico fundamenta-se na extração do elemento por digestão ácida e a técnica de absorção atômica é utilizada para medir a concentração de tal elemento. O equipamento utilizado para esse método analítico é o espectrômetro de absorção atômica, equipado com lâmpada para o elemento em que serão realizados os processos. (TERRA ANÁLISES, 2015).

E por fim o método de microscopia eletrônica de varredura que permite identificar quais elementos estão presentes nas amostras, mas não identifica quais os teores destas. Através da definição de Dedavid, Gomes e Machado (2007, p. 11) pode-se observar os princípios deste método:

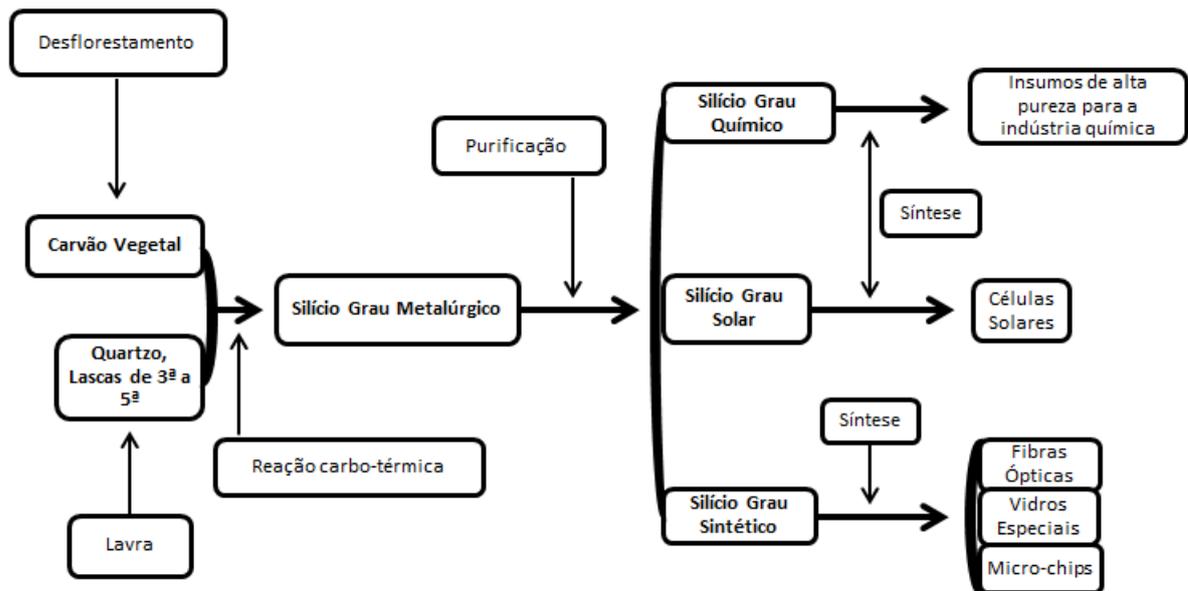
O princípio de um microscópio eletrônico de varredura (MEV) consiste em utilizar um feixe de elétrons de pequeno diâmetro para explorar a superfície da amostra, ponto a ponto, por linhas sucessivas e transmitir o sinal do detector a uma tela catódica cuja varredura está perfeitamente sincronizada com aquela do feixe incidente. Por um sistema de bobinas de deflexão, o feixe pode ser guiado de modo a varrer a superfície da amostra segundo uma malha retangular. O sinal de imagem resulta da interação do feixe incidente com a superfície da amostra. O sinal recolhido pelo detector é utilizado para modular o brilho do monitor, permitindo a observação.

Dentre as impurezas geralmente encontradas no quartzo estão presentes o Ferro em grandes quantidades e o Alumínio, que quando encontrado substitui a função da sílica, promovendo as ligações químicas da estrutura (KAKITANI. *et al*, p. 126, 2012).

2.3 MÉTODOS DE PURIFICAÇÃO DO QUARTZO

As lascas de quartzo utilizadas nos processos de purificação do Silício Grau Metalúrgico (SiGM) são provenientes do rejeito gerado através do garimpo já que o material que os garimpeiros procuram são lascas de primeira, mista e segunda, e as lascas necessárias para o processo de purificação do Grau Metalúrgico são lascas de terceira, quarta e quinta, na tabela abaixo permite-se observar a rota de processamento das lascas para a produção da fibra óptica e de outros bens industriais (CETEM, 2008).

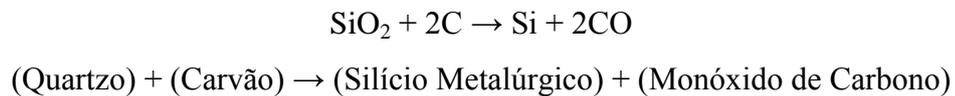
Figura 3 – Rota de processamento das lascas de quartzo.



Fonte: Suzuki (1998 *apud* CETEM, 2008)

O silício pode ser classificado em quatro graus diferentes de pureza, dentre essas classificações está o Silício Grau Metalúrgico (SiGM) que gera o Silício Grau Eletrônico (SiGE) e o Silício Grau Solar (SiGS) e com o refino do SiGM é o possível produzir também a quarta classificação do silício, o Silício Grau Químico (SiGQ). Para a fabricação da fibra

óptica é utilizado também o SiGM que passa por um processo de transformação em tetracloreto de silício (SiCl_4) formando um nível de ultra-alta pureza retornando a sua forma inicial dióxido de silício (SiO_2). O processo para produção do SiGM consiste na mistura do quartzo natural (SiO_2) com carvão vegetal ou mineral (carbono) depois é levado ao forno de arco elétrico submerso que se mantém a uma temperatura de 1800 °C. A reação a seguir define o processo (ARGONZ, 2001):



Mas, segundo Argonz (2001) para que esse processo de obtenção do SiGM seja concluído é necessário gastar grande quantidade de material, apresentando baixa eficiência, para 1 kg de Silício purificado, são necessários 3 kg de quartzo, 2 kg de carvão, 1 kg de madeira e 14 kWh de energia elétrica. A maior parte é transformada em emissões de gás carbônico sendo assim são perdidos, aproximadamente 4,2 kg de CO_2 e 0,5 kg de finas partículas de Sílica. Então Argonz propôs em seu trabalho purificar o quartzo com outros métodos com o método *Quench-leach* e *Crush-leach* e o método de Eletrodifusão (*sweeping*).

O método *Quench-leach* consiste em após ocorrer à liberação dos fluidos das inclusões fluídas por aquecimento em forno elétrico, demonstrar essas inclusões através do *quenching* em água. Posterior a esse processo o material é moído, granulado *crushing* é submetido a um processo de lixiviação em água. Mesmo sendo um processo sem a presença de ácidos o material se enquadra nas especificações de purificação destinadas a produção de quartzo fundido.

Em seu trabalho Argonz (2001), defende a eletrodifusão como método minimizador dos “etch-channels” que são formados posteriormente a ataques químicos, que consistem em canais cavados ao longo das linhas de discordância do quartzo. Além de minimizar o efeito dos etch-channels a eletrodifusão possibilita também a purificação do silício em relação a íons alcalinos e torna o quartzo resistente à radiação, em tempos anteriores a eletrodifusão evitava as radiações focando indústrias aeroespaciais, neste caso essa técnica pode ser aplicada em atmosfera de ar, hidrogênio, nitrogênio ou no vácuo eliminando as impurezas alcalinas associadas com o Al, e impurezas como Na, que segundo Marko *et al.* (2006) são presentes no quartzo de Cristalândia. O equipamento de eletrodifusão é composto por um forno elétrico que tem capacidade de chegar a temperatura de 800°C, com tensão contínua 10 mA e 0 – 3100 Volts, equipados com monitores de tensão e de corrente (ARGONZ, 1996).

Kakitani (2012) desenvolveu em seu trabalho o método de lixiviação, técnica que tem como princípio utilizar compostos com alto poder redutor de impurezas, fazendo com que essas se dissolvam através da mistura de ácidos com o material cominuído, formando sais solúveis que possam ser solubilizados e eliminados facilmente em água. Foi desenvolvida a lixiviação ácida em pó de quartzo, onde se utilizou os ácidos ácido clorídrico (HCl) e o ácido fluorídrico (HF), foram separadas amostras de quartzo de regiões de Minas Gerais, e estas foram abertas, através da combinação com os ácidos por no mínimo 6 horas, e a temperaturas que variaram de 60 a 100° C até se obter as que foram melhor aplicadas para purificação de cada elemento, para a purificação do Al a temperatura ideal foi de 60° C, para a purificação do Fe e demais elementos a melhor temperatura observada foi de 100° C. O fator de purificação ótimo encontrado foi de 74,2%.

Segundo Soares et al. (2012), representado por seu artigo utilizando uma outra forma de obtenção do SiGM é através da redução do SiO₂ utilizando fornos de arco submerso. Após selecionar lascas de quartzo da Bahia e passar pelos processos de cominuição e caracterização, o material é submetido a calcinação a 900°C por no mínimo 60 minutos e posteriormente submetido ao processo de *quenching*, que consiste no resfriamento brusco do material, facilitando assim a moagem e possível remoção de impurezas, o material utilizado chegou a uma pureza de 99,5% de Si.

2.4 SÍLICA VÍTREA

Dentre os diversos aspectos importantes da sílica vítrea, pode-se citar como principais: excelentes propriedades físicas (mecânica, térmica e óptica), excelente durabilidade química, características anômalas em comparação com outros vidros compostos (OGATA, 1997).

Após o quartzo passar pelos processos de purificação alcançando purezas maiores que 99,9% é utilizado para fabricação da sílica vítrea que consiste na fusão desse material puro. A sílica vítrea é utilizada em materiais que exigem altas temperaturas, superiores a 1000 °C. Pode ser obtido por fusão do quartzo natural, areias de sílica pura, quartzo cultivado, ou até mesmo de reações do SiCl₄, ou de precursores livre de cloretos (SCHREIBER, 2005 *apud* GUERRA, 2013). Pode também ser produzida por fusão em cadinhos especiais em fornos elétricos. É usado também na fabricação de componentes ópticos que possuam alta transmitância na região espectral do UV e do visível, podendo estender até o infravermelho próximo (GUERRA, 2013).

2.4.1 Formas da sílica vítrea e seus métodos

Existe distinção entre os métodos de fabricação da sílica vítrea, o que gera diferenças nas concentrações de alguns elementos, segundo Brückner, 1970 e Volf, 1990, *apud* Ogata 1997, e Schreiber, 2005 *apud* Guerra 2013 estes métodos podem ser divididos em 4 tipos comerciais representados a seguir:

Tipo **I**, vidros de sílica produzidos a partir do quartzo natural por fusão elétrica sob vácuo ou sob uma atmosfera com gás inerte, possuem aproximadamente 5 ppm ou menos do grupo –OH e impurezas metálicas da ordem de 30 a 100 ppm de Al e 4 ppm de Na. Aplicações segundo (GUERRA, 2013): substratos para lasers, janelas para infravermelho, lentes prismas, espelhos, elementos de guia de luz, etalons e divisores de feixe entre outros.

Tipo **II**, vidros de sílica produzidos a partir de cristais de quartzo por fusão em chama $H_2 + O_2$, CH_4 (gás natural) + O_2 ou GLP (gás liquefeito de petróleo) + O_2 . (PROCESSO VERNEUIL), possuem menos contaminantes metálicos que o tipo I devido a volatilização parcial e a ausência de cadinho para fusão do vidro. Mas a atmosfera da chama hidrogênio-oxigênio produz uma concentração de OH de 150 – 400 ppm. Aplicações segundo (GUERRA, 2013): processamento de semicondutores, janelas para alta temperatura, lâmpadas especiais, lâmpadas UV, tubos, aplicações industriais.

Tipo **III**, vidros de sílica produzidos a partir de sílica vítrea sintética produzida por hidrólise de $SiCl_4$ quando pulverizada em chama de oxigênio-hidrogênio. Material praticamente livre de impurezas metálicas, mas contém alto teor de OH por volta de 1000 ppm, e devido a matéria-prima inicial Cl por volta de 100 ppm. Aplicações segundo (GUERRA, 2013): lâmpadas UV, aplicações para deep UV, lentes prismas, espelhos, etalons, divisores de feixe, padrões ópticos, microlitografia UV, interferometria, células para espectrofotômetros.

Tipo **IV**, vidros de sílica vítrea produzidos a partir de sílica vítrea sintética produzida do $SiCl_4$ em chama de plasma livre de vapor d'água ou em oxidação em altas temperaturas. Similar ao tipo III, mas contém quantidade de 0,4 ppm de OH e 200 ppm de Cl. Aplicações segundo (GUERRA, 2013): fabricação de fibras ópticas devido ao reduzido teor de OH e metais de transição.

As propriedades ópticas da sílica vítrea variam de acordo com os processos de fabricação por qual elas passaram, pelas impurezas presentes na matéria prima (quartzo), e por imperfeições na rede. Com as variações nos teores de impurezas as propriedades de fusão do quartzo variam obtendo diferentes viscosidades e densidades desses materiais.

Segundo Guerra (2013, p. 20) o processo de fusão pelo método de Verneuil consiste em:

O processo de fusão por Verneuil oferece a vantagem de ser um processo de fusão diretamente na chama do maçarico, dispensando a utilização de cadinhos. Portanto este processo contribui para a redução de impurezas que se volatilizam durante o processo de fusão. O método de Verneuil foi criado para crescimento de cristais tais como rubis, safira e rutilo. O crescimento do cristal é conseguido controlando a fusão e a recristalização do óxido em pó. Com esta técnica é possível a fusão de vários materiais óxidos com ponto de fusão maior que a temperatura alcançada pela chama. Este método permite a fabricação de placas e tarugos também com diâmetros maiores.

2.5 FIBRA ÓPTICA

A fibra óptica pode ser constituída por polímeros ou pela sílica. Durante a década de 50 as fibras ópticas possuíam perdas de cerca de 1000 dB/km e eram utilizadas na medicina sendo de grande importância para a visualização do corpo humano por dentro, através de endoscopias por exemplo, mesmo com essa perda as fibras eram mais confiáveis que o canal de ar, e já era considerada um grande avanço para a tecnologia da medicina (ONO, 2004).

Em seguida em 1966 Kao e Hockham, da Standard Telecommunication Laboratory, observaram que as perdas eram ocasionadas devido à quantidade de impurezas que continham os materiais utilizados para fabricação da fibra óptica e escreveram pesquisas onde passou a ser possível aplicar uma perda de sinal inferior a 20 db/km (ARUMUGAM 2001, *apud* ONO 2004). Mas, o processo só foi realmente realizado quatro anos mais tarde em 1970 onde a Corning inventou a primeira fibra comercialmente viável de baixa perda óptica (CORNING, 2014).

“As fibras ópticas surgiram nos anos 1970 e desde lá têm sido cada vez mais utilizadas na transmissão de dados via internet, TV a cabo, telefonia fixa e móvel, e várias outras aplicações envolvendo imagem e som.” (VASCONCELOS, 2005, p. 76).

A tecnologia é uma área que traz inovação e gera grandes impactos socioeconômicos. A necessidade dessa tecnologia vem aumentando visivelmente, gerando também altas taxas de demanda de transmissão de dados e altas velocidades para a transferência desses dados. A fibra óptica é a tecnologia que tem a capacidade de atingir essas demandas com eficácia e eficiência (SEKIYA, 2001).

2.5.1 Formas da fibra óptica e seus métodos

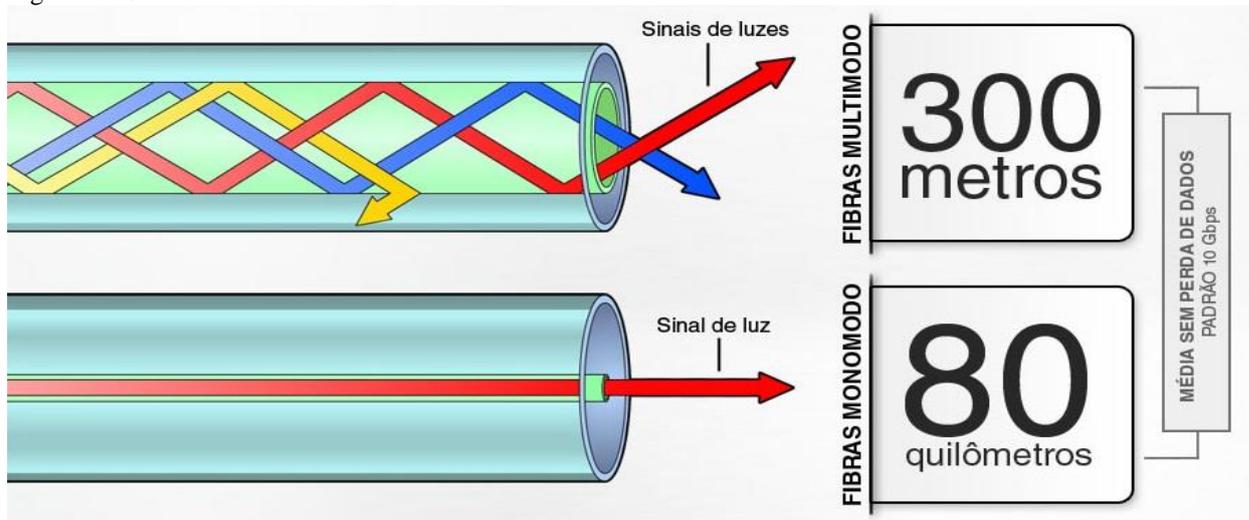
A fabricação de sílica vítrea demanda um pó de quartzo com pureza superior a 99,9% de SiO₂, já que os contaminantes são prejudiciais para as propriedades físicas, comprometendo a qualidade final dos vidros (KAKITANI. *et al*, p. 126, 2012).

As fibras ópticas são formadas por um núcleo central, que é por onde a luz transita a 9 micrômetros (nas fibras comuns), sendo 1 micrômetro igual a 1 milímetro (mm) dividido por mil. [...] A camada externa da fibra que envolve o núcleo, conhecida como casca, serve para fornecer isolamento óptico e possui espessura média de 125 micrômetros, ou 0,125 mm” (VASCONCELOS, 2005, p. 76).

As fibras ópticas podem ser classificadas basicamente em dois tipos, as fibras multimodo (multi-mode), utilizadas principalmente para comunicação a médias distâncias e as fibras monomodo (single-mode) utilizadas para comunicação a grandes distâncias (UNICAMP, 2011).

Analisando a figura abaixo é possível observar como a fibra é formada, demonstrando como é realizada a refração dos sinais dentro da fibra.

Figura 4 – Sinais multimodo e monomodo



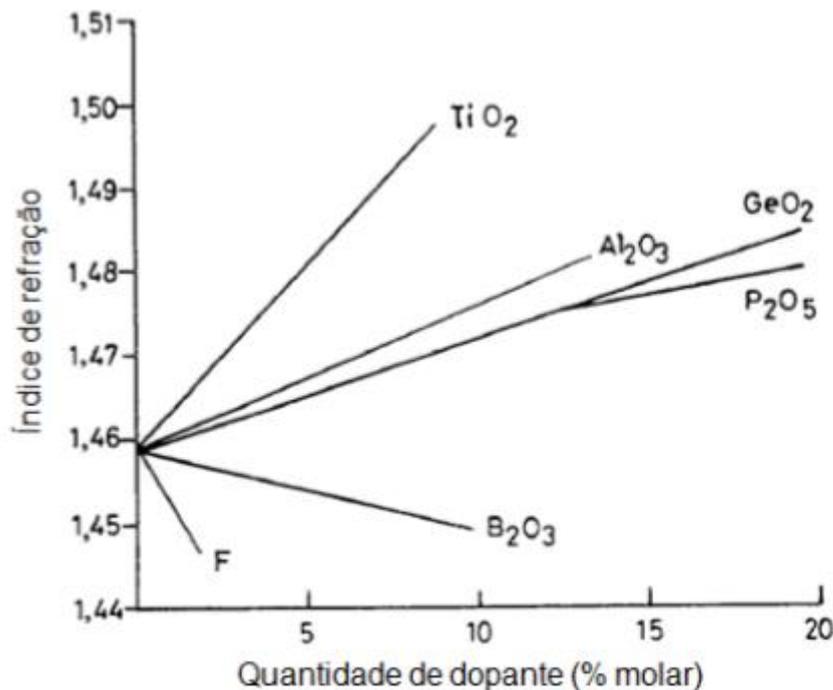
Fonte: Tecmundo (2011)

De acordo com Meyer (2000) a propagação do feixe de luz através da fibra óptica ocorre devido à reflexão interna total. Sabe-se que a relação entre a velocidade e a luz no vácuo e a velocidade da luz num meio qualquer define o índice de refração do meio em questão.

As propriedades ópticas da sílica vítrea, como índice de refração e absorção (oposto da transmitância óptica), podem variar significativamente de acordo com o processo de manufatura do vidro, a cristalinidade, o comprimento de onda e a temperatura. Além disso, propriedades ópticas são fortemente influenciadas pela presença de impurezas, defeitos, inclusões e bolhas. A transmitância óptica de um material mede a sua capacidade de transmissão da radiação luminosa para um determinado comprimento de onda.” (BARAZANI, 2011, p. 15).

A transmitância óptica é afetada sendo assim diminuída por elementos dos grupos hidroxila, defeitos na rede e impurezas metálicas. A adição de óxidos alcalinos (Na_2O , K_2O , Li_2O), por exemplo, aumenta a expansão térmica da sílica vítrea. Já os dopantes TiO_2 , Al_2O_3 , GeO_2 e P_2O_5 aumentam índice de refração do material, ao passo que B_2O_3 e F o reduzem (BARAZANI, 2011).

Figura 5 – Índice de refração da sílica vítrea em função da concentração de dopantes



Fonte: Bruno Barazani (2011)

Em 1930, J. F. Hyde desenvolveu um processo conhecido como deposição de soot, que consiste basicamente na reação com cloretos na fase vapor, produzindo assim a sílica de alta pureza (ONO, 2004).

Segundo Ogata, (1999) para que as fibras ópticas fossem produzidas no Brasil através do método MCVD (Modified Chemical Vapor Deposition) era necessário importar os tubos de sílica, e os gases utilizados para a fabricação, o que restringia muito o tamanho dos tubos de sílica, e os preços aumentavam consideravelmente (aumento de cerca de 50%). Sendo assim a produção das fibras era deficiente. E de acordo com Carlos Suzuki em entrevista à

revista Pesquisa FAPESP (2005), o MCVD é a tecnologia mais utilizada no Brasil. Até então, como mencionado acima essa tecnologia precisa de materiais que geram altos custos, pois são importadas, como o bastão puro de sílica e os gases que atacam a preforma.

A seguir serão descritos os quatro métodos principais para a fabricação da fibra óptica, através das especificações de Ono (2004) e Suzuki *et al.* (2002): MCVD, OVD, PCVD E VAD.

Ono (2004) descreve o processo **MCVD** da seguinte forma: Vapores de SiCl_4 e GeCl_4 são inseridos com o oxigênio (O_2) no interior de um tubo de sílica esses vapores químicos são aquecidos a temperaturas elevadas ($\sim 1600^\circ\text{C}$) por uma chama proveniente de um maçarico externo ao tubo. Da reação de oxidação resulta a deposição da sílica e germânia em camadas, as reações de oxidação seguem as questões abaixo:

- $\text{SiCl}_4 + \text{O}_2 \rightarrow \text{SiO}_2 + 2\text{Cl}_2$
- $\text{GeCl}_4 + \text{O}_2 \rightarrow \text{GeO}_2 + 2\text{Cl}_2$

Durante todo o processo o tubo permanece em rotação constante, é aquecido externamente por um maçarico de $\text{H}_2\text{-O}_2$, o qual se move paralelamente ao tubo. O “soot” é sinterizado logo em seguida devido ao movimento de translação do maçarico. Com a continuidade do processo, tem-se a deposição de camada por camada de vidro, até que se atinja a espessura desejada.

O processo **OVD** (“Outside Vapor-phase Deposition”) é descrito por Ono (2004) a deposição de soot ocorre sobre a superfície de um bastão inicial (alvo), no interior de uma câmara fechada, onde existe um maçarico especial, com chama a base de H_2 e O_2 , no qual há um tubo central por onde sai o vapor de SiCl_4 e GeCl_4 . A reação de oxidação do SiCl_4 e GeCl_4 ocorre através da hidrólise, isto é, inicialmente forma-se vapor d’água, como consequência da reação do H_2 e O_2 e, em seguida, esse vapor d’água reage com os tetracloretos, tendo como subprodutos dessa reação SiO_2 , GeO_2 e HCl , conforme as equações a seguir:

- $\text{SiCl}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{SiO}_2 + 4\text{HCl}$
- $\text{GeCl}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{GeO}_2 + 4\text{HCl}$

Ao final do processo de deposição, retira-se o bastão inicial e obtém-se uma preforma porosa (denominada de “preforma soot”) com um furo central, a qual é colocada em um forno

próprio para serem feitos os processos de desidratação e consolidação da preforma, transformando o soot poroso em um vidro totalmente transparente.

O processo **PCVD** (“Plasma Chemical-Vapor Deposition”) através das descrições de Ono (2004) é realizado da seguinte forma, o gás sob o estado de plasma apresenta alta energia, boa condutividade elétrica e alta viscosidade quando comparado a um gás no estado normal. O processo PCVD utiliza a alta energia do plasma para oxidar o SiCl_4 , o GeCl_4 e o C_2F_4 . Sendo que a deposição dos óxidos resultantes ocorre diretamente na forma vítrea e não como “soot”. Como as camadas são bastante finas, é possível um controle bastante preciso do perfil de índice de refração da preforma. O plasma é gerado por uma cavidade de microondas (ressonador), que trabalha com alta frequência (aproximadamente 2,5 GHz). É necessário manter a pressão baixa no interior do tubo durante o processo (entre 10 e 30 Torr). Gera-se então um plasma de baixa pressão dentro do tubo substrato, fazendo com que o SiCl_4 , o GeCl_4 , o C_2F_4 e o O_2 reajam entre si, formando os óxidos dopantes. O tubo permanece em rotação constante durante todo o processo, existe ainda um sistema de aquecimento.

Já através do método **VAD** (Vapor-phase Axial Deposition) que tem menor custo, pois emprega um subproduto de silício, e através do efeito Rayleigh, passa por uma correção de um efeito indesejado que atenua o sinal luminoso, sendo assim torna a luz transmissível a maiores distâncias.

O processo VAD é um processo muito estudado pela Universidade de Campinas no Laboratory of Integrated Quartz Cicle. Conforme os autores Suzuki, *et al* (2002) o processo VAD (Vapor-phase Axial Deposition) consiste na seguinte sequencia:

1° Um alvo substrato constituído de sílica pura doravante denominado “alvo”, é inicialmente preparado e inserido no interior de uma câmara de reação com uma de suas extremidades suspensas por um mecanismo de suporte de modo que o alvo possa ser girado ao longo de seu eixo longitudinal a uma velocidade constante.

2° Oxigênio, hidrogênio e outros gases combustíveis e insumos básicos SiCl_4 e GeO_2 conforme as seguintes reações:

- $\text{SiCl}_4 + 2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{SiO}_2 + 4\text{HCl}$
- $\text{GeCl}_4 + 2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{GeO}_2 + 4\text{HCl}$

3° Essas finas partículas geradas são pulverizadas e depositadas gradualmente em camadas na parte inferior do alvo em rotação o qual irá formar o corpo da preforma de fibra óptica. O corpo da preforma porosa de fibra formado através do método VAD é então convertido através de tratamento térmico em uma preforma vítrea transparente utilizada na produção de fibra óptica.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

De acordo com Marconi e Lakatos (2002) o método científico é a teoria da investigação para permitir alcançar os objetivos de forma científica. Este capítulo contextualiza esta pesquisa quanto ao tipo, fins e meios para condução do trabalho visando a consecução dos objetivos propostos.

Segundo Vergara (2010) esta pesquisa é classificada quanto aos fins como aplicada, pois é motivada pelo intuito de resolver necessidades concretas: a realização de experimentos laboratoriais, avaliando o quartzo de Cristalândia para a produção da fibra óptica. Foram desenvolvidas ao decorrer deste trabalho, análises das lascas de quartzo de Cristalândia-TO, que passaram pelas etapas de coleta de amostras em campo. A intenção inicial do projeto era de passar por processos de cominuição, primeiramente passando pelo processo de britagem utilizando o britador de mandíbulas, em seguida pela moagem, utilizando o moinho de bolas até chegar a granulometrias precisas, que permitem observar a aplicabilidade aos requisitos necessários para analisar as impurezas contidas e estudar os métodos que serão realizados para a purificação das lascas de quartzo, mas como não é possível analisar as impurezas e realizar a purificação no laboratório disponível na faculdade, foi necessário terceirizar os serviços de análises. Embora o laboratório ofereça condições de realizar a preparação das amostras, para que não houvesse contaminação os processos de preparação das amostras também foram terceirizados.

Quanto aos meios, trata-se de uma pesquisa bibliográfica e laboratorial, que submeteu o quartzo, após passar pelo processo de cominuição à diferentes métodos em laboratório para analisá-lo. Entre os métodos previstos estão: a Espectrofotometria de Absorção Atômica (AAS) que consiste na absorção da luz ultravioleta ou visível por átomos no estado vapor. Outras duas técnicas que podem ser utilizadas na verificação das impurezas contidas no quartzo é a técnica de Espectrometria de Fluorescência de Raio-X (FRX) e a Espectroscopia Infravermelho (IV). Por enquanto os métodos de análises obtidos foram os de Espectrofotometria do Molibdato de Amônio para identificar o teor de silício, Espectrometria por Absorção Atômica para identificar o teor de ferro e também o método de Espectrometria por Absorção Atômica para o teor de alumínio. Além de terem sido enviadas amostras para serem analisadas pelo método de Microscopia Eletrônica de Varredura, podendo através desse processo identificar quais os elementos que compõem as amostras.

Além disso, os estudos laboratoriais vão cobrir estudos para identificar um possível tipo de purificação do quartzo que será mais viável para a produção da sílica de alta pureza, constituído por pós de grande pureza, matéria-prima da fibra óptica. Depois da análise do quartzo, observar qual método será mais viável para fabricação da fibra óptica (dependendo do método poderá ser alterado a forma de purificação, e os produtos básicos). Alguns métodos de purificação que as lascas podem ser submetidas são: o processo de silício grau metalúrgico, que forma um nível de ultra-alta pureza, retornando o silício a sua forma inicial (SiO_2) realizado com aquecimento em forno de arco elétrico. O método *crush-leach* e *quench-leach* que são utilizados de forma conjunta, consistindo no esmagamento das lascas liberando os fluídos das inclusões e posteriormente análise da composição desses fluídos, respectivamente, seguindo para a fase de lixiviação sem a presença de ácidos. O processo de lixiviação ácida. E o método de eletrodifusão, que substitui íons alcalinos por hidrogênio e este é realizado após os processos de lixiviação.

Antes de dar início aos processos de análises, buscou-se a comunicação com diversos estudiosos no ramo da fibra óptica que indicaram artigos importantes para o desenvolvimento desse trabalho. O Senhor Dr. Carlos Kenichi Suzuki que é o responsável pela implantação dos projetos relacionados à fibra óptica na Unicamp (Universidade de Campinas), indicou o site do Laboratório Ciclo Integrado de Quartzo (LIQC), a partir da pesquisa realizada com diversos trabalhos desenvolvidos na área, bem como a vários artigos, em seguida analisou-se um dos projetos encontrados, sendo de grande relevância a tese de doutorado do Senhor Dr., Eduardo Ono, decidiu-se então entrar em contato com o autor, que se prontificou, e indicou o laboratório de que tinha conhecimento na fabricação de fibra óptica, a empresa Draka localizada em Sorocaba (SP), fabrica os cabos através do método PCVD. Observando alguns projetos desenvolvidos nessa área, pôde-se encontrar também a empresa Furukawa, uma das referências no seguimento, que tem representante na cidade de Curitiba (PR), depois de entrar em contato com a sede da empresa obteve-se a resposta do senhor Flavio Noritaka Hirose, que auxiliou na resposta de algumas dúvidas frequentes, e se disponibilizou a ajudar quando necessário. Uma tese que também foi de grande importância foi a de Argonz (2001), que descreve a purificação do quartzo através dos métodos *quench-leach* e *crush-leach*, que também realizou análises realizadas com o uso do quartzo de Cristalândia.

Para a fabricação da fibra óptica existem diversos métodos e para que ela possa ser desenvolvida é preciso analisar qual se adequa melhor a condições de purificação do quartzo, tendo encontrado métodos diferentes, que possuem certos passos em comum, descritos no referencial teórico.

Os procedimentos de realização dos trabalhos foram, inicialmente, pesquisas e busca de materiais teóricos que pudessem embasar o desenvolvimento deste projeto para buscar agregar valor ao cristal de quartzo que é encontrado na região. Posteriormente houve a coleta de materiais, amostras, encontradas em Cristalândia, mais precisamente no garimpo Baixa da Égua, para que após os processos de análise pudessem dar um “norte” nos próximos caminhos a serem tomados.

4 ANÁLISES

Os primeiros passos desse projeto foram buscar em bibliografias alcançadas, denominações do quartzo de Cristalândia, e posterior análise em laboratório, assim pôde-se entender mais como a purificação do quartzo é realizada, e buscar de forma eficiente trazer a melhor forma de purificação para a região, gerando emprego e renda a muitos que vivem no local.

4.1 CIDADE DE CRISTALÂNDIA

Cristalândia município localizado no Tocantins com cerca de 7.393 mil habitantes e com extensão territorial de 1848,24 km² (IBGE, 2010), distando 150 km da capital Palmas. Localizada em área identificada com uma zona de ocorrência de quartzo hidrotermal (figuras 1 e 2 vide página 15 e 16 respectivamente). A região busca através do quartzo desenvolver seu potencial econômico, este projeto de pesquisa visa contribuir para este processo ao analisar a purificação do quartzo e busca da produção de sílica vítrea. A sílica vítrea consiste no quartzo purificado pronto para ser utilizado na produção de fibra óptica e pode gerar renda a muitas famílias, além das 44 que pertencem ao grupo garimpeiro da região, girando também a economia da cidade e do entorno.

4.2 GARIMPO CRISTALÂNDIA

Os processos de retirada de quartzo da região de Cristalândia e Pium iniciaram por volta de 1939 com processos manuais, sem nenhuma utilização de maquinário, e através dos estudos realizados observou-se que o quartzo do Brasil e de Cristalândia era exportado para utilização na segunda guerra mundial, fato que ocorreu um pouco depois do início das explorações realizadas em Cristalândia e Pium, mas com o tempo as necessidades em tecnologias aumentaram e os processos manuais deixaram de ser realizados, devido as dificuldades em que se encontravam.

No final da década de 80 os processos foram retomados, mas agora o que impediu a continuação do projeto de exploração do minério atribuiu-se as questões ambientais. A extração sem lavra bem definida, com pilhas de estéril e rejeito em locais sem planejamento estratégico, avanço da mineralização sem a organização adequada, e o alcance do lençol freático, que necessita de cuidados especiais, questões que poderiam ser resolvidas se as

pesquisas geológicas fossem adequadas e permitissem a identificação das reservas e seus locais.

A falta de conhecimento das legislações ambientais e procedimentos demandados pelos órgãos regulamentadores fragilizou a comunidade de garimpeiros que requer o apoio de entidades como o governo, SEBRAE, SESCOOP/OCB e universidade (como o CEULP/ULBRA). Foi preciso então entrar junto ao órgão ambiental requerendo a licença de operação, e posteriormente ao DNPM solicitando a PLG, permissão de lavra garimpeira, que foi liberada somente nos anos de 2009 e 2010, respectivamente, após a formação da cooperativa em 2006.

Atualmente o garimpo é realizado, retirando primeiramente o estéril com escavadeiras até alcançar os veios mineralizados, essas máquinas são locadas pelos garimpeiros por altos valores, pois a cooperativa ainda não possui seu próprio maquinário, e dependendo da ocasião a lavra é feita através de jatos d'água, utilizando a água do lençol freático, para que assim o minério não perca seu valor artesanal, pois a lavra do quartzo com escavadeiras pode ocasionar a obstrução do material com esses fins, mesmo sem perder a sua capacidade siderúrgica.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DO QUARTZO DO BAIXA DA ÉGUA.

O quartzo como elemento principal possui o SiO_2 , e pode possuir diversos outros elementos, o quartzo de Cristalândia que já foi analisado por alguns autores, demonstrou conter concentrações maiores de NaCl e CaCl_2 e sua formação foi realizada com temperatura inicial de 400°C diminuindo até chegar a valores como 280°C , com altos graus de salinidade, a pressões de 300 MPa o que é também uma característica de veios hidrotermais. Geralmente em análises do quartzo é encontrada concentrações consideráveis de Al e Fe, elementos esses que acabam dificultando um pouco a purificação do quartzo.

Para que as análises mais detalhadas do quartzo do Baixa da Égua sejam possíveis, desenvolveu-se de acordo com o decorrer deste trabalho o contato com laboratórios especializados, pois como foi citado acima encontra-se problemas como a falta de aparelhamentos, e gerenciadores destes, para manusear as análises, além de contar com o risco de contaminação de amostras, pois os equipamentos que estão dispostos em laboratório para ajudar o processo de cominuição são utilizados para diversas análises com materiais de naturezas diferentes das que se é possível encontrar no quartzo, assim para não haver a interferência nas amostras a análise foi realizada em outros laboratórios.

O laboratório Terra Análises para Agropecuária localizado na cidade de Goiânia que desenvolve as análises das lascas desenvolve o seguinte método: primeiramente é necessário homogeneizar toda amostra e reduzir por quarteação até obter uma quantidade de aproximadamente 250 g. Dividir esta quantidade, por quarteação, em duas frações iguais. Uma delas será utilizada na análise granulométrica. A outra fração, destinada à análise química, deve ser moída e passada totalmente em peneira com abertura de malha de 0,84 mm (ABNT n° 20). As peneiras utilizadas nos processos são limpas, secas e taradas. Pesar integralmente a fração da amostra reservada para tal, com precisão de 0,01 g, e transferi-la para o conjunto de peneiras, tampar, e agitar durante 5 minutos. Pesar cada peneira e o fundo, e calcular a fração neles retida; em seguida, calcular o percentual do material passante.

Passado o processo granulométrico tem-se em seguida a análise química, o silício é determinado através da espectrofotometria, após ocorrer a abertura da amostra utilizando o ácido clorídrico e o ácido fluorídrico a frio. Esses ácidos promovem a dissolução da amostra, liberando o tetrafluoreto de silício que reage com a água e forma os ácidos silícico e fluorsilícico que irão agir com o molibdato gerando o silico-molibdicos. O equipamento utilizado para a análise da amostra aberta é o espectrofotômetro uv-visível digital.

As análises do ferro e do alumínio, que passam por todos os processos de cominuição citados acima, posteriormente fundamentam-se na extração por digestão ácida, do elemento contido na amostra e a medida de sua concentração por meio da técnica de absorção atômica. Utilizando o equipamento de espectrômetro de absorção atômica, equipado com a lâmpada de ferro para se obter a quantidade presente na amostra deste minério, e posteriormente a lâmpada de alumínio para determinar a composição por alumínio.

Figura 6 – Amostras de quartzo



Fonte: Autor

As amostras enviadas para análise foram coletados dia 23/09/2014 nas coordenadas com latitude de 10°36'38.68" S e longitude de 49°11'20.47" O e em seguida enviadas para o

laboratório Terra Análises Para Pecuária (LTDA), localizado em Goiânia, permitindo verificar o teor de Si, Fe, e Al, foram enviadas três amostras, podendo obter assim uma análise mais confiável as amostras enviadas foram de BE01 – 450 g; BE02 – 435 g; BE03 – 475 g.

Figura 7 – Amostras selecionadas para análises, BE – 01, BE – 02, BE – 03.



Fonte: Autor

Como o sistema de análise adotado inicialmente permitiu-se escolher apenas três elementos para a realização de análise, não foi possível identificar quais elementos tornam os cristais de quartzo impuros apenas foi possível identificar os teores desses três elementos analisados, assim uma segunda técnica que foi preciso buscar, foi a varredura do material, podendo mostrar quais elementos estão presentes, mas sem determinar os teores totais dessas impurezas, o material foi enviado para a sede da ULBRA em Canoas (RS), local que dispõe de laboratórios especializados e estão em processo de análises.

4.4 PROPOSTA EM RELAÇÃO ÀS ANÁLISES

Através das análises realizadas observou-se que o quartzo precisa realmente passar por alguns processos de purificação, as amostras enviadas para o laboratório apresentaram os seguintes resultados:

Tabela 1 – Caracterização do quartzo para teores de SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3

Amostras	Teor SiO_2 %	Teor Al_2O_3 %	Teor Fe_2O_3 %
BE 01	68,8	0,20	0,6
BE 02	61,5	0,19	0,4
BE 03	74,3	0,17	0,3

Fonte: Laboratório Terra Análises (2015)

A média de Silício (Si) encontrado nas amostras foi de 68,2%, a mediana foi de 68,8%, o desvio padrão de 5,24% para que a obtenção da sílica pura ocorra são necessários 99,9% de pureza (direcionada a fibra óptica). A análise do alumínio é de grande importância,

devido este elemento substituir as ligações de silício, o que torna o processo de purificação mais complicado, geralmente esse elemento e o ferro encontram-se em grandes quantidades no quartzo, diferente do que se pôde observar nas análises realizadas.

Este projeto busca indicar a aplicação de métodos que associados busquem o grau perfeito de purificação, já que o quartzo natural de Cristalândia possui baixos teores de pureza, e para que as lascas de terceira, quarta e quinta possam ser utilizadas nesses processos de purificação com fins industriais. O quadro abaixo indica o motivo pelo qual cada método é importante e as limitações destes.

Quadro 1 – Métodos de purificação, justificativas e limitações.

Métodos de Purificação	Justificativa	Limitações
Lixiviação Ácida	Alto poder redutor de impurezas, diluindo-as.	Descarte de ácidos e análises dos resultados.
Eletrodifusão	Elimina os canais cavados formados após a lixiviação e as impurezas alcalinas.	Ausência de equipamento e análise de resultados.
Queima em fornos de arco Submerso	Retorna o silício para a sua forma inicial através de altas temperaturas.	Ausência de equipamento e análise de resultados.
<i>Quenching</i>	Resfria a matéria eliminando as impurezas presentes superficialmente.	É realizado em conjunto com os outros métodos

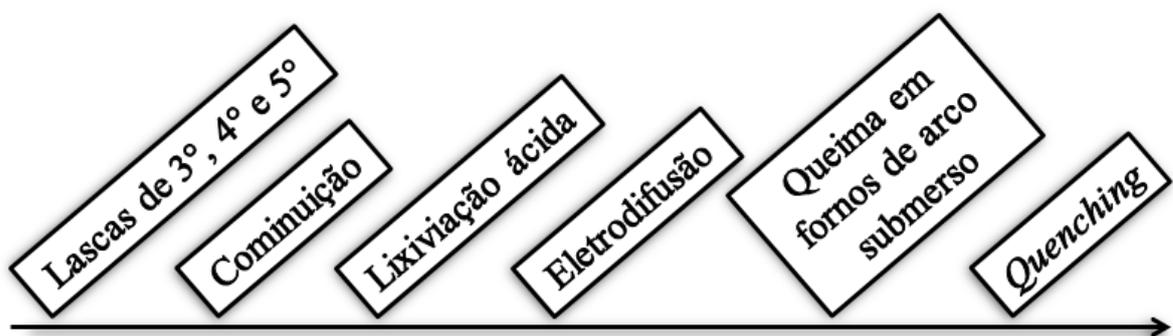
Fonte: Autor

O primeiro processo que pode ser aplicado é o método de lixiviação ácida, que tem como passo inicial a cominuição das amostras, em britadores e moinhos autógenos, que são revestidos de materiais com a mesma composição do quartzo, para não ocorrer a ação de interferentes, fazendo com que essas fiquem em granulometrias adequadas para que ocorra a liberação das impurezas, posteriormente é realizado o processo que consiste na eliminação das impurezas contidas nas amostras utilizando o método de lixiviação, que pode ser alcançado

com diferentes tipos de ácidos, que podem ser relatados e detalhados após as diferentes análises realizadas, mas possui um problema em ser prejudicial ao meio ambiente devido o grande descarte dos rejeitos ácidos para processos que são realizados em grandes escalas. Os que serão realizados em Cristalândia, inicialmente, não serão processos em grandes escalas, mas terão proporções maiores que os processos realizados em laboratório. Juntamente com esse processo poderão ser realizadas a eletrodifusão, aproveitando o material já cominuído e lixiviado eliminando os canais cavados encontrados nas linhas de discordância do quartzo, além da eletrodifusão ter a função de eliminar impurezas alcalinas e o Na, presente no quartzo de Cristalândia. Posterior a esses processos se o grau de pureza do silício não tiver sido alcançado é indicado o método em que o material é calcinado a temperaturas de 900°C por no mínimo 60 minutos, e posteriormente submetido ao *quenching*, consistindo no resfriamento das partículas.

A figura 8 (vide página 36) representa uma sequência de diferentes métodos de purificação que podem ser aplicados nessa ordem buscando alcançar o grau puro, sendo necessárias pesquisas para comprovar a utilização desses processos, além de analisar se eles realmente se adequam ao quartzo proveniente dos garimpos de Cristalândia.

Figura 8 – Sequência proposta para obtenção do silício purificado.



Fonte: Autor

São processos simples, mas que precisam de investimentos, buscando equipamentos eficientes para a cominuição do material, ácidos e compartimentos que auxiliem na utilização desses ácidos sem riscos, e todo o laboratório que envolve a utilização desses materiais, além do equipamento que permite a realização da eletrodifusão e o forno de arco elétrico submerso, para a realização da finalização do processo para obter o quartzo de grau de silício metalúrgico.

Retomando a figura 3 (vide página 18), pode-se observar que o método proposto durante esse projeto conte com algumas diferenças do método da figura representada, mesmo que os dois busquem a obtenção do silício grau metalúrgico, onde procuram também utilizar lascas de 3 a 5° grau. Durante esse projeto existiu o intuito de trazer com diferentes métodos os mesmos fins de purificação, mas com menos emissão de gás carbônico.

É notável também através da representação da figura 3 que além de direcionar o silício obtido para a fabricação da sílica vítrea tornando o grau de silício sintético, o silício de grau metalúrgico encontrado por este método proposto pode ser direcionado também para a obtenção de silício grau solar e silício grau químico, evidenciando assim a importância da obtenção do silício grau metalúrgico para diversas utilizações finais.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES – RECOMENDAÇÕES FUTURAS

Inicialmente o objetivo desse projeto se consistia em trazer para o Tocantins a produção da fibra óptica com a utilização do quartzo de Cristalândia e a mão de obra da cidade, com o decorrer do desenvolvimento do trabalho observou-se as complexidades que necessitam ser superadas até a constituição da fibra óptica. Optou-se em dar enfoque na produção de sílica purificada que possibilita uma futura utilização envolvendo a fibra na forma de bastões iniciais e não abordar a complexidade total das cadeias para a fabricação da fibra óptica. Os elementos que a compõem e a proposta para operacionalizar o fluxograma 1 (vide fig. 8) que são possivelmente implementáveis.

A fabricação da fibra necessita passar por diversos processos, na região pesquisada, não se encontra infraestrutura física para tal. Pois, os processos de fabricação da fibra óptica envolvem diversos artifícios como, por exemplo, a fabricação dos bastões de vidro iniciais que após sua fabricação precisam passar por processos de limpeza em ácidos, posteriormente a fusão entre esses bastões, formando bastões maiores, a injeção de gases dopantes juntamente com gases de sílica. O germânio pode ser utilizado como elemento dopante, após os processos de injeção de gases e os processos de fusão os bastões passam por processos de puxamento, até se tornar no bastão de sílica inicial em finas partículas de vidro, os fios de fibra óptica. Para que o quartzo de Cristalândia possa ser utilizado nesses processos ele precisa passar por sua caracterização, e por processos de purificação, pois estes exigem a sílica de alta pureza, para isso desenvolveu-se a análise do quartzo, e posteriormente os possíveis métodos em que este pode vir a ser submetido para alcançar o grau de pureza necessário.

Como primeiro passo a ser tomado, após os contatos realizados com importantes autores de teses e dissertações, e bibliografias reunidas, buscou-se a identificação do quartzo disponível, procurando entender quais elementos compõem o minério que poderá ser destinado ao setor industrial, podendo caracterizá-lo em relação aos teores de alguns elementos, mas a sua composição total só será possível depois de realizadas análises com microscopia eletrônica de varredura (MEV) e através dos resultados da microscopia, utilizá-los para identificar mais precisamente os teores dos elementos que fazem parte da composição desse minério. Após a conclusão desses passos será possível alcançar um dos objetivos iniciais desse projeto, em que consiste a identificação da composição do quartzo.

Os processos de purificação do quartzo para altos teores de pureza como o caso da sílica destinada à fibra óptica são processos que exigem muita eficiência do método a ser utilizado. Ao longo da pesquisa identificou-se algumas técnicas que possibilitam a purificação do quartzo para a produção do quartzo sintético, e que foram aplicadas utilizando materiais de diversas regiões. Mas, poucos testes foram realizados baseados nos tipos de quartzo encontrados em Cristalândia. Portanto estudos futuros recomendados são parcerias com laboratórios e centros de pesquisa que detenham os recursos para conduzir os experimentos laboratoriais identificados neste projeto com o quartzo de Cristalândia

Além da utilização do quartzo na indústria de fibra óptica ele pode ser destinado a indústria de células fotovoltaicas que exige altos teores de pureza e tem como finalidade transformar energia luminosa em energia elétrica, pode ser destinado também a indústria de semicondutores que são condutores de eletricidade, e o silício é um elemento fundamental utilizado para a construção de dispositivos eletrônicos. O quartzo pode ser destinado também a indústrias em geral, como por exemplo, indústria de abrasivos, cerâmica, metalurgia, dentre diversas aplicabilidades desse elemento que podem ser aproveitadas para atividades fins da mineração do quartzo de Cristalândia.

Portanto, os objetivos específicos desse projeto foram alcançados em partes, devido à falta de suporte tecnológico e a falta de maiores recursos para poder caracterizar melhor a constituição do quartzo. Foi possível identificar o teor de apenas três elementos e a resposta dos testes de varredura ainda não foi disponibilizada, quanto a caracterização do quartzo quanto aos teores de todos os seus constituintes ainda não foi alcançada, mas foi possível identifica-lo como quartzo hidrotermal, baseado em estudos realizados, identificando assim a temperatura e a pressão em que foi formado. Os demais objetivos como as técnicas de beneficiamento e uma proposta para purificação foram atingidos.

Paralelo a esse estudo estão sendo desenvolvidos trabalhos que agregam valor a esse e auxiliam na busca de um bem comum, como por exemplo, a semelhante busca por purificação do quartzo voltado para a indústria fotovoltaica onde o trabalho pretende desenvolver o processo de lixiviação ácida utilizando para as reações o ácido nítrico, clorídrico e sulfúrico de diferentes formas. Outro projeto que está sendo desenvolvido é através da busca por agregar valor ao ciclo integrado do quartzo, procurando encontrar as melhores rotas de beneficiamento, analisando mercado, clientes produtores, identificando assim gargalos e impedimentos na produção do quartzo. Observou-se ainda em outros projetos em desenvolvimento pelos acadêmicos de Engenharia de Minas, estudos para propor melhorias à região de Cristalândia, entre eles: método de desmonte hidráulico, métodos de lavra e a

estabilidade dos taludes. Cita-se ainda outro projeto de grande importância na busca pela lapidação dos materiais, para que esses tenham fins ornamentais e sejam agregados valores estéticos, utilizados com esse fim por poucos que dominam a técnica de lapidação em Cristalândia.

Nota-se que as hipóteses se confirmaram no decorrer do desenvolvimento do projeto, iniciando pelas análises envolvendo o quartzo de Cristalândia e precisam ser expandidas para atender as necessidades de conhecer os constituintes do quartzo que é encontrado em diversas formas na mesma região, podendo variar seus teores de acordo com as diversas localidades em que é encontrado, e a representatividade desses locais é essencial. Além de realizar pesquisas relacionadas aos teores do quartzo, pesquisas relacionadas ao tamanho da reserva já que esses dados não são conhecidos é um importante passo a seguir para estudos de viabilidade econômica para exploração deste minério. Conhecer melhor a constituição do quartzo e sua estrutura podem trazer bases maiores para futuras utilizações deste minério, mas, para se conhecer melhor o quartzo é preciso que haja investimentos em pesquisas já que as análises laboratoriais em grandes escalas necessitam de valores onerosos. Tanto para a cubagem da jazida como para a análise do quartzo é necessário buscar então após a varredura da amostra, identificar seus constituintes, os teores destes é um passo importante a ser tomado. Por isso, análises mais detalhadas e coletas de amostras em diversas áreas, aplicando técnicas de amostragem e quarteramento podem gerar estimativas abrangendo a região por completo. Talvez antes da aplicação dessas técnicas de amostragem e quarteramento o minério precise passar por processos de cominuição já que é encontrado em grandes cristais, o que pode prejudicar um bom processo de separação de amostras e granulometrias adequadas já que estes são essenciais para a representatividade da amostra.

Outra hipótese confirmada é a de que se beneficiado o quartzo em Cristalândia, esse processo irá agregar mais valor econômico ao minério, para que isso aconteça os processos de purificação precisam ser instalados. Foi possível observar nos estudos realizados que a sílica purificada (sílica vítrea) é importada, e que as maiores reservas de quartzo estão no Brasil. Então é possível entender que o material sai do Brasil em sua forma bruta, em lascas, e retorna ao mesmo beneficiado. A demanda de quartzo beneficiado em formato de fibra óptica é muito alta, dada a necessidade de sinais mais rápidos com perdas menores. A fibra óptica precisa muito de manutenções constantes para que esses sinais não diminuam sua velocidade, dado desgaste que elas sofrem com o tempo, podendo também acontecer rupturas por interferências externas. Para que o projeto de implantação dos processos de purificação tenha mercado consumidor do produto fabricado é necessário que antes se façam estudos de

mercado que possibilitem acordos com empresas privadas fabricantes do produto final, fibra óptica, para que a implantação dos processos e futura produção de sílica vítrea não fiquem ociosas e sem destinos concretos e planejados.

Esse projeto foi baseado principalmente na busca de estudos que pudessem indicar possíveis formas de purificação do quartzo, entendendo melhor como os processos acontecem e observando as diferentes técnicas utilizadas. Este estudo também contribui com as diferentes formas de utilização dos processos para que através destas seja possível entender os métodos e poder aplica-los nos quartzos das diferentes localidades produtoras no TO, quando dispuser dos materiais e equipamentos necessários, poderá se associar mais de um método para obter um grau de pureza mais alto que o disposto apenas com um. Isso possibilitará análises das purificações de acordo com a obtenção de cada material passado pelos processos, avaliando a viabilidade econômica e também as condições que cada um pode oferecer como, por exemplo, danos ao meio ambiente, altos investimentos, entre outros.

É difícil comparar quais métodos seriam mais eficazes para o quartzo sem maiores testes com o quartzo específico de Cristalândia, já que os estudos encontrados foram realizados com lascas de diferentes regiões, com diferentes teores de cada elemento. Então estudos mais aprofundados e análises com cada tipo de método sendo comparado com lascas com as mesmas quantidades de impurezas seriam o ideal para uma investigação adequada de qual método se aplica melhor a região, e a união dos métodos indicados pode gerar graus de alta pureza, como próximos passos a serem tomados, pode-se citar a parceria com laboratórios para possíveis testes da efetiva purificação.

Com a identificação do grau de pureza que o processo pode trazer para o quartzo de Cristalândia e se o teor for considerado suficiente para a fabricação da sílica vítrea sintética, será necessário estudar mais a fundo as técnicas utilizadas para a fabricação da sílica tipo IV. Para então focar neste processo de fabricação por meio da sílica sintética que possui menos teores de OH e impurezas metálicas sendo a mais indicada para a fabricação da fibra óptica, como já dito anteriormente ela é realizada através da hidrólise de SiCl_4 .

O caminho pode parecer longo, mas com certeza vale a pena investir no setor, pois é a possibilidade de colocar o estado do Tocantins em direção a indústrias de ponta e de alto valor agregado.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho observou-se a dificuldade em que consiste o desenvolvimento de projetos que envolvem a fibra óptica no Tocantins, devido altos custos de produção e poucos desenvolvedores que estão presentes no país. Além de observar que cada etapa até a conclusão da fibra óptica é de grande importância e precisa ser bem elaborada para que esta alcance sua excelência.

Mesmo com diversos modos de produção da fibra óptica, todos necessitam de sílica purificada, para que as contaminações não afetem os feixes de luz a ser propagados, a sílica para ser purificada necessita passar por diversos processos objetivando alcançar essas especificações, até obter o grau de pureza necessário, para alcançar esse grau de pureza da sílica, também são encontradas dificuldades, tanto para pesquisas laboratoriais quanto para futuras implantações da produção da sílica purificada, para conseguir concretizar os processos de análises em laboratório seriam necessários diversos suportes que não se encontram em disponibilidade, moinhos autógenos, microscopia eletrônica de varredura, dentre vários equipamentos necessários para a viabilização das análises necessárias e que foram descritos durante o desenvolvimento do projeto.

Quando as análises propostas se concretizarem e os métodos de purificação realizados, observando bons graus de pureza o próximo passo a ser tomado é destinar o silício purificado para as indústrias envolvidas, obtendo o valor agregado ao material. Outro estudo que pode ser realizado também é em relação à destinação do silício com grau puro para a produção dos quatro tipos de sílica vítrea, envolvendo desde a produção de semicondutores, a produção da fibra óptica, buscando parcerias com empresas que necessitem desse material purificado.

Entretanto, esses projetos só podem ser implantados após a realização de pesquisas que confirmem a existência de grandes reservas, além de estudos relacionados à forma de lavra do depósito, a locação das pilhas de estéril e rejeito, além do processamento de limpeza inicial, seguindo para o beneficiamento proposto nesse projeto, alguns desses estudos estão sendo realizados atualmente, mas seria de grande importância maiores suportes para que as pesquisas geológicas que precisam de altos investimentos possam ser concretizadas.

Desenvolver esse trabalho foi complexo devido às dificuldades vividas no decorrer do desenvolvimento do projeto, um dos problemas encontrados foi a falta de equipamentos adequados para a purificação e análise, como também a falta de recursos laboratoriais e financeiros, fatos que ocasionaram a mudança do objetivo. Espera-se que a pesquisa e as

referências apresentadas auxiliem posteriores projetos que permitam desenvolver de fato a purificação do quartzo com excelência, utilizando equipamentos adequados para cada processo, possibilitando a utilização na fibra óptica ou em diversos campos que dependem da sílica purificada.

7 REFERÊNCIAS

ARGONZ, Raquel. **Purificação de rejeitos de lascas de quartzo das indústrias de silício**. 2001. 101 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Materiais e Processos de Fabricação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

ARGONZ, Raquel. **Eletrodifusão (sweeping) em quartzo cristalino**. Campinas: Laboratory Of Integrated Quartz Cycle. Disponível em: <<http://www.fem.unicamp.br/~liqcqits/personnel/suzuki/IM325/raquel.htm>>. Acesso em: 20 abr. 2015.

BARAZANI, Bruno. **Investigações sobre a sinterização de sílica vítrea por plasma pulsado**. 2011. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia de Controle e Automação Mecânica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Campinas, 2011.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. . **Índice de geologia e mineração: Proterozóico**. Disponível em: <<http://www.dnpm-pe.gov.br/Geologia/Proterozoico.htm>>. Acesso em: 20 jun. 2015.

CETEM. Pedro Luiz Guzzo. Centro de Tecnologia Mineral - Ministério da Ciência e Tecnologia. **ROCHAS & MINERAIS INDUSTRIAIS: Quartzo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Cetem, 2008. 33 p.

DARDENNE, Marcel Auguste. **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: Depósitos minerais no tempo geológico e épocas metalogenéticas**. Brasília: CPRM, 2003. 13 p.

DEDAVID, Berenice Anina; GOMES, Carmem Isse; MACHADO, Giovanna. **Microscopia Eletrônica de Varredura: Aplicações e Preparação de Amostras**. Porto Alegre: Edipucrs, 2007. 60 p.

GOOGLE BLOG: Mais capacidade de internet para a América Latina. 09 out. 2014. Disponível em: <<http://googlebrasilblog.blogspot.com.br/2014/10/mais-capacidade-de-internet-para.html>>. Acesso em: 17 out. 2014.

GUERRA, Christiano Pereira. **Desenvolvimento de sílica vítrea por fusão em chama a partir de lascas de quartzo brasileiro visando aplicações de alta transmitância no médio UV**. 2013. 88 f. Tese (Doutorado) - Curso de Faculdade de Engenharia Mecânica, Departamento de Materiais e Processo de Fabricação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000916920>>. Acesso em: 10 abr. 2015.

HUMMEL, Daniele Cristina de Almeida. **Defeitos e impurezas em quartzo e purificação por processos de lixiviação**. 1989. 226 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1989.

KAKITANI, Rafael et al. **Estudo da Técnica de Lixiviação para a Purificação de Pó de Quartzo Brasileiro**. In: 56º Congresso Brasileiro de Cerâmica 1º Congresso Latino-Americano de Cerâmica IX Brazilian Symposium on Glass and Related Materials. Curitiba, p.125-135, jun. 2012.

LABORATÓRIO TERRA ANÁLISES AGROPECUÁRIAS. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos**. 2015. 141 f. Análises, Goiânia.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Maria de Andrade. **Metodologia científica**. São Paulo: Atlas, 2002.

MEYER, Breno T. et al. **Fibras Ópticas**: Trabalho da Disciplina Teoria de Materiais, 1o Semestre de 2000.

OGATA, Daniela Yuri. **Efeito do Tratamento Superficial na Devitrificação e Dissolução da Sílica Vítrea**. 1997. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Faculdade de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000118605>>. Acesso em: 10 abr. 2015.

OGATA, Daniela Yuri. **Propriedades estruturais da sílica VAD para fibras ópticas: um estudo por SAXS e VSAXS**. Campinas, 1999. 7 p.

ONO, Eduardo. **Automação e controle para fabricação de preformas VAD para fibras ópticas de alta uniformidade geométrica**. 2004. 53 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

QUARTZO INDUSTRIAL DUERÉ-CRISTALÂNDIA - TO. CPRM. Brasil, 13 dez. 2011. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?inford=204&sid=32>>. Acesso em: 05 nov. 2014.

SEKIYA, Edson Haruhico. **Estudo do processo de deposição e consolidação da preforma de sílica vítrea para fibras ópticas pelo método VAD**. 2001. 109 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

SOARES, L. G. L. et al. Beneficiamento e caracterização de quartzo para obtenção de silício grau metalúrgico. **Holos**, Rio Grande do Norte, v. 5, n. 28, p.3-10, out. 2012. Mensal.

TECMUNDO: Como funciona a fibra ótica [infográfico]. 29 abr. 2011. Disponível em: <<http://www.tecmundo.com.br/infografico/9862-como-funciona-a-fibra-otica-infografico-.htm>>. Acesso em: 20 out. 2014.

UNICAMP (Campinas). Universidade Estadual de Campinas. Carlos Kenichi Suzuki; Delson Torikai; Edson Haruhico Sekyia; Eduardo Ono. **Processo de automação para fabricação de preforma porosa para fibra óptica**. BR nº PI 0203755-6 B1, 12 jul. 2002, 27 dez. 2011. 2011.

VASCONCELOS, Yuri. Fibra Dopada: Empresa domina o processo de fabricação de equipamentos ópticos que amplificam o sinal de luz. **Fapesp**, Campinas, v. 118, p.74-77, dez. 2005.

VERGARA, Sylvia Constant. **Projeto e Relatórios de Pesquisa em Administração**. 12. ed. São Paulo: Atlas, 2010.