

AGÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO ESTADO DO
CEARÁ - ADECE
INSTITUTO AGROPOLOS

PROJETO:
DIAGNÓSTICO GEOECONÔMICO SOBRE O QUARTZO
NO ESTADO DO CEARÁ.

RELATÓRIO FINAL

Elaborado por:
Geólogo João de Aquino Limaverde - Coordenador
Geólogo Manoel William Montenegro Padilha
Geólogo Clairton Ciarline

FORMAN ENGENHARIA
FORTALEZA - FEVEREIRO DE 2011



ESTADO DO CEARÁ

CID FERREIRA GOMES
GOVERNADOR

DOMINGOS GOMES DE AGUIAR FILHO
VICE-GOVERNADOR

IVAN RODRIGUES BEZERRA
PRESIDENTE DO CONSELHO ESTADUAL DE DESENVOLVIMENTO
ECONÔMICO - CEDE

FRANCISCO ZUZA DE OLIVEIRA
PRESIDENTE DA AGÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO CEARÁ

EDUARDO DIOGO
DIRETOR DE DESENVOLVIMENTO SETORIAL

FRANCISCO PAULA PESSOA DE ANDRADE
COORDENADOR DO BUREAU MINERAL

SUMÁRIO

	Página	
1.	Introdução	4
2.	O Projeto Quartzo	5
3.	O Quartzo e Suas Propriedades	8
4.	O Quartzo no Brasil	10
5.	Diagnóstico do Quartzo no Ceará	15
5.1.	Objetivo	15
5.2.	Metodologia	15
5.3.	Locais Prospectados	18
5.3.1.	Contexto Geológico dos Depósitos de Quartzo no Ceará	18
5.3.2.	Definição dos Locais a Serem Visitados	19
5.3.3.	Depósitos Descritos por Município	22
5.3.3.1.	Paramoti	23
5.3.3.2.	Caucaia	26
5.3.3.3.	Pedra Branca	27
5.3.3.4.	Banabuiú	30
5.3.3.5.	Quixeramobim	32
5.3.3.6.	Choró	34
5.3.3.7.	Itapiúna	36
5.3.3.8.	Aracoiaba	43
5.3.3.9.	Canindé	45
5.3.3.10.	Cascavel	47
5.3.3.11.	Caridade	49
5.3.3.12.	Sobral	55
5.3.3.13.	Aracatiaçu	57
5.3.3.14.	Forquilha	59
5.3.3.15.	Uruoca	61
5.3.3.16.	Granja	62
5.3.3.17.	Santa Quitéria	64
5.3.3.18.	Parambú	71
6.	Avaliação Geoeconômica	74
7	Anexo: Obtenção de Silício Grau Solar	80
8	Bibliografia Consultada	88

1- INTRODUÇÃO

No contexto das ações de promoção do crescimento da produção industrial do Ceará, a Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará (ADECE) elegeu o setor de energia solar como uma das prioridades a ser apoiada e incentivada.

Nesse sentido foi concebido um Programa de Apoio ao Desenvolvimento da Energia Solar, constituído das seguintes ações: (i) criação de uma câmara setorial, (ii) concepção de um programa de capacitação de mão-de-obra local e (iii) criação de um Fundo de Incentivo à Energia Solar - FIES.

A propósito, cita o site da ADECE: *“Com este programa de apoio ao desenvolvimento de energia solar no Estado do Ceará, existe a expectativa de ocorrer um desdobramento da cadeia produtiva solar, com o surgimento de indústrias de painéis de silício e componentes específicos, assim como maior estímulo ao setor acadêmico, para capacitação e aprimoramento tecnológico.”*

Atualmente, o processo tecnologicamente mais evoluído para a produção de energia elétrica obtida a partir dos raios solares é o fotovoltaico, que se constitui de um painel fabricado com óxido de silício o qual é exposto à incidência da radiação solar. Em função das propriedades físicas do óxido de silício e do arranjo eletro-eletrônico com o qual é dotado o painel, a energia elétrica é obtida.

Merece ressaltar que o Estado do Ceará, possuindo uma irradiação média de 5,4 kWh/m²/dia, tem uma das maiores potencialidades do país para geração de energia fotovoltaica.

A obtenção do óxido de silício purificado, com o qual se fabricam as placas fotovoltaicas, é feita a partir do mineral quartzo que é formado exatamente de Óxido de Silício (SiO₂). Claro que o quartzo absolutamente sem impurezas é muito raro na natureza. Assim, a matéria prima para a fabricação das placas é obtida de jazidas de quartzo com um elevado nível de pureza que o qualifica tecnológica e economicamente como adequado.

É fato historicamente conhecido que existem muitas ocorrências do mineral quartzo no território cearense. Entretanto a ADECE não dispõe de uma documentação tecnicamente fidedigna que lhe possa assegurar o estabelecimento de uma política de atração de empresas do setor para a fabricação de placas fotovoltaicas no Estado.

O presente relatório apresenta os resultados da prospecção sobre quartzo realizada no Ceará, sob a Coordenação do geólogo João de Aquino Limaverde e participação dos geólogos Manoel William Montenegro Padilha e Clairton Ciarline.

Os trabalhos de campo foram realizados nos meses de novembro e dezembro de 2010, as análises químicas em dezembro de 2010 e o relatório final em janeiro de 2011. A supervisão dos trabalhos, pela ADECE, ficou a cargo do engenheiro de minas Francisco Paula Pessoa de Andrade.

As análises geoquímicas das amostras foram realizadas em parte pela SGS - Geosol Laboratórios Ltda., por contrato, e em parte pelo Centro de Tecnologia Mineral do Ministério das Minas e Energia (CETEM), a quem agradecemos na pessoa do seu Diretor Dr. José Farias de Oliveira.

2 - O PROJETO QUARTZO

Dentre todos os países que produzem quartzo, quiçá seja o Brasil o maior produtor mundial, com jazidas principalmente em Minas Gerais, Goiás e Bahia. No Ceará também é encontrado, havendo utilização do mesmo como minério para ligas industriais e como pedra ornamental e gema. No mundo, a Espanha, Alemanha, Alpes, Urais e República de Madagáscar são os locais mais citados como produtores de quartzo.

O quartzo tem uma imensa gama de utilização: como uma gema ou como pedra ornamental, como filtro, sob a forma de areia, para a fabricação do vidro, ou como fonte de energia pelas suas propriedades piezoelétricas. O uso na fabricação de células fotovoltaicas, entretanto, é o mais importante, haja vista a necessidade humana de produção de energia limpa.

Por outro lado, tem-se noticiado, há anos, que o Ceará dispõe de várias e importantes ocorrências e jazidas de quartzo, mas não se dispõe de informações confiáveis, somente intuitivas, sobre a qualidade e dimensões dos depósitos desse mineral no Estado. Essa informação é fundamental para ser usada como instrumento de atração de empreendimentos da área de produção mineral para energia renovável.

A verdade é que há um grande interesse de empresas nacionais e internacionais em encontrar reservas de quartzo de alta pureza. Ocorre, porém, que, devido à sua gênese na crosta terrestre, não é fácil a identificação dessas jazidas, tanto pela grande diversidade existente, como pela natureza geológica diversificada dos maciços contenedores de depósitos de quartzo.

Diante do exposto, depreende-se a importância que é para a ADECE realizar um estudo, mesmo preliminar, mas que possa prestar informações técnicas abalizadas sobre a qualidade química dos depósitos minerais de quartzo conhecidos e, também, que possa permitir inferências sobre a possibilidade de, realizando pesquisas mais aprofundadas, encontrar-se depósitos de quartzo com pureza adequada para o uso na indústria de fotovoltaicos.

Desta forma, foi concebido pela ADECE o Projeto Quartzo com a intenção de revelar, através da execução de um conjunto de atividades técnicas, realizadas segundo uma metodologia pré-estabelecida, informações estratégicas sobre o potencial deste mineral no Estado, principalmente do ponto de vista da existência de locais onde amostras colhidas possam se revelar com especial pureza química.

Há, ainda, que se intuir que, do ponto de vista teórico, pode-se pensar na possibilidade de se construir no Ceará uma verdadeira cadeia produtiva do quartzo, desde a lavra e beneficiamento até a produção da energia solar. Algo assim é por demais estratégico para o desenvolvimento econômico do Estado.

Na concepção do Projeto Quartzo está implícita a pressuposição de que há, pelo menos, quatro possibilidades de negócios ligados ao quartzo no Ceará: produção de placas para produtos eletrônicos; o uso metalúrgico; a fabricação de placas de captação de energia solar e a fabricação de vidro para garrafas e

vidros planos. Tudo dependendo da natureza e da pureza do minério encontrado em solo cearense.

Por outro lado, o Estado do Ceará possui uma infraestrutura que o credencia a abrigar empreendimentos industriais de base, haja vista que estas necessitam de escoar sua produção. Sua competitividade dependerá da possibilidade de colocação competitiva dos produtos nos mercados. A indústria mineral é por demais exigente com respeito à existência de infraestrutura adequada, considerando-se para isso estradas, energia elétrica e disponibilidade de água de qualidade próximo das jazidas.

O Ceará possui uma malha viária de 10.812 km de extensão, dos quais 4.646 km com pavimento asfáltico (43%), 5.180 km não pavimentados (48%) e 986 km planejados (9%). A malha ferroviária estadual tem 1.431km de extensão, sendo composta por dois eixos: a linha Norte, com 696 km, ligando Fortaleza aos estados do Piauí e Maranhão e a linha Sul, com 597 km, ligando Fortaleza aos estados de Pernambuco, Paraíba e Bahia, além do ramal de acesso ao porto do Pecém e do Mucuripe, com 80 km.

Destaca-se, ainda, a rede aeroportuária do Ceará que é composta por 4(quatro) aeroportos (Fortaleza, Juazeiro do Norte, Sobral e Limoeiro do Norte), 2(dois) em construção (Aracati e Jijoca) e 70 campos de pouso. O aeroporto Internacional Pinto Martins, localizado a menos de 10 km do centro de Fortaleza, recebe inúmeros vôos que o conectam com as principais cidades do Brasil, Estados Unidos, e Europa.

Há, também, o complexo portuário industrial do Pecém, situado a 60 km de Fortaleza, sendo dotado de terminal de cargas “offshore”, com calado de 16 m de profundidade.

A política de recursos hídricos do Ceará preconiza como princípio a água como bem econômico escasso e indispensável à superação dos obstáculos ao desenvolvimento. O complexo hídrico do Castanhão, situado na região Jaguaribana, possibilita a maximização da gestão dos recursos hídricos do Estado do Ceará.

3 - O QUARTZO E SUAS PROPRIEDADES

Apresenta-se a seguir as principais características mineralógicas do quartzo:

- Família /Grupo: Família Tectossilicato; Grupo do Quartzo.
- Fórmula Química: SiO_2 . Óxido de Silício.
- Composição: Si = 46,7%, O = 53,3%. Usualmente, Quase Puro.
- Cristalografia: hexagonal-R; trigonal, trapezoédrica; hexagonal-trapezoédrica; romboédrico.
- Propriedades Ópticas: Isotrópico uniaxial positivo (biaxial quando deformado, ângulo $2V$ de 5° ou mais). Quase sempre contém inclusões, tais como: turmalina, clorita, mica, magnetita, zircão. Pode conter vacúolos.
- Hábito: Prismático, granular, maciço...
- Clivagem: sem clivagem
- Dureza: 7
- Densidade: 2,65
- Fratura: Conchoidal, quebradiça.
- Brilho: Predomina o brilho vítreo, mas existem variedades com brilho gorduroso e esplendente.
- Cor: Geralmente incolor ou branco, mas freqüentemente colorido devido à presença de impurezas, além de poder apresentar mais de uma cor.
- Traço: Incolor.
- Variações: Dentre as variações cristalinas, as espécies cristalinas principais são: cristal de rocha (quartzo hialino), quartzo leitoso, quartzo enfumaçado (morion), citrino, ametista, olho-de-gato, olho-de-tigre, quartzo rutilado, quartzo fantasma, aventurina, etc. As variações criptocristalinas são divididas em variedades fibrosas e granulares; as principais variações fibrosas são: calcedônia, crisoprásio, sardo, cornalina, ágata, ônix, e as principais variações granulares são: sílex, chert, jasper, prásio.
- Propriedades Diagnósticas: Caracterizado por seu brilho vítreo, fratura conchoidal, e forma cristalina. Distingue-se da calcita pela sua alta dureza, e da variedade incolor do berilo por uma dureza inferior.
- Considerações Gerais: A variação sintética do quartzo conhecida como quartzo cultivado reduziu bastante o preço do quartzo natural, deixando algumas minas inativas em países subdesenvolvidos. O quartzo cultivado tem larga utilidade na

indústria eletrônica e na informática. A lechatelierita, SiO_2 é sílica fundida ou vidro de sílica. Encontrada nas fulguritas, tubos de areia fundida formados pelo raio, e nas cavidades de algumas lavas. A lechatelierita também foi encontrada num arenito, devido ao impacto de um meteoro que fundiu esta rocha. O quartzo pode amostrar asterismo, iridescência e piezoeletricidade. O pleocroísmo é fraco. Os cristais mostram estrias horizontais nas faces dos prismas.

O óxido de silício é encontrado na natureza sob as formas polimorfas: quartzo, tridimita e cristobalita. Com a variação de temperatura ocorrem as transformações de fase, recebendo cada uma a sua denominação específica.

O quartzo alfa é estável à temperatura ambiente, transformando-se na variedade beta a 573°C e em tridimita a 870°C . À temperatura de 1470°C ocorre a transformação para cristobalita, até atingir o ponto de fusão a 1.713°C .

O quartzo é o mais comum dos polimorfos e, graças aos seus cristais grandes, transparentes e bem formados, é conhecido desde os tempos antigos. As principais variedades cristalinas do quartzo são: quartzo hialino ou cristal de rocha, quartzo leitoso, enfumaçado, roxo (ametista), negro (morion), verde (prásio) etc. Estas variedades são usadas como gemas e ornamentação.

O quartzo pode ser natural ou cultivado. O primeiro é extraído da natureza e o segundo é produzido a partir do crescimento hidrotérmico, em autoclave.

4 - O QUARTZO NO BRASIL

Emílio Lobato, consultor responsável pelo relatório técnico N° 37 - Perfil do Quartzo, do Estudo A Mineração Brasileira, encomendado pela Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral-SGM, do Ministério de Minas e Energia, sob os auspícios do Banco Mundial, assim se expressa sobre a problemática do quartzo no Brasil:

“O quartzo tem seu uso selecionado por sua qualidade. Os cristais de melhor qualidade são destinados à indústria óptica, eletrônica e de instrumentação (considerados os maiores consumidores), enquanto os de qualidade inferior destinam-se à indústria em geral (abrasivos, cerâmica, metalúrgica).

O Brasil, apesar de maior produtor de quartzo, é dependente de produtos de quartzo manufaturado, estes produtos são: cristais piezelétricos montados e suas partes, e em menor valor, cristal cultivado bruto e usinado.

Os principais setores de consumo são as indústrias de relógios eletrônicos, de automóveis, jogos eletrônicos, equipamento de telecomunicações, computadores e equipamentos médicos.

A produção brasileira de quartzo bruto teve significativo aumento de produção na década de 70 com seu declínio na década de 90 e desde 2004 apresenta crescimento. Praticamente a totalidade da produção é destinada a exportação. Os principais produtores mundiais são o Brasil, Suíça, Japão e África do Sul. Tendo destaque no Brasil os Estados de Minas Gerais e do Pará.

Apesar de possuir as maiores reservas mundiais de quartzo de alta qualidade, o setor está pulverizado em garimpos. Logo é necessário um maior investimento das grandes empresas em tecnologia, para diminuir a dependência dos produtos manufaturados de quartzo, como o silício de grau eletrônico. É necessária a aplicação, a curto e médio prazo, de uma política de estímulo a industrialização interna visando agregação de valor a matéria prima mineral e solução da dependência externa de produtos industrializados.

A demanda por quartzo tem sido muito sensível às mudanças tecnológicas. Os materiais alternativos ao quartzo natural contribuem para desestabilizar o mercado de lascas de quartzo no país.

“Ao se dominar a tecnologia dos produtos finais do quartzo, é possível influenciar o mercado e evitar grandes variações.”

Os recursos e reservas de quartzo no Brasil estão associados a dois tipos de jazimentos: depósitos primários (quartzo de veios hidrotermais e de pegmatitos) e secundários (quartzo ocorrente em sedimentos eluviais, coluviais, aluviões resultantes do trabalho geológico pelas forças da natureza em depósitos primários e os depósitos vinculados aos ventos).

Em relação à produção de quartzo em cristal merecem destaques os Estados da Bahia, Goiás, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro, São Paulo e Santa Catarina. No processo de produção brasileira de quartzo (cristal) predomina o pequeno minerador e o minerador informal (não legalizado), tanto na produção de lascas (fragmentos de quartzo selecionados manualmente pesando menos de 200 gramas) quanto na produção de cristais. Os cristais de grau eletrônico (usado na indústria de cristal cultivado) são mais raros e de produção esporádica. (Sumário Mineral Brasileiro/DMPM/2009)

Os recursos mundiais de grandes cristais naturais ocorrem quase exclusivamente no Brasil e, em quantidades menores, em Madagascar, China, África do Sul, Canadá e Venezuela

As reservas mundiais de grandes cristais naturais de quartzo ocorrem quase exclusivamente no Brasil e, em quantidades menores, em Madagascar, Namíbia, China, África do Sul, Canadá e Venezuela.

Quanto à produção de quartzo para indústrias de alta tecnologia, o setor está sob regime exclusivamente garimpeiro, incentivado por empresas exportadoras. A exploração é feita normalmente em lavra artesanal, a céu aberto ou poços de pequenas profundidades. A extração é rudimentar e obtêm-se dois tipos de materiais de interesse industrial:

- Cristal natural piezelétrico que fornece sementes insubstituíveis na obtenção de quartzo sintético.

- Lascas de quartzo que são fragmentos irregulares utilizados inicialmente na fabricação de vidros e, hoje em dia, essenciais como nutrientes para produção do quartzo cultivado e/ou granulado para obtenção de quartzo fundido.

É indispensável que o cristal piezelétrico tenha elevada pureza, livre de imperfeições, inclusões minerais e/ou fluidos e geminações óticas e/ou elétricas.

Numa primeira etapa, o cristal bruto é classificado observando-se a forma (facetado ou irregular), o peso e os defeitos visíveis a olho nu. A seguir, o cristal é examinado em espectroscópio para verificação das geminações, que podem invalidar sua utilização. Finalmente, os cristais selecionados recebem as seguintes designações:

- Classe A: cristal hialino, incolor com 65 a 100% de material aproveitável para fins piezelétricos.

- Classe B: cristal hialino, incolor ou leve e uniformemente colorido, com 45 a 60% de material aproveitável.

- Classe C: cristal hialino, incolor ou levemente colorido, com 30 a 45% de material aproveitável.

- Classe D: cristal hialino, incolor ou colorido, com um mínimo de 50% de material isento de defeitos perceptíveis.

As lascas de quartzo constituem, portanto fragmentos irregulares, incolores, límpidos, vítreos, pesando menos de 200g e são descartados do cristal natural piezelétrico na fase de extração.

As estatísticas brasileiras disponíveis de produção e comercialização de quartzo estão apresentadas na Tabela I, abaixo.

Quanto ao consumo de quartzo no Brasil, ainda é insignificante. Nesse sentido, apresenta-se informação colhida na publicação Sumário Mineral 2009, do Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM, onde ali se afirma:

“A indústria de cristais osciladores, osciladores de quartzo e filtros de quartzo são os consumidores das barras de quartzo cultivado importadas. Os principais setores de consumo dos cristais osciladores e filtros de quartzo produzidos no Brasil são as indústrias de relógios eletrônicos, de jogos eletrônicos, de automóveis, equipamentos de telecomunicações, computadores e equipamentos médicos. Continuou no exercício de 2008 a dependência brasileira de “vidro ótico” (vidro de precisão utilizado em instrumentos, lentes, microscópios, etc.). Este material é produzido a partir de pó de quartzo de alta

pureza física e química, normalmente fabricados no exterior a partir das lascas de quartzo. Neste mercado os Estados Unidos concorrem com um produto chamado IOTA QUARTZ, resultante de processos de beneficiamentos de rochas ígneas do Arkansas - USA.”

A assertiva acima é corroborada pelos dados da Tabela 1, onde se observa que o Brasil consome algumas centenas de toneladas de bens de quartzo principalmente importados.

Tabela 1: Principais Estatísticas - Brasil

	Discriminação	Unidade	2006 ^(r)	2007 ^(r)	2008 ^(p)
Produção	Quartzo Cristal ⁽¹⁾	t	-	27	-
Importação:	Bens Primários:				
	Lascas e quartzo em bruto	t	1.445	1.081	878
		10 ³ US\$ FOB	565,00	613,00	794,00
	Manufaturados:				
	Cristais Piezo. Mont. e partes	t	130	130	117
		10 ³ US\$ FOB	39.934	33.561	34.759
Exportação	Bens Primários:	t	14.195	22.561	21.551
		10 ³ US\$ FOB	2.838	4.901	4.925
	Manufaturados:	t	1	3	1
		10 ³ US\$ FOB	492	148	138
Consumo Aparente:	Cristal Cultivado Bruto ⁽²⁾	t	130	130	117
Preços	Lascas e quartzo em bruto ⁽³⁾	US\$/t	164	217	228
	Cristal cultivado barra bruta ⁽⁴⁾	US\$/t	552,00	550,00	552,00
	Cristal cultivado barra usinada ⁽⁵⁾	US\$/kg	-	215,00	294,00

Fontes: DNPM/DIPLAM; SECEX-MF; Mineral Commodity Summaries 2008.

Notas: (1) Produção = estimativa feita com as quantidades minerais comercializadas; (2) Considerando e convertendo para barras brutas, as importações de cristais osciladores montados, considerando uma relação de 1 kg = 1.000 peças. (3) Preço médio FOB das exportações de lascas e quartzo em bruto; (4) Preço médio (FOB) das importações brasileiras de cristal cultivado (barra bruta), (5) Preços médios de cristal (barra usinada) - EUA; (r) revisado; (p) dados preliminares; (-) dado não disponível.

No Ceará, os pegmatitos representam uma das fontes naturais de quartzo em sua forma nobre de cristalização, tal qual o quartzo hialino de uso óptico ou eletrônico (cristal de rocha), sendo encontrado em depósitos de pegmatitos e veios com condições geológicas raras e peculiares, localizando-se no núcleo desses corpos. Levando-se em consideração que as rochas cristalinas correspondem a uma área de mais de 70% do território do Estado do Ceará e sendo o quartzo formador dessas rochas, encontram-se os veios de quartzo,

que ocorrem de forma errática por todo o território. Os pegmatitos contêm, comumente, grande quantidade de quartzo leitoso, ocorrendo associado a feldspato, micas e outros minerais, correspondendo à parcela significativa da produção total de quartzo que tem sido empregado nas indústrias de vidro, fundição e cerâmica. Os principais depósitos de pegmatitos mineralizados com quartzo encontram-se nos municípios de Quixeramobim, Solonópole, Russas e Crateús.

5 - DIAGNÓSTICO DO QUARZO NO CEARÁ

5.1 - OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho de prospecção de quartzo que ora se apresenta é identificar, localizar e descrever as principais ocorrências de quartzo conhecidas no Estado do Ceará e determinar suas características químicas.

Especificamente, objetiva-se obter:

A - Um mapa de ocorrências de quartzo no Estado do Ceará que apresente o zoneamento qualitativo das ocorrências em termos de teor de sílica (SiO_2).

B - Um banco de dados georeferenciado das ocorrências de quartzo do Estado.

C - Uma interpretação petrográfica das informações obtidas a partir dos dados colhidos em campo, relacionados com a descrição geológica e as análises químicas realizadas.

D - Um diagnóstico geoeconômico sobre o quartzo no Estado do Ceará.

5.2 - METODOLOGIA

A metodologia estabelecida pela ADECE para conseguir, num menor espaço de tempo possível, identificar, localizar e descrever as principais ocorrências de quartzo conhecidas no Estado do Ceará e determinar suas características químicas, consistiu em executar as seguintes fases.

1^a - Fase de planejamento e levantamento das informações existentes para montagem da logística para acesso às diversas ocorrências considerando as seguintes premissas:

A - Prazo de três meses, dependendo do tempo que o laboratório de análise entregar os resultados.

B - Quinze dias úteis de serviços de campo prevendo-se um mínimo de visitas a 20 locais.

C - Os serviços de campo incluem fotografias, georeferenciamento, coletas de amostras e descrição do local

D - Coleta e envio para análise de 1 (uma) amostra por local

E - Cada amostra pesará, em média 1kg, devendo-se enviar para análise 0,5kg, com descarte.

F - As amostra etiquetadas serão entregues à ADECE

H - Serão entregues três vias do Relatório Final e um CD com o mesmo em meio magnético.

Importante frisar, nesta fase de planejamento, a importância das informações disponíveis relacionadas ao prévio conhecimento dos trabalhos realizados na região, bem como a obtenção de informações técnico-científicas disponibilizadas pelos geólogos que realizaram trabalhos nas diversas regiões.

Ressalte-se que foram de fundamental importância na realização do trabalho de campo, como fonte principal de informações, o Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM, servindo de suporte na obtenção de dados e informações, tanto através do seu corpo técnico, bem como aquelas obtidas por meio eletrônico, contidas no Cadastro Mineiro e as informações publicadas no Sumário Mineral Brasileiro, ano 2009, vol. 29, de julho de 2010.

2ª - Fase de execução das atividades de visita às ocorrências e depósitos onde serão realizadas as seguintes tarefas:

a) posicionamento geográfico do local com GPS;

b) descrição geológica do depósito/ocorrência, incluindo registro fotográfico;

c) coleta de amostra para análise;

d) identificação “in loco” das atividades de prospecção e pesquisa realizadas ou em realização, identificando os interessados.

Merece destacar que, nesta etapa, os trabalhos foram precedidos de análises de rotas de viagem que contemplasse a possibilidade de uma maior área a ser investigada. Deu-se prioridade àquelas áreas já conhecidas previamente através de informações bibliográficas e dos dados obtidos no Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM.

As equipes foram orientadas no sentido de verificar sempre, durante o roteiro da viagem, a possibilidade de novas ocorrências, fruto das observações em campo e de informações obtidas na região.

Os trabalhos em cada local consistiram na coleta de amostras representativas que foram ensacadas e etiquetadas. Procedeu-se, também, um caminhamento por todo o afloramento para a observação do seu modo de ocorrência, dimensões da mineralização, tomada de coordenadas geográficas com GPS de mão, descrição da relação minério/rocha encaixante, tomadas fotográficas dos principais aspectos da ocorrência e, ainda, o levantamento de informações relativas ao proprietário do terreno e nome da localidade.

3º Fase - Encaminhamento das amostras coletadas para realização de análises químicas com as seguintes determinações respectivas sensibilidades: Al 1ppm - 1%, B 1ppm - 0,5%, Ba 1ppm - 0,5%, Ca 2ppm - 1%, Co 3ppm - 0,5%, Cr 1ppm - 0,5%, Cu 1ppm - 0,5%, Fe 2ppm - 1%, K 2ppm - 1%, Li 2ppm - 0,5%, Mg 2ppm - 0,5%, Mn 2ppm - 1%, Na 2ppm - 0,5%, Ni 1ppm - 0,5%, P 1ppm - 0,1%, SiO₂ 0,01%, Sr 1ppm - 0,5%, Ti 1ppm - 1%, V 1ppm - 0,5% e Zr 1ppm - 0,5%.

4ª Fase - Interpretação dos dados e elaboração de Relatório Final

5.3 - LOCAIS PROSPECTADOS

5.3.1 - CONTEXTO GEOLÓGICO DOS DEPÓSITOS DE QUARTZO NO CEARÁ

As informações a seguir são oriundas do texto da publicação: CAVALCANTE, J.C. ; VASCONCELOS, A.M.; GOMES, F.E.M. Mapa geológico do Estado do Ceará. Escala 1:500.000. Fortaleza: MME/CPRM/Governo do Estado do Ceará/Secretaria de Recursos Hídricos, 2003.

Segundo Cavalcante et alii. (2003), no Ceará foram identificados cinco unidades geomorfológicas bem diferenciadas: Planície Litorânea, Glacis Pré-Litorâneos, Planaltos Sedimentares da Ibiapaba, Araripe e Apodi, Maciços Residuais e Depressão Sertaneja.

As ocorrências de quartzo estão todas inseridas na vasta área cristalina dos diversos contextos geomorfológicos da Depressão Sertaneja.

Esses contextos geomorfológicos da Depressão Sertaneja estão situados em níveis altimétricos inferiores a 450 m, englobando quase 70% do território cearense. Dispõe-se na periferia dos grandes planaltos sedimentares ou embutido entre estes e os maciços residuais. São marcadas pela primazia de topografias planas ou levemente onduladas quando os níveis altimétricos têm altitude média entre 130 a 150 m.

Nesta unidade geomorfológica denominada Depressão Sertaneja ocorrem vários tipos de rochas cristalinas como os gnaisses, micaxistos, migmatitos e demais litótipos do embasamento. É exatamente nesse domínio petrográfico que se encontram as diversas ocorrências de quartzo visitadas durante a realização deste trabalho.

Conquanto ainda se necessite de estudos mais apurados para se definir com absoluta exatidão o quadro estratigráfico do Estado do Ceará, não se tem dúvidas que aproximadamente 70% do território cearense estão constituídos por unidades petrográficas metamorfo-migmatíticas Pré-Cambrianas.

No que se refere à tectônica, os grandes elementos estruturais, realçados por importantes zonas de cisalhamento, se encontram em razoável nível de entendimento, sobretudo no que tange à cartografia regional e aos indicadores cinemáticos. Em conformidade com o sumário cronológico e litoestratigráfico, essas unidades são:

1 - Arqueano-Paleoproterozóico (AP)

Como unidades litoestratigráficas arqueanas, incorporando rochas paleoproterozóicas, são descritos o Complexo Cruzeta (APc), no “Subdomínio Ceará Central” (segmento entre Madalena, Choró, Pedra Branca, Mombaça e Tauá), e Complexo Granjeiro (APg), no Subdomínio homônimo (sul do Estado, ocupando espaços entre os municípios de Ipaumirim, Baixio e Araripe). Os mesmos encerram, como litótipos principais, ortognaisses cinzentos de composição granítica, em parte migmatítica, gnaisses e xistos aluminosos, além de formações metavulcânicas, metagabros, quartzitos ferríferos e não ferríferos e calcários cristalinos.

2 - Proterozóico (P)

Em grande parte, os terrenos gnáissico-migmatíticos do Ceará são considerados como de idades proterozóicas. Dentre estes, encontram-se no noroeste do Estado o Complexo Granja, formado por gnaisses diversos, de derivação sedimentar e magmática, em parte migmatíticos, descritos como biotita gnaissite tonalítico, biotita-granada gnaissite e charnockito. Com a mesma composição litológica similar se tem ainda os Complexos Ceará, Acopiara e Jaguaratama, Tamboril-Santa Quitéria.

5.3.2 - DEFINIÇÃO DOS LOCAIS A SEREM VISITADOS

Conforme as premissas estabelecidas na metodologia acima descrita, foram realizadas reuniões de planejamento e análise das informações disponíveis, tanto no âmbito dos processos existentes no Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM), na bibliografia consultada, nas

informações providas da ADECE e do conhecimento empírico da própria equipe executora.

A conclusão dessa etapa do estudo definiu que seriam prospectados depósitos de quartzo conhecidos nos seguintes municípios: Paramoti, Caucaia, Pedra Branca, Banabuiú, Quixeramobim, Choró, Itapiúna, Aracoiaba, Canindé, Cascavel (Cristais), Caridade, Santa Quitéria, Sobral, Aracatiáçú, Forquilha, Coreaú-Granja, Granja e Parambú.

Considerando que em alguns municípios foram visitadas mais de uma ocorrência, chegou-se ao total de 25 locais visitados, Tabela II, a seguir, onde foram coletadas amostras e realizadas análises. A seguir as descrições de cada depósito visitado.

Tabela II
Relação dos Locais Visitados

Ocor- rência	Local	Coordenadas UTM
1	5.3.3.1 - PARAMOTI (PR-01)	9546126m S e 472498m E.
2	5.3.3.2 - CAUCAIA (CA-01)	9589818m S e 518897m E.
3	5.3.3.3 - PEDRA BRANCA (PB-01)	9389830m S e 428596m E.
4	5.3.3.4 - BANABUIÚ (BA-01)	9399194m S e 507874m E.
5	5.3.3.5 - QUIXERAMOBIM (QB-01)	9399316m S e 485870m E.
6	5.3.3.6 - CHORÓ (CH-01)	9468374m S e 484296m E.
	5.3.3.7 - ITAPIÚNA (IT-01)	
7	5.3.3.7.1 - Lagoa do Mato	9496986m S e 503279m E.
8	5.3.3.7.2 - Fazenda Touro I	9496900m S e 504300m E.
9	5.3.3.7.3 - Fazenda Touro II	9493894m S e 506654m E.
10	5.3.3.8 - ARACOIABA (AR-01)	9493894m S e 506654m E.
	5.3.3.9 - CANINDÉ (CN-01)	
11	5.3.3.9.1 - Serrote Branco (CN-01)	9511812m S e 452368m E.
12	5.3.3.9.2 - Rodovia CE 257	9534035m S e 427388m E.
13	5.3.3.10 - CASCAVEL (P01-CI)	9501520m S e 567861m E.
	5.3.3.11 - CARIDADE	
14	5.3.3.11.1 - São José (P02-CI)	9528403m S e 492101m E.
15	5.3.3.11.2 - Serrote Branco (P03-CI)	9533666m S e 464097m E.
16	5.3.3.11.3 - Encruzilhada (P04-CI)	9534206m S e 466508m E.
17	5.3.3.12 - SOBRAL (P06-CI)	9556092m S e 402032m E.
18	5.3.3.13 - ARACATIACÚ (P07-CI)	9560553m S e 373539m E.
19	5.3.3.14 - FORQUILHA (P08-CI)	9565631m S e 369809m E.
20	5.3.3.15 - URUOCA (P09-CI)	9626813m S e 309252m E.
21	5.3.3.16 - GRANJA	9640305m S e 264775m E.
	5.3.3.17 - SANTA QUITÉRIA	
22	5.3.3.17.1 - Serrote dos Neves	9494520m S e 398150m E.
23	5.3.3.17.2 - Serrote do Boqueirão	9497186m S e 396928m E.
24	5.3.3.17.3 - Serrote da Igreja	9494272m S e 411035m E.
25	5.3.3.18 - PARAMBÚ	9304787m S e 317332m E.

5.3.3 - DEPÓSITOS DESCRITOS POR MUNICÍPIO

5.3.3.1 - PARAMOTI (PR-01)

O local da ocorrência cadastrada localiza-se 2 km a Leste da sede municipal, em terreno de propriedade do Sr. Eduardo Feijó, com acesso por estrada carroçável.

A cidade de Paramoti conta com rede municipal de abastecimento de água e serviço de energia elétrica fornecida pela Coelce.

A área em tela foi requerida para pesquisa junto ao Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM, pelo Sr. Rafael Nunes e o processo tem o seguinte número: 800.554/2009.

As coordenadas geográficas e UTM do local de coleta da amostra são as seguintes:

Coordenadas Geográficas: 04° 06' 21,0" S e 39° 14' 50,9" W;

Coordenadas UTM: 9546126m S e 472498m E.

O quartzo ali existente é de cor branca, leitoso e ocorre sob a forma de veio, em matacões e blocos soltos de tamanho métrico a centimétrico. Encontra-se encaixado concordantemente em uma rocha do embasamento cristalino do tipo biotita gnaiss, com uma direção preferencial NW-SE. No local, a área aflorante é de aproximadamente 20 metros de largura por 100 metros de extensão, indicando, pelas aparências, uma possível origem hidrotermal, como se acontecer com quase a totalidade dos depósitos de veios de quartzo conhecidos no Ceará.

A topografia do local da ocorrência se apresenta aplainada, com pouco ou nenhum destaque topográfico. Vide Foto 1.

Para a estimativa da reserva, há que se considerar alguns parâmetros e critérios, os quais servirão de orientação para os cálculos em todos os locais visitados

No caso de estimativas de reservas de pegmatitos, principalmente no Ceará, estas são bastante modestas e de baixo grau de confiabilidade, refletindo a ausência de trabalhos de prospecção para esse bem mineral.

Foto 1

Dique de Quartzo Encaixado no Gnaiss - Paramoti - CE



Outro problema que dificulta estimar o potencial das reservas em alguns pegmatitos é o grau de depredação em que se encontra atualmente parte dos corpos lavrados, não permitindo, por vezes, elaborar croquis geológicos em escala adequada à cubagem.

Diante este quadro de dificuldade, procurou-se configurar croquis geológicos com pelo menos as dimensões superficiais dos corpos para o cálculo da estimativa das reservas minerais.

Para o cálculo estimado das reservas das ocorrências visitadas, utilizaram-se as medidas de superfície obtidas em campo, estimando-se um valor de profundidade mínima de 5 metros. Este volume assim obtido foi multiplicado pela densidade do quartzo (2,65),

Foram, ainda, estabelecidos, empiricamente, dois fatores de correção: um do volume e perdas, estimado em 20%, que gera um fator 0.80 e outro de confiabilidade do método do cálculo, estimado em de 0,70. O resultado final será sempre arredondado para menos na escala das centenas.

Os parâmetros equacionais para os cálculos a serem utilizados em todas as ocorrências, serão os abaixo estabelecidos:

ER = Estimativa de reserva

FCM = Fator de confiabilidade do método (0,70)

FCV = Fator de correção do volume (0,80)

D = Densidade do quartzo (2,65).

Assim, tem-se a equação:

ER = Área da Superfície x Profundidade Estimada x FCM x FCV x D

A estimativa de reserva da ocorrência PA-01, em Paramoti é assim calculada:

$$ER = 3.500 \text{ m}^3 \times 0.70 \times 0.80 \times 2,65 = 5.100\text{t.}$$

A qualidade do minério identificada pela análise geoquímica abaixo, mostra que se trata de um depósito quimicamente interessante, na medida em que sua pureza é superior a 99,8% em termos de SiO₂.

Quadro 1

Resultados da Análise Geoquímica de Amostra de Quartzo da Localidade de Fazenda Eduardo Feijó, em Paramoti - Ceará

SiO ₂	Al	B	Ba	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	K
%	ppm								
99,82	180	<1	4	42	<3	<1	<1	379	28

Li	Mg	Mn	Na	Ni	P	Sr	Ti	V	Zr
ppm									
<2	7	46	28	<1	8	1	15	<1	<1

Os metais que apresentaram presença mais significativa foram, em ordem decrescente, o Ferro, com 379ppm (partes por milhão); o Alumínio, com 180ppm; o Manganês, com 46ppm; o cálcio, com 42ppm; o Sódio e o Potássio com 28ppm; o Titânio com 15ppm; Fósforo com 8ppm e Magnésio

com 7ppm. Os demais elementos químicos dosados se mostraram presentes com valores insignificantes, menor que 2ppm.

5.3.3.2 - CAUCAIA (CA-01)

No município de Caucaia foi visitado o depósito de quartzo existente em Primavera, localizado a 20 km a Oeste do município, às margens da BR 222, em terreno de propriedade do Sr. Carlos Silva.

O georeferenciamento obtido no local o posiciona nas seguintes coordenadas:

Coordenadas geográficas: 03° 42' 40,9 S e 38° 49' 48,5"W;

Coordenadas UTM: 9589818m S e 518897m E.

Identifica-se um quartzo de cor branca, leitoso, por vezes ferruginoso, ocorrendo sob a forma de núcleo aflorante, com blocos variando de centimétrico a métrico, encaixado em rocha biotita gnaisse típico do embasamento. A área aflorante é de aproximadamente 100 metros de largura por 300 metros de extensão. A topografia do local da ocorrência apresenta destaque topográfico local, formando o que comumente se denomina de "morrote". Pelas características observadas, sugere-se uma possível origem hidrotermal para o depósito em tela. Vide Foto 2.

Do ponto de vista de infraestrutura, registra-se que o município de Caucaia conta com rede de abastecimento de água e energia elétrica.

Aplicando-se os critérios anteriormente estabelecidos para o cálculo da reserva estimada para o local, tem-se:

$$ER = \text{Área da Superfície} \times \text{Profundidade Estimada} \times \text{FCM} \times \text{FCV} \times D$$

Onde:

ER = Estimativa de reserva

FCM = Fator de confiabilidade do método (0,70)

FCV = Fator de correção do volume (0,80)

D = Densidade do quartzo (2,65).

A estimativa de reserva da ocorrência CA-01, em Caucaia é assim calculada:

$$ER = 20.000 \text{ m}^3 \times 0.70 \times 0.80 \times 2.65 = 29.600\text{t}$$

A qualidade do minério identificada pela análise geoquímica abaixo, mostra que se trata de um depósito com teor de pureza, em sílica, relativamente alto, na medida em que atinge o valor de 99,43% em termos de SiO₂.

Quadro 2
Resultados da Análise Geoquímica de Amostra de Quartzo
da Localidade de Primavera, em Caucaia - Ceará

SiO ₂	Al	B	Ba	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	K
%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
99,43	1438	<1	31	52	<3	1	<1	518	434

Li	Mg	Mn	Na	Ni	P	Sr	Ti	V	Zr
ppm									
24	64	49	94	<1	17	5	18	1	<1

Foto 2
Quartzo sob a Forma de Blocos - Caucaia - CE



Observa-se que a amostra analisada tem um teor de sílica de 99,48%, o que implica impurezas superiores a 0,5% em termos de óxidos. Entretanto, vê-se que somente o Alumínio (1438ppm), o Ferro (518ppm) e o Potássio (434ppm) atingiram valores superiores a 100ppm.

5.3.3.3 - PEDRA BRANCA (PB-01)

Em Pedra Branca, foi visitada a ocorrência de quartzo na localidade de Mineiro, precisamente a 65km Norte da sede municipal, em terreno de propriedade do Sr. Kleber Mineiro.

Trata-se de uma área requerida junto ao Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM, processo N^o 800.149/2008, tendo como titular Sr. João Pereira dos Santos.

O georeferenciamento do local identificou as seguintes coordenadas geográficas:

Coordenadas geográficas: 05° 31' 11,5" S e 39° 08' 40,6" W;

Coordenadas UTM: 9389830m S e 428596m E.

O mineral no local se apresenta de cor branca, leitoso, ocorre sob a forma de lente, fraturado, com blocos variando de centimétrico a métrico, encaixado concordantemente em uma rocha do tipo biotita gnaisse constituinte do embasamento cristalino Pré-cambriano. Ocorre, também, sob a forma de matacões métricos, numa área aflorante de aproximadamente 35 metros de largura por 47 metros de extensão. A topografia do local da ocorrência apresenta-se aplainada, sem nenhum destaque topográfico. Vide Foto 3.

Sugere-se uma possível origem hidrotermal par a origem do depósito.

No local existe energia elétrica e a adução de água é feita por açudes.

Foto 3
Blocos de Quartzo em Pedra Branca - CE



A estimativa das reservas locais, calculadas segundo ficou estabelecido no item 5.3.3.1, foi feita pela fórmula:

$$ER = \text{Área da Superfície} \times \text{Profundidade Estimada} \times FCM \times FCV \times D.$$

Onde:

ER = Estimativa de reserva

FCM = Fator de confiabilidade do método (0,70)

FCV = Fator de correção do volume (0,80)

D = Densidade do quartzo (2,65).

O que resulta em:

$$ER = 8.200 \text{ m}^3 \times 0.70 \times 0.80 \times 2.65 = 12.000\text{t}.$$

Os resultados da análise geoquímica mostrados no Quadro 3, abaixo, demonstram que se trata de uma reserva com teores de SiO_2 acima de 99,7% e elementos menores, dosados em ppm, com pouca expressividade, à exceção do Alumínio, do Ferro e do Potássio que estão presentes em valores acima de 100ppm, respectivamente, 583ppm, 419ppm e 258ppm.

Quadro 3
Resultados da Análise Geoquímica de Amostra de Quartzo
da Localidade de Mineiro, em Pedra Branca - Ceará

SiO ₂	Al	B	Ba	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	K
%	ppm								
99,71	583	<1	5	33	<3	<1	<1	419	258

Li	Mg	Mn	Na	Ni	P	Sr	Ti	V	Zr
ppm									
<2	9	43	64	<1	7	1	42	<1	3

5.3.3.4 - BANABUIÚ (BA-01)

No município de Banabuiú, visitou-se a localidade de Caieiras, área requerida junto ao departamento nacional de produção mineral - DNPM, processo N^o 800.405/2009, tendo como titular Candido da Silveira Quinderé.

A localidade de Caieiras localiza-se às margens da BR - 122, rodovia federal asfaltada, a 52 km ao Sul da sede municipal, o local conta com adução de água e energia elétrica.

O georeferenciamento do local indicou as seguintes coordenadas:

Coordenadas geográficas e UTM:

Coordenadas Geográficas: 05° 26' 07,8" S e 38° 55' 44,1" W;

Coordenadas UTM: 9399194m S e 507874m E.

O quartzo ocorre no local apresentando uma cor branca, leitoso, sob a forma de lente, com blocos variando de centimétrico a métrico, encaixado em quartzito do embasamento cristalino pré-cambriano. Há, também, formas de matacões métricos.

A área aflorante mede, aproximadamente, 100 metros de largura por 100 metros de extensão. A topografia do local da ocorrência apresenta pequeno destaque na topografia local. Vide Foto 4.

Foto 4
Quartzo Encaixado no Quartzito em Banabuiú - CE



Pela aparência, identifica-se uma possível origem hidrotermal para o depósito.

A estimativa da reserva desse depósito, segundo os critérios já apresentados no item 5.3.3.1, foi calculada segundo a fórmula:

$$ER = \text{Área da Superfície} \times \text{Profundidade Estimada} \times \text{FCM} \times \text{FCV} \times D.$$

Onde:

ER = Estimativa de reserva

FCM = Fator de confiabilidade do método (0,70)

FCV = Fator de correção do volume (0,80)

D = Densidade do quartzo (2,65).

O resultado é:

$$ER = 50.000 \text{ m}^3 \times 0.70 \times 0.80 \times 2.65 = 74.200\text{t}.$$

As características geoquímicas da amostra colhida são apresentadas abaixo, no Quadro 4.

Quadro 4
Resultados da Análise Geoquímica de Amostra de Quartzo
da Localidade de Caieiras, em Banabuiú - Ceará

SiO ₂	Al	B	Ba	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	K
%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
98,99	2899	<1	157	79	<3	1	<1	649	1431

Li	Mg	Mn	Na	Ni	P	Sr	Ti	V	Zr
ppm									
51	142	40	74	<1	24	3	114	2	6

Como se observa, esta amostra possui mais de 1% de impurezas, calculadas em termos de óxidos.

Do ponto de vista geoquímico o Alumínio, o Potássio e o Ferro são responsáveis pelos maiores índices de impurezas, correspondendo, respectivamente, a 2899ppm, 1431ppm e 649ppm. Magnésio, Titânio e Bário também apresentam teores superiores a 100ppm.

5.3.3.5 - QUIXERAMOBIM (QB-01)

Em Quixeramobim, o local da ocorrência de quartzo chama-se Cosme Paes e localiza-se 62 km ao Sul da sede municipal sendo o acesso feito por estrada carroçável. No local há energia elétrica e disponibilidade de água.

O depósito de Cosme Paes foi requerido para pesquisa junto ao Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM, processo N^o 800.144/2008, tendo como titular a empresa Casa Grande Mineração Ltda.

O georeferenciamento do local indicou as seguintes coordenadas: e:
Coordenadas Geográficas: 05° 26' 00,0" S e 39° 07' 09,7" W;
Coordenadas UTM: 9399316m S e 485870m E.

Trata-se de grande ocorrência de quartzo de cor branca, leitoso, postando-se sob a forma de núcleo aflorante de pegmatito da província pegmatítica de Quixeramobim. Há blocos variando de centimétrico a métrico,

encaixado em rocha do tipo biotita gnaise do embasamento cristalino pré-cambriano. Apresenta-se, também, sob a forma de matacões e blocos rolados. A área aflorante é de aproximadamente 150 metros de largura por 250 metros de extensão. A topografia do local da ocorrência apresenta destaque diferenciado do ambiente das proximidades, formando um pequeno morro. Vide Foto 5.

A estimativa da reserva desse depósito, segundo os critérios já apresentados no item 5.3.3.1, foi calculada segundo a fórmula:

$$ER = \text{Área da Superfície} \times \text{Profundidade Estimada} \times \text{FCM} \times \text{FCV} \times D.$$

Onde:

ER = Estimativa de reserva

FCM = Fator de confiabilidade do método (0,70)

FCV = Fator de correção do volume (0,80)

D = Densidade do quartzo (2,65).

O resultado é:

$$ER = 187.500 \text{ m}^3 \times 0.70 \times 0.80 \times 2.65 = 278.200.$$

Foto 5

Quartzo Encaixado no Quartzito em Quixeramobim - Ceará



As características geoquímicas da amostra colhida são apresentadas abaixo, no Quadro 5.

Quadro 5
Resultados da Análise Geoquímica de Amostra de Quartzo
da Localidade de Cosme Paes, em Quixeramobim – Ceará

SiO ₂	Al	B	Ba	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	K
%	ppm								
99,84	197	<1	2	31	<3	<1	<1	392	25

Li	Mg	Mn	Na	Ni	P	Sr	Ti	V	Zr
ppm									
4	8	48	21	<1	7	<1	18	<1	<1

Pelos dados acima, verifica-se que se trata de um quartzo de alta pureza geoquímica, com mais de 99,8% de sílica, medindo-se em termo de óxido.

Valores em partes por milhão acima de 100, somente são encontrados para Ferro (392ppm) e Alumínio (197ppm)

5.3.3.6 - CHORÓ (CH-01)

A ocorrência visitada no município de Choró localiza-se a 7 km NW da sede municipal, às margens da CE - 456, por rodovia asfaltada, na localidade de Açude, em terreno de propriedade do DNOCS..

No local existe energia elétrica e água proveniente do Açude Choró.

A área foi requerida para pesquisa junto ao Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM, processo N^o 800.726/2010, tendo como titular a empresa NMB Comercial Ltda.

O georeferenciamento do local apresenta as seguintes coordenadas:

Coordenadas geográficas: 04° 48' 34,6" S e 39° 08' 30,1" W;

Coordenadas UTM: 9468374m S e 484296m E.

O quartzo se apresenta de cor branca, leitoso, ocorre sob a forma de núcleo aflorante, com blocos variando de centimétrico a métrico, encaixado em rocha biotita gnaisse do embasamento pré-cambriano. Ocorre, também, sob a forma de matacões e até blocos rolados. A área aflorante é de aproximadamente 100 metros de largura por 100 metros de extensão. A topografia do local da ocorrência, em forma de pequeno morro, não tem destaque topográfico local. Vide Foto 6

Foto 6

Afloramento Natural de Quartzo em Choró - CE



A estimativa da reserva desse depósito, segundo os critérios já apresentados no item 5.3.3.1, foi calculada segundo a fórmula:

$$ER = \text{Área da Superfície} \times \text{Profundidade Estimada} \times \text{FCM} \times \text{FCV} \times D.$$

Onde:

ER = Estimativa de reserva

FCM = Fator de confiabilidade do método (0,70)

FCV = Fator de correção do volume (0,80)

D = Densidade do quartzo (2,65).

O resultado é:

$$ER = 50.000 \text{ m}^3 \times 0.70 \times 0.80 \times 2.65 = 74.200\text{t.}$$

As características geoquímicas da amostra colhida são apresentadas abaixo, no Quadro 6.

Quadro 6
Resultados da Análise Geoquímica de Amostra de Quartzo
da Localidade de Açude, em Choró – Ceará

SiO ₂	Al	B	Ba	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	K
%	ppm								
99,87	101	<1	3	31	<3	1	3	331	19

Li	Mg	Mn	Na	Ni	P	Sr	Ti	V	Zr
ppm									
<2	6	36	21	<1	9	1	14	<1	<1

Como se observa do resultado acima, se trata de um quartzo de alta pureza, pela amostra analisada, apresentando, em termos de óxido, impurezas inferiores a 0,15%.

Geoquimicamente, apenas o Ferro e o Alumínio apresentam, em partes por milhão, teores superiores a 100ppm, respectivamente 331ppm e 101ppm.

5.3.3.7 - ITAPIÚNA (IT-01)

Em Itapiúna foram visitadas três ocorrências: Uma em Lagoa do Mato, outras duas na Fazenda Touro, as quais se descrevem a seguir.

As ocorrências cadastradas situam-se a Oeste da sede municipal, e o acesso é feito por estrada carroçável; todas contam com energia elétrica e água proveniente de açudes

5.3.3.7.1 - Lagoa do Mato

A localidade de Lagoa do Mato está situada na zona rural do município de Itapiúna, distando 28km da sede municipal.

A área está requerida junto ao Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM, processo N° 800.131/2005, tendo como titular a empresa Carbomil S.A. Mineração e Indústria.

O georeferenciamento do local indicou as seguintes coordenadas:

Coordenadas geográficas: 04° 33' 04,4" S e 38° 58' 15,5" W;

Coordenadas UTM: 9496986m S e 503279m E .

Esse depósito de quartzo demonstra ser de relativa monta, apresentando características de cor branca, leitoso, sob a forma de núcleo aflorante, com blocos variando de centimétrico a métrico, encaixado em biotita gnaisse do embasamento. Existe, também, sob a forma de matacões até de blocos rolados. A área aflorante de aproximadamente 50 metros de largura por 100 metros de extensão.

A topografia do local da ocorrência apresenta formato morro com destaque local significativo. Vide Foto 7.

A estimativa da reserva desse depósito, segundo os critérios já apresentados no item 5.3.3.1, foi calculada segundo a fórmula:

$ER = \text{Área da Superfície} \times \text{Profundidade Estimada} \times FCM \times FCV \times D.$

Onde:

ER = Estimativa de reserva

FCM = Fator de confiabilidade do método (0,70)

FCV = Fator de correção do volume (0,80)

D = Densidade do quartzo (2,65).

O resultado é:

$ER = 25.000 \text{ m}^3 \times 0.70 \times 0.80 \times 2.65 = 37.100\text{t}.$

As características geoquímicas da amostra colhida são apresentadas abaixo, no Quadro 7.

Foto 7

Afloramento Natural de Quartzo em Lagoa do Mato - Itapiúna - CE



Quadro 7

Resultados da Análise Geoquímica de Amostra de Quartzo
da Localidade de Lagoa do Mato, em Itapiúna - Ceará

SiO ₂	Al	B	Ba	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	K
%	ppm								
99,42	805	<1	8	54	<3	1	<1	545	235

Li	Mg	Mn	Na	Ni	P	Sr	Ti	V	Zr
ppm									
5	27	46	106	<1	14	4	21	<1	<1

Como se observa, trata-se de uma amostra de relativa pureza química, haja vista que, em termos de óxido, possui pouco mais de 0,5%. Os metais com maiores presenças geoquímicas são o Alumínio, com 805ppm; o Ferro, com

545ppm e o Potássio, com 235ppm. Além desses, somente o Sódio tem presença superior a 100ppm, no caso, 106ppm.

5.3.3.7.2 - Fazenda Touro I

A localidade Fazenda Touro I situa-se na zona rural do município de Itapiúna, distando 16 km a Oeste da sede municipal.

A área foi requerida junto ao Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM, processo N° 800.131/2005, tendo como titular a empresa Carbomil S.A. Mineração e Indústria.

O georeferenciamento do local apresentou as seguintes coordenadas:

Coordenadas geográficas: 04° 33' 05,8" S e 38° 57' 40,4" W;

Coordenadas UTM: 9496900m S e 504300m E.

O depósito de quartzo em tela se apresenta de cor branca, leitoso, sob a forma de núcleo aflorante, com blocos variando de centimétrico a métrico, encaixado em biotita gnaisse do embasamento cristalino pré-cambriano. Existe, também, sob a forma de matacões até blocos rolados.

A área aflorante é de aproximadamente 300 metros de largura por 200 metros de extensão e a apresenta destaque topográfico local. Vide. Foto 8.

A estimativa da reserva desse depósito, segundo os critérios já apresentados no item 5.3.3.1, foi calculada segundo a fórmula:

$$ER = \text{Área da Superfície} \times \text{Profundidade Estimada} \times \text{FCM} \times \text{FCV} \times D.$$

Onde:

ER = Estimativa de reserva

FCM = Fator de confiabilidade do método (0,70)

FCV = Fator de correção do volume (0,80)

D = Densidade do quartzo (2,65).

O resultado é:

$$ER = 40.000 \text{ m}^3 \times 0.70 \times 0.80 \times 2.65 = 59.300t.$$

Foto 8

Afloramento Natural de Quartzo em Fazenda touro I - Itapiúna - CE



As características geoquímicas da amostra colhida são apresentadas abaixo, no Quadro 8.

Quadro 8

Resultados da Análise Geoquímica de Amostra de Quartzo
da Localidade de Fazenda Touro I, em Itapiúna – Ceará

SiO ₂	Al	B	Ba	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	K
%	ppm								
99,66	695	<1	7	71	<3	1	<1	471	241

Li	Mg	Mn	Na	Ni	P	Sr	Ti	V	Zr
ppm									
5	33	48	149	<1	8	4	11	<1	<1

Os resultados mostrados acima evidenciam uma amostra de quartzo de significativa pureza, haja vista que o teor de impurezas total, em termos de óxido, é inferior a 0,4, %.

Do ponto de vista geoquímico, apenas quatro elementos se destacam com suas presenças na amostra: o Alumínio, com 695ppm; o Ferro, com 471ppm; o Potássio, com 241% e o Sódio, com 149ppm. Os demais elementos químicos presentes são insignificantes como impurezas.

5.3.3.7.3 - Fazenda Touro II

A localidade de Fazenda Touro II, também no município de Itapiúna, situa-se a 14 km a Oeste da sede municipal.

O georeferenciamento do local evidenciou as seguintes coordenadas:

Coordenadas geográficas: 04° 33' 07,5" S e 38° 56' 24,8" W;

Coordenadas UTM: 9493894m S e 506654m E.

Trata-se de uma ocorrência de quartzo de cor branca, leitoso, sob a forma de núcleo aflorante, com blocos variando de centimétrico a métrico, encaixado em biotita gnaiss do embasamento, também sob a forma de matacões até blocos rolados.

A área aflorante de aproximadamente 20 metros de largura por 100 metros de extensão. A morfologia do local da ocorrência apresenta pouco destaque topográfico. Vide Foto 9

A estimativa da reserva desse depósito, segundo os critérios já apresentados no item 5.3.3.1, foi calculada segundo a fórmula:

$$ER = \text{Área da Superfície} \times \text{Profundidade Estimada} \times FCM \times FCV \times D.$$

Onde:

ER = Estimativa de reserva

FCM = Fator de confiabilidade do método (0,70)

FCV = Fator de correção do volume (0,80)

D = Densidade do quartzo (2,65).

O resultado é:

$$ER = 10.000 \text{ m}^3 \times 0.70 \times 0.80 \times 2.65 = 14.800\text{t}.$$

Foto 9

Afloramento Natural de Quartzo na Fazenda Touro II - Itapiúna - CE



As características geoquímicas da amostra colhida são apresentadas abaixo, no Quadro 9.

Quadro 9

Resultados da Análise Geoquímica de Amostra de Quartzo
da Localidade de Fazenda Touro II, em Itapiúna – Ceará

SiO ₂	Al	B	Ba	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	K
%	ppm								
99,38	786	<1	8	104	<3	1	<1	599	215

Li	Mg	Mn	Na	Ni	P	Sr	Ti	V	Zr
ppm									
6	42	48	140	<1	12	6	26	<1	<1

O quadro de análises acima evidencia uma amostra com relativa pureza química, na medida em que possui mais de 99% de SiO₂ e as impurezas, em termos de óxido, são inferiores a 0,7%.

Os dados geoquímicos da amostra indicam que há quatro elementos químicos com maior destaque: o Alumínio, com 786ppm; o Ferro, com 599ppm; o Potássio, com 215ppm e o Sódio com 140ppm. Os demais elementos presentes são insignificantes.

5.3.3.8 - ARACOIABA (AR-01)

Em Aracoiaba, foi visitada uma ocorrência localizada às margens da CE-060, ainda na zona urbana da sede municipal, localidade denominada de Umari. O acesso, pela CE-060 é todo asfaltado e o local possui energia elétrica e água encanada.

O georeferenciamento do local indica o seguinte posicionamento geográfico:

Coordenadas geográficas: 04° 23' 22,7" S e 38° 50' 43,5" W;

Coordenadas UTM: 9493894m S e 506654mE.

O depósito é de um quartzo de cor branca, leitoso a hialino, ocorre sob a forma de blocos variando de centimétrico a métrico, encaixado em rocha do tipo biotita gnaisse do embasamento pré-cambriano. Localmente, também existe sob a forma de matacões e até blocos rolados.

A área aflorante é de aproximadamente 30 metros de largura por 70 metros de extensão. A topografia do local da ocorrência não apresenta destaque topográfico. Vide Foto 10.

A estimativa da reserva desse depósito, segundo os critérios já apresentados no item 5.3.3.1, foi calculada segundo a fórmula:

$$ER = \text{Área da Superfície} \times \text{Profundidade Estimada} \times \text{FCM} \times \text{FCV} \times \text{D.}$$

Onde:

ER = Estimativa de reserva

FCM = Fator de confiabilidade do método (0,70)

FCV = Fator de correção do volume (0,80)

D = Densidade do quartzo (2,65).

O resultado é:

$$ER = 10.500 \text{ m}^3 \times 0.70 \times 0.80 = 5.880 \times 2,65 = 15.500\text{t.}$$

Foto 10

Afloramento de Dique de Quartzo em Aracoiaba - CE



As características geoquímicas da amostra colhida são apresentadas abaixo, no Quadro 10.

Quadro 10

Resultados da Análise Geoquímica de Amostra de Quartzo da
Localidade de Umari, em Aracoiaba - Ceará

SiO ₂	Al	B	Ba	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	K
%	ppm								
99,83	137	<1	2	28	<3	<1	<1	387	16

Li	Mg	Mn	Na	Ni	P	Sr	Ti	V	Zr
ppm									
4	7	44	17	<1	12	<1	17	<1	<1

A amostra de Umari, pelos resultados evidenciados acima, demonstra ser de um quartzo de alta pureza, haja vista que, em termos de óxido, não possui mais do que 0,17% de outros elementos químicos. Estas impurezas, medidas em parte por milhão, se constituem quase exclusivamente por Ferro, com 387ppm e Alumínio, que representa 137ppm. Todos os outros elementos dosados têm presença pouco significativa, com nenhum atingindo o nível de 50ppm.

5.3.3.9 - CANINDÉ

5.3.3.9.1 - Serrote Branco (CN-01)

A primeira ocorrência visitada em Canindé localiza-se na zona rural, no distrito de Bonito, na localidade de Serrote Branco, a 25 km a SW da sede municipal e o acesso é feito por estrada carroçável.

A ocorrência de quartzo foi requerida para pesquisa junto ao Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM, processo N° 800.431/1985, tendo como titular a empresa Libra - Ligas do Brasil S.A..

O georeferenciamento do local exhibe as seguintes coordenadas:

Coordenadas geográficas: 04° 25' 01,1" S e 39° 25' 46,7" W;

Coordenadas UTM: 9511812m S e 452368m E.

Trata-se de um grande maciço de quartzo de cor branca, leitoso, ocorre sob a forma de núcleo aflorante, com blocos variando de centimétrico a métrico, encaixado em rocha biotita gnaiss do embasamento pré-cambriano. Ocorre, também, sob a forma de matações e até blocos rolados. Vide Foto 11.

A área aflorante é de aproximadamente 200 metros de largura por 100 metros de extensão possuindo uma topografia sob a forma de morro com destaque regional.

A estimativa da reserva desse depósito, segundo os critérios já apresentados no item 5.3.3.1, foi calculada segundo a fórmula:

$$ER = \text{Área da Superfície} \times \text{Profundidade Estimada} \times \text{FCM} \times \text{FCV} \times D.$$

Onde:

Foto 11

Afloramento Natural de Quartzo em Canindé - CE



ER = Estimativa de reserva

FCM = Fator de confiabilidade do método (0,70)

FCV = Fator de correção do volume (0,80)

D = Densidade do quartzo (2,65).

O resultado é:

$$ER = 100.000 \text{ m}^3 \times 0.70 \times 0.80 \times 2.65 = 148.400\text{t}.$$

As características geoquímicas da amostra colhida são apresentadas abaixo, no Quadro 11

Quadro 11

Resultados da Análise Geoquímica de Amostra de Quartzo da Localidade de Bonito, no Serrote Branco, em Canindé - Ceará

SiO ₂	Al	B	Ba	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	K
%	ppm								
99,72	380	<1	5	109	<3	2	<1	493	134

Li	Mg	Mn	Na	Ni	P	Sr	Ti	V	Zr
ppm									
<2	32	45	29	<1	41	6	17	<1	<1

O resultado da análise química indica se tratar de uma amostra de quartzo com alto teor de pureza, em termos de óxido, atingindo nível superior a 99,7%.

As dosagens geoquímicas corroboram este resultado, na medida em que somente quatro elementos químicos estão presentes com valores mais significativos, entretanto, todos menores que 500ppm. O maior teor é de Ferro, com 493ppm; seguido pelo alumínio, com 380ppm e, menos significativamente, o Potássio, com 134ppm e o Cálcio, com 109ppm.

5.3.3.9.1 - Estrada Canindé - Santa Quitéria (CE-257) (P05-CI)

Na estrada Canindé Santa - Quitéria (CE 257) encontra-se um afloramento de quartzo leitoso com aproximadamente 50m de diâmetro. Ver Foto 12

O georeferenciamento do local evidenciou as seguintes coordenadas:

Coordenadas geográficas: 04° 12' 94,5" S e 39°39'27,5" W;

Coordenadas UTM: 9534035m S e 427388m E.

Altitude: 246m.

A estimativa da reserva desse depósito, segundo os critérios já apresentados no item 5.3.3.1, foi calculada segundo a fórmula:

$$ER = \text{Área da Superfície} \times \text{Profundidade Estimada} \times \text{FCM} \times \text{FCV} \times D.$$

Onde:

ER = Estimativa de reserva

FCM = Fator de confiabilidade do método (0,70)

FCV = Fator de correção do volume (0,80)

D = Densidade do quartzo (2,65).

O resultado obtido é:

$$ER = 2350\text{m}^3 \times 0,7 \times 0,8 \times 2,65 = 3.400\text{t}$$

Foto 12

Afloramento Natural de Quartzo no Km 04,
Rodovia CE 157, no Município de Santa Quitéria - CE



A qualidade química da amostra analisada é apresentada no Quadro 12 abaixo:

Quadro 12

Resultados da Análise Geoquímica de Amostra de Quartzo
Km 04, Rodovia CE 157, Santa Quitéria - Ceará

SiO ₂	Al	B	Ba	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	K
%	ppm								
99,57	843	<1	4	67	<3	1	<1	450	251

Li	Mg	Mn	Na	Ni	P	Sr	Ti	V	Zr
PPM									
18	26	45	80	<1	10	3	11	<1	<1

Quimicamente, a amostra de quartzo colhida no local apresentou uma pureza, em ermo de óxido, superior a 99,5%, o que se entende como de bom proveito industrial.

Os dados geoquímicos, referentes às impurezas, indicam que o Alumínio, o Ferro e o Potássio são os elementos químicos maiores contaminadores, respectivamente com 843ppm, 450ppm e 251ppm. Os demais elementos presentes possuem teores insignificantes.

5.3.3.10 - CASCAVEL (P01-CI)

No município de Cascavel, nas imediações do distrito de Cristais, a aproximadamente 3 km de distância da sede do distrito, localiza-se um afloramento de quartzo.

Referido afloramento possui dimensões de aproximadamente 40m de comprimento, por 12m de largura e está sendo explorado pela empresa Van Roll, para extração de mica (muscovita), com diversas frentes de lavra. Foto 13

As características locais do afloramento, bem pegmatíticas, o indicam como sendo de origem hidrotermal.

O georeferenciamento do local revela as seguintes coordenadas:

Coordenadas geográficas: 04° 30' 596" S e 038° 23' 32,6" W;

Coordenadas UTM: 9501520m S e 567861m E.

Altitude: 74m.

A estimativa da reserva desse depósito, segundo os critérios já apresentados no item 5.3.3.1, foi calculada segundo a fórmula:

$$ER = \text{Área da Superfície} \times \text{Profundidade Estimada} \times \text{FCM} \times \text{FCV} \times D.$$

Onde:

ER = Estimativa de reserva

FCM = Fator de confiabilidade do método (0,70)

FCV = Fator de correção do volume (0,80)

D = Densidade do quartzo (2,65).

No presente caso, em se tratando de um pegmatito típico, pode inferir a profundidade provável do núcleo de quartzo como, no mínimo, um terço do diâmetro. Assim, tomou-se para profundidade de cálculo o valor de 15m.

O resultado obtido é:

$$ER = 942\text{m}^3 \times 0,7 \times 0,8 \times 2,65 = 1.300\text{t}$$

Foto 13

Afloramento Natural de Quartzo em Cristais, Município de Cascavel - CE



A qualidade química da amostra analisada é apresentada no Quadro 13 abaixo:

Quadro 13
Resultados da Análise Geoquímica de Amostra de Quartzo
da Localidade Cristais, em Caridade - Ceará

SiO ₂	Al	B	Ba	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	K
%	ppm								
99,85	184	<1	1	33	<3	<1	<1	436	17

Li	Mg	Mn	Na	Ni	P	Sr	Ti	V	Zr
ppm									
12	8	50	25	<1	5	<1	10	<1	<1

Como se observa, trata-se de uma amostra de excelente pureza química, em termos de óxidos, onde a sílica, SiO₂, compõe 99,85% da mesma.

As impurezas presentes são representadas mais significativamente por Ferro (436ppm) e Alumínio (184ppm). Os demais elementos químicos presentes são insignificantes, sobressaindo o Manganês com 50ppm e o Cálcio, com 33ppm.

5.3.3.11 - CARIDADE

No município de Caridade foram visitados três locais com ocorrências de quartzo: um na localidade de São José, outro no local denominado Serrote Branco e um terceiro na localidade de Encruzilhada.

5.3.3.11.1 - São José (P02-CI)

A localidade de São José está a aproximadamente 6 km de distância da sede municipal.

O afloramento apresenta-se com tamanho em torno de entre 80m de diâmetro, com quartzitos como rocha encaixante. A área é de assentamento do INCRA. Vide Foto 14.

O georeferenciamento do local indicou as seguintes coordenadas:

Coordenadas geográficas: 04° 16' 0,19" S e 39°04'29" W;

Coordenadas UTM: 9228403m S e 492101m E.

Altitude: 218m.

Foto 14
Afloramento Natural de Quartzo na Localidade de
São José, no Município de Caridade - CE



A estimativa da reserva desse depósito, segundo os critérios já apresentados no item 5.3.3.1, foi calculada segundo a fórmula:

$$ER = \text{Área da Superfície} \times \text{Profundidade Estimada} \times \text{FCM} \times \text{FCV} \times D.$$

Onde:

ER = Estimativa de reserva

FCM = Fator de confiabilidade do método (0,70)

FCV = Fator de correção do volume (0,80)

D = Densidade do quartzo (2,65).

No presente caso, em se tratando de um pegmatito típico, pode inferir a profundidade provável do núcleo de quartzo como, no mínimo, um terço do diâmetro. Assim, tomou-se para profundidade de cálculo o valor de 25m.

O resultado obtido é:

$$ER = 6.250\text{m}^3 \times 0,7 \times 0,8 \times 2,65 = 9.200\text{t}$$

A qualidade química da amostra analisada é apresentada no Quadro 14 abaixo:

Quadro 14
Resultados da Análise Geoquímica de Amostra de Quartzo
da Localidade São José, em Caridade - Ceará

SiO ₂	Al	B	Ba	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	K
%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
99,1	2088	<1	16	356	<3	2	<1	615	1383

Li	Mg	Mn	Na	Ni	P	Sr	Ti	V	Zr
ppm									
6	94	54	49	<1	157	10	37	2	<1

A amostra da localidade de São José contém 0,9% de impurezas, em termos de óxidos. Assim, não pode ser considerada uma amostra de qualidade, além do mais, os elementos químicos Alumínio e Potássio estão presentes com mais de 1000ppm, respectivamente 2088ppm e 1383ppm. O Ferro, com 615ppm; o cálcio, com 356ppm e o Fósforo, com 157ppm são os elementos químicos também presentes com maiores teores geoquímicos.

5.3.3.11.2 - Serrote Branco (P03-CI)

A localidade de Serrote Branco situa-se na zona rural de Caridade a aproximadamente 15 Km de distância da sede do município. Foto 15.

No local observa-se afloramento de quartzo leitoso com dimensões aproximadas de 300m x 40m.

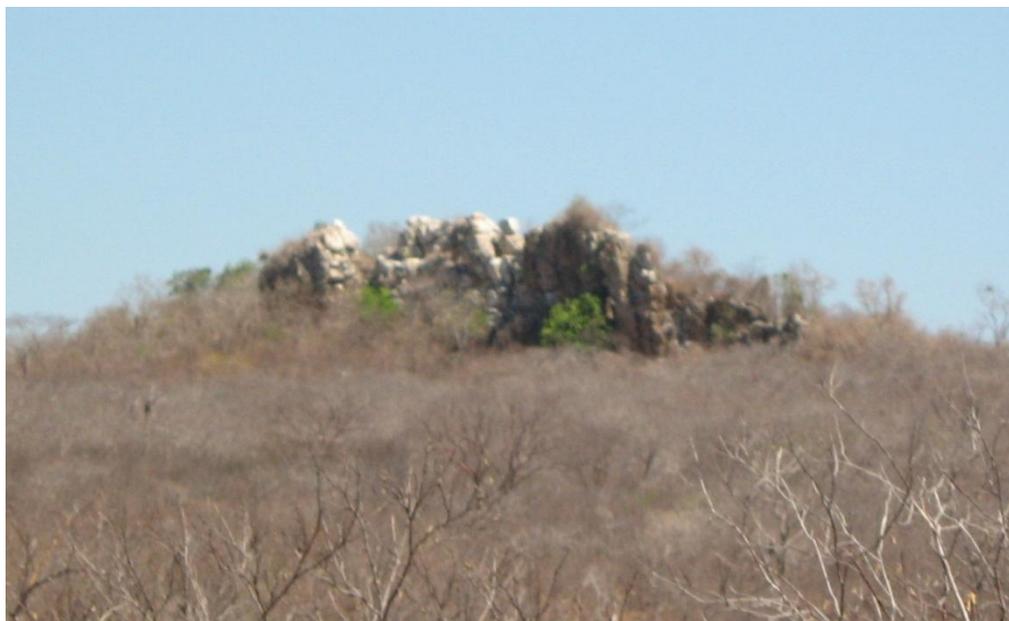
O georeferenciamento do local evidenciou as seguintes coordenadas:

Coordenadas geográficas: 04° 12' 18,6" S e 039°18'12,7" W;

Coordenadas UTM: 9333666m S e 464097m E.

Altitude: 158m.

Foto 15
Afloramento Natural de Quartzo na Localidade
de Serrote Branco, Caridade - CE



A estimativa da reserva desse depósito, segundo os critérios já apresentados no item 5.3.3.1, foi calculada segundo a fórmula:

$$ER = \text{Área da Superfície} \times \text{Profundidade Estimada} \times FCM \times FCV \times D.$$

Onde:

ER = Estimativa de reserva

FCM = Fator de confiabilidade do método (0,70)

FCV = Fator de correção do volume (0,80)

D = Densidade do quartzo (2,65).

No presente caso, em se tratando de um típico veio hidrotermal, pode inferir a profundidade provável do mesmo como, algo em torno de um terço do de seu comprimento. Assim, poder-se-ia tomar para profundidade de cálculo o valor de até 100m, entretanto, tendo em vistas uma possível lavra a céu aberto, restringiu-se esse valor par 15m.

O resultado obtido é:

$$ER = 180.000\text{m}^3 \times 0,7 \times 0,8 \times 2,65 = 267.100\text{t}$$

A qualidade química da amostra analisada é apresentada no Quadro 15 abaixo:

Quadro 15
Resultados da Análise Geoquímica de Amostra de Quartzo
da Localidade Serrote Branco, em Caridade - Ceará

SiO ₂	Al	B	Ba	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	K
%	ppm								
99,88	100	<1	2	27	<3	<1	<1	262	15

Li	Mg	Mn	Na	Ni	P	Sr	Ti	V	Zr
ppm									
<2	4	27	21	<1	5	<1	16	<1	<1

Como se depreende das informações acima, constata-se que a amostra analisada possui grande pureza química, na medida em que seu teor de sílica é superior a 99,8%. Por outro lado, somente dois elementos químicos presentes na amostra, em termos de parte por milhão, possuem teores superiores a 100ppm: O Ferro, com 262ppm e o alumínio, com 100ppm. Todos os demais elementos químicos dosados se mostraram com teores ínfimos, ou seja, menores que 27ppm.

5.3.3.11.3 - Encruzilhada (P04-CI)

Esse afloramento localiza-se na zona rural do município de Caridade, em um local chamado Encruzilhada a aproximadamente 12 km de distância ao Sudoeste da sede municipal

Macroscopicamente, no local se identifica uma ocorrência de quartzo leitoso com inclusões ferruginosas. São blocos centimétricos a dessimétricos, que ocupam uma área circular com raio de aproximadamente 12 m; Vide Foto 16

O georeferenciamento do local evidenciou as seguintes coordenadas:

Coordenadas geográficas: 04° 12' 18,6" S e 39°18'12,7" W;

Coordenadas UTM: 9534206m S e 466508m E.

Altitude: 178m.

Foto 16
Afloramento Natural de Quartzo na Localidade de
Encruzilhada, Caridade - CE



Não foi feita estimativa da reserva desse depósito, tendo em vista suas pequenas dimensões aflorantes. Por outro lado, considerando a qualidade química da amostra, esse afloramento não pode ser descartado sem antes fazer-se uma prospecção mais detalhada do mesmo.

A qualidade química da amostra analisada é apresentada no Quadro 16 abaixo:

Quadro 16
Resultados da Análise Geoquímica de Amostra de Quartzo
da Localidade Encruzilhada, em Caridade - Ceará

SiO ₂	Al	B	Ba	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	K
%	ppm								
99,76	142	<1	4	81	<3	<1	<1	454	20
Li	Mg	Mn	Na	Ni	P	Sr	Ti	V	Zr
ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
<2	8	50	41	<1	7	2	22	<1	<1

Como se observa, trata-se de uma amostra de quartzo de relativa pureza química, na medida em que, em termos de óxido, possui mais de 99,75% de pureza.

As impurezas geoquímicas, dadas em ppm, são constituídas, principalmente pelo Ferro, com 454ppm e pelo Alumínio, com 142ppm. Os demais elementos químicos presentes possuem teores inferiores a 85ppm e são essencialmente o Cálcio, com 81ppm, o Manganês, com 50ppm e o Sódio, com 41ppm.

5.3.3.12 - SOBRAL (P06-CI)

No município de Sobral, foi visitada a Fazenda Olinda, próximo ao distrito de Taparuaba. O quartzo se apresenta leitoso e bem desenvolvido. Trata-se de um veio hidrotermal com aparência de pureza visível tomando-se em conta sua brancura e ausência de inclusões. O afloramento pode ser observado por uma distância de mais de 40m e largura em torno de 10m. Vide Foto 17.

O georeferenciamento do local evidenciou as seguintes coordenadas:

Coordenadas geográficas: 04° 00' 96" S e 39°52'97,1" W;

Coordenadas UTM: 9556092m S e 402032m E.

Altitude: 210m.

A estimativa da reserva desse depósito, segundo os critérios já apresentados no item 5.3.3.1, foi calculada segundo a fórmula:

$$ER = \text{Área da Superfície} \times \text{Profundidade Estimada} \times FCM \times FCV \times D.$$

Onde:

ER = Estimativa de reserva

FCM = Fator de confiabilidade do método (0,70)

FCV = Fator de correção do volume (0,80)

D = Densidade do quartzo (2,65).

O resultado obtido é:

$$RE = 4800\text{m}^3 \times 0,7 \times 0,8 \times 2,65 = 7.200\text{t}$$

Foto 17
Afloramento Natural de Quartzo na Fazenda Olinda,
Distrito de Taperuaba, em Sobral CE



A qualidade química da amostra analisada é apresentada no Quadro 17 abaixo:

Quadro 17
Resultados da Análise Geoquímica de Amostra de Quartzo
da Localidade Fazenda Olinda, em Sobral - Ceará

SiO ₂	Al	B	Ba	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	K
%	ppm								
99,83	243	<1	2	36	<3	<1	<1	472	31

Li	Mg	Mn	Na	Ni	P	Sr	Ti	V	Zr
ppm									
4	8	54	30	<1	10	<1	21	<1	<1

Quimicamente, a amostra de quartzo da Fazenda Olinda se mostra de excelente qualidade, haja vista possuir mais de 99,80% de pureza, em termos

de óxido, o que permite se sugerir maiores trabalhos de prospecção para o corpo mineralizado.

Ressalte-se que apenas os elementos químicos Ferro e Alumínio constituem as impurezas geoquímicas mais significantes, com resultados em ppm, respectivamente, de 472ppm e 243ppm. Os demais elementos estão presentes em teores insignificantes, à exceção do Manganês, com 54ppm.

5.3.3.13 - ARACATIAÇÚ (P07-CI)

Neste município foi visitada uma ocorrência de quartzo na localidade de Fazenda Lagoa das Pedras, de propriedade de um senhor conhecido como Seu Chico.

Trata-se de uma ocorrência de quartzo leitoso, fraturado, sob a forma de dique. Suas dimensões aproximadas são: 10m de largura por 50m comprimento. Vide Foto 18.

O georeferenciamento do local identificou as seguintes coordenadas:

Coordenadas geográficas: 03° 58' 52,1" S e 40°08'36,6"W;

Coordenadas UTM: 9560553m S e 373539m E.

Altitude: 175m.

A estimativa da reserva desse depósito, segundo os critérios já apresentados no item 5.3.3.1, foi calculada segundo a fórmula:

$$ER = \text{Área da Superfície} \times \text{Profundidade Estimada} \times FCM \times FCV \times D.$$

Onde:

ER = Estimativa de reserva

FCM = Fator de confiabilidade do método (0,70)

FCV = Fator de correção do volume (0,80)

D = Densidade do quartzo (2,65).

O resultado obtido é:

$$ER = 7.500\text{m}^3 \times 0,7 \times 0,8 \times 2,65 = 11.100\text{t}$$

Foto 18
Ocorrência de Quartzo Natural na
Localidade de Lagoa das Pedras, em Aracatiacú - Ceará



A qualidade química da amostra analisada é apresentada no Quadro 18 abaixo:

Quadro 18
Resultados da Análise Geoquímica de Amostra de Quartzo
da Localidade Fazenda Olinda, em Sobral - Ceará

SiO ₂	Al	B	Ba	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	K
%	ppm								
99,79	192	<1	2	38	<3	1	<1	385	32

Li	Mg	Mn	Na	Ni	P	Sr	Ti	V	Zr
ppm									
<2	6	52	31	<1	9	<1	18	<1	<1

A qualidade química da amostra analisada revelou-se um quartzo de excelente qualidade, evidenciando teores de SiO₂ próximos a 99,8%.

Os elementos constituintes das principais impurezas são o Ferro, com 385ppm e o Alumínio, com 192ppm. Os demais elementos presentes possuem teores inferiores a 52ppm.

As características observadas superficialmente desse corpo indicam para o mesmo maiores trabalhos de prospecção.

5.3.3.14 - FORQUILHA (P08-CI)

No município de Forquilha, zona Norte do Estado do Ceará, próximo à localidade de Ingá, às margens da CE 230, encontra-se um afloramento de quartzo leitoso, fraturado, tendo como rocha encaixante um quartzito. Foto 19.

O georeferenciamento do local identificou as seguintes coordenadas:

Coordenadas geográficas: 03° 55' 76,2" S e 40°10'37,7"W;

Coordenadas UTM: 956563m S e 369809m E.

Altitude: 174m.

As dimensões da ocorrência não sugerem a existência de volumes significativos, assim, não se estimou reserva para o mesmo.

A qualidade química da amostra analisada é apresentada no Quadro 19 abaixo:

Infelizmente, os resultados da análise da amostra desse afloramento não revelaram um quartzo de boa qualidade, haja vista que tem quase 1% de impurezas, em termos de óxidos.

Os teores geoquímicos de Alumínio são superiores a 2400ppm, enquanto o Ferro atinge mais de 640ppm. Outras impurezas significativas são o Potássio, o Cálcio e o Sódio com, respectivamente, 312ppm, 257ppm e 147ppm.

Foto 19
Afloramento Natural de Quartzo na Localidade de Ingá,
Município de Forquilha - Ceará



Quadro 19
Resultados da Análise Geoquímica de Amostra de Quartzo
da Localidade Ingá, em Forquilha - Ceará

SiO ₂	Al	B	Ba	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	K
%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
99,06	2457	<1	21	257	<3	<1	<1	645	312

Li	Mg	Mn	Na	Ni	P	Sr	Ti	V	Zr
ppm									
31	31	38	147	<1	11	10	23	<1	<1

5.3.3.15 - URUOCA (P09-CI)

Na estrada Coreaú - Granja, às margens da rodovia CE - 313, à altura do município de Uruoca, foi visitada uma ocorrência de quartzo leitoso fraturado. Vide Foto 20

O georeferenciamento do local identificou as seguintes coordenadas:

Coordenadas geográficas: 03° 22' 50,8" S e 40°43'34"W;

Coordenadas UTM: 9626813m S e 309252m E.

Altitude: 68m.

Suas dimensões aflorantes não indicam à primeira vista um potencial capaz de ser explorado economicamente. Seriam necessários maiores trabalhos prospectivos para o mesmo, tendo em vista os resultados apresentados pela análise química o indicar como de ótima qualidade.

Foto 20

Afloramento Natural de Quartzo na
CE - 313 - Uruoca - Ceará



A composição química da amostra analisada é apresentada no Quadro 20 abaixo:

Quadro 20
Resultados da Análise Geoquímica de Amostra de Quartzo
da Rodovia CE 313 Km XXX, em Granja - Ceará

SiO ₂	Al	B	Ba	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	K
%	ppm								
99,64	323	<1	2	49	<3	<1	<1	647	31

Li	Mg	Mn	Na	Ni	P	Sr	Ti	V	Zr
ppm									
5	12	42	29	<1	12	1	31	2	<1

A análise química dessa amostra revelou um quartzo de relativa pureza, pois possui mais de 99,6% de SiO₂. As impurezas Todos os demais elementos químicos presentes têm teores inferiores a 50ppm.as encontradas são, essencialmente, Ferro, com 647ppm e alumínio, com 323ppm

5.3.3.16 - GRANJA (P10- CI)

Já no município de Granja na estrada que liga o distrito de Conselho à localidade de Ubatuba, foi visitada mais uma ocorrência de quartzo leitoso, localmente sem grande expressão em termos de dimensões, aproximadamente 30m por 70m. Vide Foto 21.

O georeferenciamento do local identificou as seguintes coordenadas:

Coordenadas geográficas: 03° 15' 14,3" S e 41°07'02,9"W;

Coordenadas UTM: 9640305m S e 264775m E.

Altitude: 60m.

A estimativa da reserva desse depósito, segundo os critérios já apresentados no item 5.3.3.1, foi calculada segundo a fórmula:

ER = Área da Superfície x Profundidade Estimada x FCM x FCV x D.

Onde:

ER = Estimativa de reserva

FCM = Fator de confiabilidade do método (0,70)
FCV = Fator de correção do volume (0,80)
D = Densidade do quartzo (2,65).

O resultado obtido é:

$$ER = 42.000\text{m}^3 \times 0,7 \times 0,8 \times 2,65 = 62.300\text{t}$$

A composição química da amostra analisada é apresentada no Quadro 21 abaixo:

A análise química da amostra colhida mostrou um resultado compatível com a amostra anterior, da mesma região. Teor de SiO_2 maior do que 99,6% e impurezas geoquímicas centradas no Alumínio (665ppm), Ferro (468ppm) e Potássio (358ppm). Os demais elementos encontrados apresentam teores insignificantes, à exceção do Zircônio, que apresentou 52ppm.

Foto 21
Afloramento Natural de Quartzo no Distrito
de Conselho - Granja - CE



Quadro 21
Resultados da Análise Geoquímica de Amostra de
Quartzo no Distrito de Conselho, Granja - CE

SiO ₂	Al	B	Ba	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	K
%	ppm								
99,64	665	<1	12	29	<3	2	2	468	358

Li	Mg	Mn	Na	Ni	P	Sr	Ti	V	Zr
ppm									
4	7	47	31	<1	4	2	31	<1	52

5.3.3.17 - SANTA QUITÉRIA

5.3.3.17.1 - Serrote dos Neves

Esta ocorrência tem um perfil geomorfológico bem típico dos diques de quartzo que são comumente encontrados no Ceará: um morro em crista, diferenciado topograficamente na paisagem, vez que o intemperismo e a erosão têm desgastado bastante toda a zona cristalina do Ceará desde há mais ou menos 450 milhões de anos. Foto 22.

Situa-se nas nascentes do Rio Groaíras, distando 35,5 km, em linha reta do distrito de Lagoa do Mato, a Oeste de localidade. Com referência ao local do acampamento da INT (Mina de Itataia), o local da ocorrência dista 13,6km, também a Oeste, em linha reta.

O dique de quartzo, normalmente recristalizado por metamorfismo de alto grau, como demonstram as rochas migmatíticas que os envolvem, ou intrusivos, geralmente em veios associados a períodos de injeções pegmatíticas hidrotermais tardias, diferencia-se na topografia formando o que localmente a população local chama de “serrote”. Esses serrotes possuem diferenciações topográficas da ordem de 100 a 200m, formando uma crista de coloração esbranquiçada típica.

O georeferenciamento do local evidenciou as seguintes coordenadas:

Coordenadas geográficas: 4° 34' 21,40" Latitude Sul e 39° 55' 05,35" Longitude Oeste.

Coordenadas UTM: 9494520m S e 398150m E.

Altitude: 346,7m, com erro de mais ou menos 7,4m.

A amostra colhida recebeu a seguinte numeração: JA - 01 - SQ.

Pela imagem de satélite (Cnes/Spot Image) pode-se verificar que o dique em tela se estende por uma distância de aproximadamente 2,3km no rumo Sul-Sudoeste. Diante desse fato, seria irreal tentar-se calcular qualquer valor que seja para a reserva em apreço, bastando dizer são de milhares de toneladas.

Foto 22

Afloramento Natural de Quartzo na Localidade de Serrote dos Neves, no Município de Santa Quitéria - CE



Quimicamente, a amostra de quartzo colhida no local apresentou uma pureza, em termo de óxido de silício, superior a 99,9%, o que se entende como de excelente qualidade para proveito industrial. Não fora os teores de Cobalto, Ferro e Potássio, dir-se-ia que esta amostra se enquadraria em qualquer padrão de utilização industrial. Quadro 22 abaixo.

Quadro 22
Resultados da Análise Geoquímica de Amostra de Quartzo
Serrote dos Neves - Santa Quitéria - Ceará

SiO ₂	Al	B	Ba	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	K
%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
99,95	<3,3	6,0	7,3	8,5	91,7	1,2	1	94	141

Li	Mg	Mn	Na	Ni	P	Sr	Ti	V	Zr
ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
2	14,5	0,79	27,2	-	<3,3	1,8	-	2,5	<0,05

5.3.3.17.2 - Serrote do Boqueirão

O Serrote do Boqueirão tem as mesmas características geológicas e geomorfológicas do Serrote dos Neves. Pertence à mesma estrutura tectônica, tem o mesmo alinhamento e, pela imagem de satélite, tudo leva a crer que se constitui no mesmo dique de quartzo.

Pode-se medir a extensão do dique, pela imagem, o que se obtém 4,3km, no mesmo alinhamento do Serrote dos Neves, só que para Norte.

O local da amostra colhida para análise situa-se num acidente geográfico chamado boqueirão, causado pela erosão que, provavelmente em função de um falhamento transversal, expôs ao intemperismo esta parte do dique que o erodiu, interligando as duas sub-bacias laterais ao lineamento tectônico. Foto 23.

A localização desse afloramento é a 2,8 km ao Norte, em linha reta, seguindo o mesmo alinhamento tectônico já referido para a amostra colhida no Serrote dos Neves.

O georeferenciamento do local evidenciou as seguintes coordenadas:
Coordenadas geográficas: 4° 32' 54,52" Latitude Sul e 39° 55' 45,25"
Longitude Oeste.

Coordenadas UTM: 9497186m S e 396928m E.

Altitude: 330m, com erro de mais ou menos 9,7m.

A amostra foi registrada com o código JA-02-SQ.

Os teores dos elementos químicos analisados, principalmente o teor de SiO₂, este inferior a 99%, não se mostraram muito interessantes, mesmo considerando a hipótese de que poderia se tratar da mesma estrutura do Serrote da Neves. Quadro 23, a seguir. Por outro lado, considerando as dimensões quilométricas da ocorrência, seria de bom alvitre se recomendar um estudo mais detalhado da mesma, incluindo-se na referida análise um mapeamento detalhado para identificar a veracidade de se tratar de um mesmo corpo de quartzo.

As condições da visita ao local não permitiram realizar levantamento de dados que permitissem a estimativa da reserva local. Infere-se ser de grandes proporções haja vista as dimensões dos afloramentos locais e sua aparência nas imagens do Google Earth.

Quadro 23

Resultados da Análise Geoquímica de Amostra de Quartzo Serrote Boqueirão - Santa Quitéria - Ceará

SiO ₂	Al	B	Ba	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	K
%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
98,69	4550	28,4	37,7	25,7	1272	2,2	2,7	1281	2512

Li	Mg	Mn	Na	Ni	P	Sr	Ti	V	Zr
ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
2512	3,9	304	4,9	58,1	-	47,9	9,6	-	13,3

Foto 23
Afloramento Natural de Quartzo na Localidade de
Boqueirão, no Município de Santa Quitéria - Ceará



5.3.3.17.3 - Serrote da Igreja

No acampamento da Mina da Itataia foi recolhida uma amostra de quartzo, anteriormente colhida no Serrote da Igreja por técnico da INB. Referido serrote se localiza defronte ao acampamento da Mina, distando não mais que 300m.

O georeferenciamento do local evidenciou as seguintes coordenadas:
 Coordenadas geográficas: 4° 34' 29,71" Latitude Sul e 39° 48' 07,24" Longitude Oeste.

Coordenadas UTM: 9494272m S e 411035m E.

Altitude: 412,8m, com erro de mais ou menos 17,7m.

A amostra foi registrada com o código JA-03-SQ.

Os resultados analíticos mostram se tratar de uma amostra quimicamente pura, podendo se enquadrar em qualquer padrão de utilização industrial, incluindo-se aí sua utilização para a produção de silício grau metalúrgico. Quadro 24 abaixo.

Quadro 24
 Resultados da Análise Geoquímica de Amostra de Quartzo
 Serrote da Igreja - Santa Quitéria - Ceará

SiO ₂	Al	B	Ba	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	K
%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
99,98	<3,3	3,1	0,63	7	23,2	0,85	0,85	22,7	5,9

Li	Mg	Mn	Na	Ni	P	Sr	Ti	V	Zr
ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
5,9	0,88	3,1	0,38	57,0	-	<3,3	<0,02	-	0,70

Considerando que não foram feitos levantamentos locais para esta ocorrência e, verificada a informação de que não estaria dentro da área de concessão da Mina de Itataia, passaria ser de interesse um levantamento mais detalhado da mesma.

Em se tratando de uma visita exploratória, não foi possível o levantamento de dados que permitissem a inferência do potencial da reserva local. Pode-se afirmar, entretanto, que diante das dimensões visuais do afloramento, alguns milhares de toneladas deverão existir no local.

5.3.3.18 - PARAMBÚ

No município de Parambú visitou-se a localidade de Morro de Santo Antônio local de expressão topográfica diferenciada em virtude da existência de um dique de quartzo onde foi coletada amostra para análise.

O Morro de Santo Antônio dista 9km, em linha reta, no rumo Sul - Sudoeste de cidade de Parambú e a 6km a Oeste da BR 020, a partir do trevo de acesso a Parambú. Fotos 24 e 25 abaixo.

A semelhança geológica com os locais visitados no município de Santa Quitéria é marcante. Observa-se um dique aflorante, de cerca de 200m, com 60m de altura em relação ao platô regional, com direção Oeste - Noroeste a Leste - Sudeste.

O ambiente geológico é de rochas intensamente metamorfas e aplainadas pela erosão de centenas de milhões de anos, a qual diferenciou o dique de quartzo pela sua maior resistência.

O georeferenciamento do local evidenciou as seguintes coordenadas, tomada no sopé do morro:

Coordenadas geográficas: 6° 17' 13,11" Latitude Sul e 40° 39' 05,18" Longitude Oeste.

Coordenadas UTM: 9304787m S e 317332m E.

Altitude 490m

A amostra colhida recebeu o código JA-04-PR

Quadro 25

Resultados da Análise Geoquímica de Amostra de Quartzo Serrote Santo Antônio - Parambú - Ceará

SiO ₂	Al	B	Ba	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	K
%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
99,93	<3,3	5,3	2,9	125	76,8	1,7	1,1	80,4	189

Li	Mg	Mn	Na	Ni	P	Sr	Ti	V	Zr
ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
<0,67	16,2	1,6	54,0	-	<3,3	<0,02	-	2,1	<0,05

Muito interessante os resultados analíticos da amostra colhida no Serrote Santo Antônio. Seu grau de pureza em SiO_2 ultrapassa 99,99% e os demais elementos químicos dosados em termos de ppm (parte por milhão) se apresentam com teores baixos, o que é um sinalizador para que futuras pesquisas sejam realizadas na área, já que seu grau de pureza sugere que a ocorrência pode ser utilizada como matéria prima para a obtenção de silício grau metalúrgico.

As informações levantadas por ocasião da visita não permitiram inferir algum número para a reserva local. Entretanto, pela dimensão do morro aflorante é de se esperar que existam no local vários milhares de toneladas.

Fotos 24

Afloramento Natural de Quartzo na Localidade de Morro de Santo Antônio, no Município de Parambú - Ceará



Fotos 25
Afloramento Natural de Quartzo na Localidade de
Morro de Santo Antônio, no Município de Parambú - Ceará



6 - AVALIAÇÃO GEOECONÔMICA

O Mapa da Distribuição Municipal dos Depósitos de Quartzo Visitados, abaixo apresentado, demonstra que o projeto, dentro das possibilidades financeiras disponíveis, conseguiu distribuir equipes de geólogos que percorreram aproximadamente 60% do território cearense, tentando localizar as ocorrências de quartzo cujas informações eram disponíveis, segundo os critérios que já foram relatados anteriormente.

Importante frisar que as reais ocorrências de quartzo existentes no Ceará são quantitativamente bem maiores que as visitadas, fato este que se pôde aquilatar durante as campanhas de campo, oportunidade em que os diálogos com as populações locais revelam a existência de inúmeros outros afloramentos, inclusive com características cristalinas, como aconteceu em conversas com moradores do município de Granja.

A geoeconomia aqui tratada diz respeito à análise de alguns parâmetros de ordem locacional, qualitativas geologicamente e químicas das ocorrências visitadas, versus suas possíveis utilizações na indústria de transformação, principalmente com foco na produção de Silício de Grau Metalúrgico (SGM), matéria prima para a produção do Silício de Grau Solar (SGS).

O projeto tem um objetivo bem focado: indicar a possibilidade de, através da identificação de prováveis disponibilidades de reservas de quartzo, propícias à produção de SGM, utilizar tal vantagem competitiva como argumento para a atração de indústrias do setor. Essas indústrias poderiam a vir se verticalizar e produzir no Ceará placas fotovoltaicas e, assim, fazer com que o Estado se insira em mais uma linha de produção de bens de tecnologia de ponta voltados à geração de energia limpa, graças ao seu potencial de horas de sol.

O parâmetro locacional a que se refere acima é interpretado como muito favorável, haja vista que em 60% do território cearense, totalmente constituído por rochas cristalinas bem antigas, Pré-Cambrianas, há uma distribuição bem homogênea e generalizada de ocorrências de quartzo naturais.

Por outro lado, as análises químicas e geoquímicas realizadas nas amostras colhidas mostraram um resultado muito significativo e positivo: conforme se observa no Mapa I anexo, os teores de SiO₂ superiores a 99,55% detectados se distribuem com o mesmo padrão da espacialidade das ocorrências. Do ponto de vista geoquímico pode-se inferir que a gênese dos depósitos de quartzo do Ceará é propícia à formação de depósitos de alta pureza, independentemente da localização que esteja na área do Pré-Cambriano do Estado.

Outro parâmetro de significativa importância econômica é que aproximadamente 50% das amostras analisadas, distribuídas uniformemente no âmbito do Pré-Cambriano cearense, mostraram pureza superior a 99,8% de SiO₂. Se olharmos para os resultados geoquímicos, conforme demonstra a Tabela III abaixo, verifica-se que dentre os metais alcalinos e metais de transição, componentes das impurezas, a maioria se situa dentro das faixas aceitáveis como matéria prima para fabricação de Silício de Grau Metalúrgico.

O escopo deste trabalho não comportaria uma avaliação espacial qualitativa e quantitativa mais segura dos depósitos, uma vez que foram apenas visitados e sujeitos a uma visão crítica dos geólogos que lá estiveram. Para algumas, foi possível se estabelecer algum critério para se estimar a possível reserva local. Este critério, descrito no início do item 5.3.4, explicita uma aproximação grosseira, mas capaz de se estabelecer uma correlação entre o afloramento, sua natureza e dimensões.

Assim, conforme a Tabela IV abaixo, entende-se que as reservas prováveis de quartzo existentes no Ceará, nas localidades visitadas pelas equipes, não seriam menores que 1.100 mil toneladas.

Destas, pode-se dizer que pelo menos 700 mil toneladas seriam de quartzo com altas probabilidades de possuírem teores indicados para produção de Silício de Grau Metalúrgico.

Diane do exposto, recomenda-se:

1 - Realizar uma pesquisa mais detalhada para SiO₂, utilizando-se de procedimentos técnicos mais precisos, nas áreas onde foram encontradas amostras de quartzo com elevadas purezas em termos de teores de Óxido de

Silício e que não se encontram tituladas pelo Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM). A propósito dos procedimentos acima referidos, entende-se que deveriam ser realizados serviços topográficos de detalhe, sondagens geofísicas, mapeamento geológico de detalhe, escavações superficiais e sondagens a diamante, com vistas à avaliação volumétrica, química e econômica relativa a uma possível lavra.

2 - Para todas estas áreas, a ADECE deverá proceder a um Requerimento de Pesquisa Mineral junto ao DNPM, com vista a resguardar o interesse público sobre os depósitos onde foram investidos seus recursos.

3 - Para as áreas que já se encontram tituladas sugere-se à ADECE entrar em contato com seus titulares objetivando construir uma parceria par acelerar os processos de pesquisa e viabilizar as lavras.

4 - Tendo em vista que os resultados químicos das amostras analisadas apresentaram altos teores de sílica, especialmente distribuídos em todo o território cristalino do Ceará, e considerando que ainda existem muitas informações sobre mais ocorrências de diques e afloramentos de quartzo para os quais não foi possível realizar algum tipo de prospecção no escopo deste trabalho, sugere-se que a ADECE realize mais jornadas de prospecção junto a essas ocorrências, na expectativa de que os resultados sejam semelhantes aos encontrados no presente trabalho.

Tabela IV
Estimativas das Reservas dos Locais Estudados

LOCAIS	TONELADAS
1 - Paramoti (Pr-01)	5.100
2 - Caucaia (Ca-01)	29.600
3 - Pedra Branca (Pb-01)	12.000
4 - Banabuiú (Ba-01)	74.200
5 - Quixeramobim (Qb-01)	278.200
6 - Choró (CH-01)	74.200
7 - Itapiúna - Lagoa do Mato (IT-01)	37.100
8 - Itapiúna - Fazenda Touro I(It-02)	59.300
9 - Itapiúna - Fazenda Touro II(It-03)	14.800
10 - Aracoiaba (Ar-01)	15.500
11 - Canindé - Serrote Branco (Cn-01)	148.400
12 - Canindé - Rodovia CE 257(P05-Ci)	3.400
13 - Cascavel (P01-Ci)	1.300
14 - Caridade - São José (P02-Ci)	9.200
15 - Caridade - Serrote Branco (P03-Ci)	267.100
16 - Caridade - Encruzilhada (P04-Ci)	0
17 - Sobral (P06-Ci)	7.200
18 - Aracatiçú (P07-Ci)	11.100
19 - Forquilha (P08-Ci)	0
20 - Uruoca (P09-Ci)	0
21 - Granja - Ubatuba (P10-Ci)	62.300
22 - Santa Quitéria - Serrote dos Neves	0
23 - Santa Quitéria - Boqueirão	0
24 - Santa Quitéria - Morro da Igreja	0
25 - Parambú - Morro de Santo Antônio	0
TOTAL	1.110.000

TABELA V

LOCAIS	SUBSTÂNCIAS ANALISADAS E TEORES																			
	SiO2	Al	B	Ba	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	K	Li	Mg	Mn	Na	Ni	P	Sr	Ti	V	Zr
	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm									
Choró (CH-01)	99,87	101	<1	3	31	<3	1	3	331	19	<2	6	36	21	<1	9	1	14	<1	<1
Itapiúna - Lagoa do Mato (IT-01)	99,42	805	<1	8	54	<3	1	<1	545	235	5	27	46	106	<1	14	4	21	<1	<1
Itapiúna – Fazenda Touro I(It-02)	99,66	695	<1	7	71	<3	1	<1	471	241	5	33	48	149	<1	8	4	11	<1	<1
Itapiúna – Fazenda Touro II(It-03)	99,38	786	<1	8	104	<3	1	<1	599	215	6	42	48	140	<1	12	6	26	<1	<1
Pedra Branca (Pb-01)	99,71	583	<1	5	33	<3	<1	<1	419	258	<2	9	43	64	<1	7	1	42	<1	3
Quixeramobim (Qb-01)	99,84	197	<1	2	31	<3	<1	<1	392	25	4	8	48	21	<1	7	<1	18	<1	<1
Aracatiáçú (P07-Ci)	99,79	192	<1	2	38	<3	1	<1	385	32	<2	6	52	31	<1	9	<1	18	<1	<1
Sobral (P06-Ci)	99,83	243	<1	2	36	<3	<1	<1	472	31	4	8	54	30	<1	10	<1	21	<1	<1
Caucaia (Ca-01)	99,43	1438	<1	31	52	<3	1	<1	518	434	24	64	49	94	<1	17	5	18	1	<1
Banabuiú (Ba-01)	98,99	2899	<1	157	79	<3	1	<1	649	1431	51	142	40	74	<1	24	3	114	2	6
Aracoiaba (Ar-01)	99,83	137	<1	2	28	<3	<1	<1	387	16	4	7	44	17	<1	12	<1	17	<1	<1
Uruoca (P09-Ci)	99,64	323	<1	2	49	<3	<1	<1	647	31	5	12	42	29	<1	12	1	31	2	<1
Forquilha (P08-Ci)	99,06	2457	<1	21	257	<3	<1	<1	645	312	31	31	38	147	<1	11	10	23	<1	<1
Cascavel (P01-Ci)	99,85	184	<1	1	33	<3	<1	<1	436	17	12	8	50	25	<1	5	<1	10	<1	<1
Caridade – São José (P02-Ci)	99,1	2088	<1	16	356	<3	2	<1	615	1383	6	94	54	49	<1	157	10	37	2	<1
Caridade – Encruzilhada (P04-Ci)	99,76	142	<1	4	81	<3	<1	<1	454	20	<2	8	50	41	<1	7	2	22	<1	<1
Caridade – Serrote Branco (P03-Ci)	99,88	100	<1	2	27	<3	<1	<1	262	15	<2	4	27	21	<1	5	<1	16	<1	<1
Paramoti (Pr-01)	99,91	153	<1	4	23	<3	<1	<1	269	27	<2	5	29	28	<1	7	3	17	<1	1
Granja - (P10-Ci)	99,64	665	<1	12	29	<3	2	2	468	358	4	7	47	31	<1	4	2	31	<1	52
Canindé - (Cn-01)	99,72	380	<1	5	109	<3	2	<1	493	134	<2	32	45	29	<1	41	6	17	<1	<1
Canindé - (P05-Ci)	99,57	843	<1	4	67	<3	1	<1	450	251	18	26	45	80	<1	10	3	11	<1	<1
Santa Quitéria – S. dos Neves (JA – 01)	99,95	<3,3	6,0	7,3	8,5	91,7	1,2	1	94	141	2	14,5	0,79	27,2	-	<3,3	1,8	-	2,5	<0,05
Santa Quitéria – Boqueirão (JA – 02)	98,69	4550	28,4	37,7	25,7	1272	2,2	2,7	1281	2512	3,9	304	4,9	58,1	-	47,9	9,6	-	13,3	1,6
Santa Quitéria – S. da Igreja (JA – 03)	99,98	<3,3	3,1	0,63	7	23,2	0,85	0,85	22,7	5,9	0,88	3,1	0,38	57,0	-	<3,3	<0,02	-	0,70	<0,05
Parambú – Morro S. Antônio (JA – 04)	99,93	<3,3	5,3	2,9	125	76,8	1,7	1,1	80,4	189	<0,67	16,2	1,6	54,0	-	<3,3	<0,02	-	2,1	<0,05

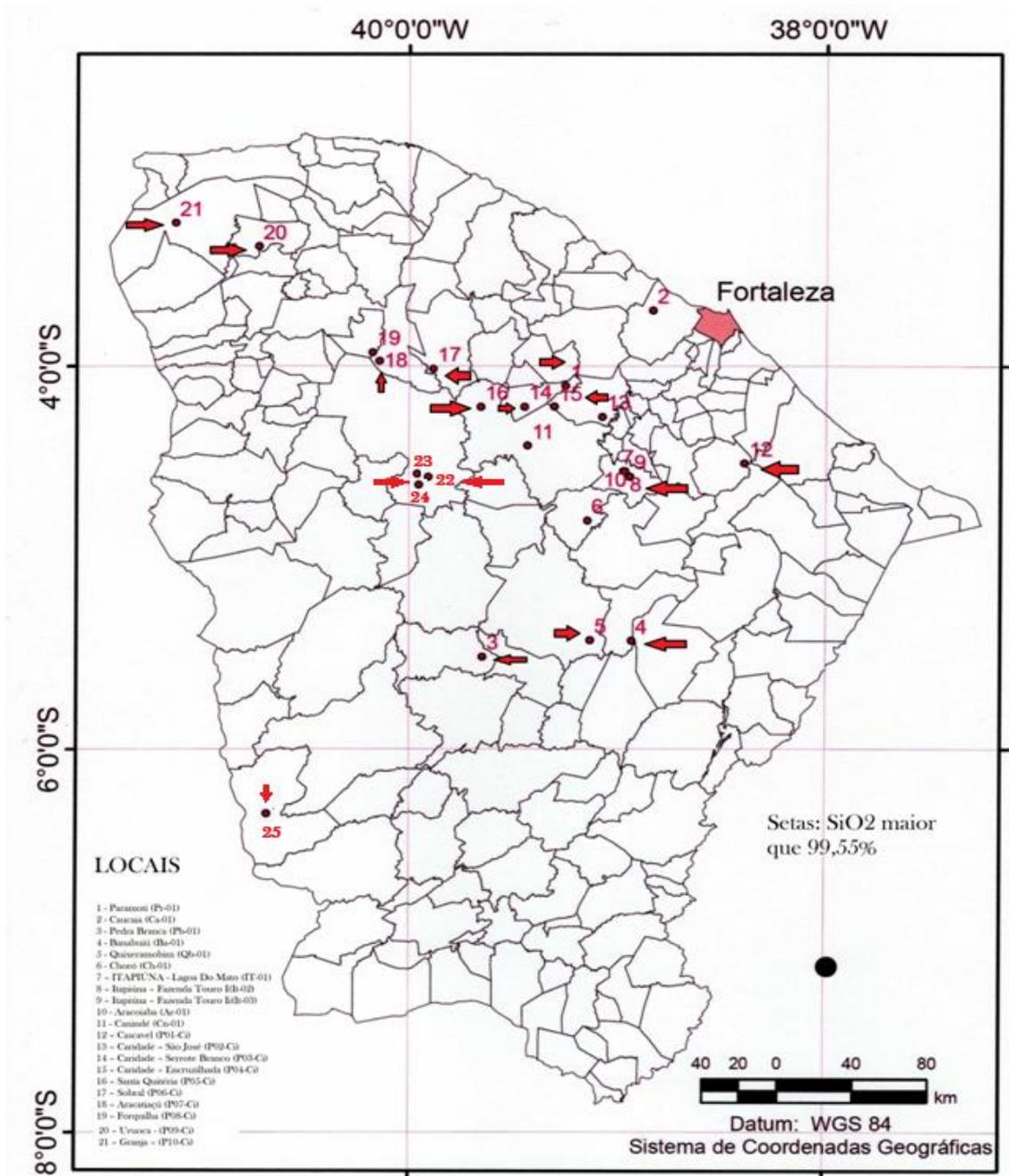
Notas: 1 - As amostras cujos nomes estão escritos em azul foram analisadas pela Geosol, as verdes, pelo CETEM.

2 - Limites Aceitáveis

3 - Metais Alcalinos <100ppm ; Metais de Transição <50ppm; Alumínio <200ppm.

MAPA I

DISTRIBUIÇÃO MUNICIPAL DOS DEPÓSITOS DE QUARTZO VISITADOS



ANEXO I

OBTENÇÃO DE SILÍCIO GRAU SOLAR

Relatório produzido pelo Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) do Ministério das Minas e Energia.

1 - Células Fotovoltaicas

As células fotovoltaicas (PV) ou células solares são dispositivos capazes de converter a energia da radiação solar em energia elétrica, constituídos por camadas de um material semi-condutor (geralmente silício) dopado com elementos doadores (P, As) ou receptores (Ga, B) de elétrons. Portanto, por meio da técnica de dopagem, a camada de silício pode ter características doadoras (N) ou receptoras (P) de elétrons, sendo que a migração destes elétrons entre as camadas receptora/doadora (junção PN) ocorre mediante a excitação por fótons e gera uma corrente elétrica. Este é o princípio de funcionamento da célula solar.

Vários são os fatores que afetam a eficiência de uma célula solar, por exemplo, as células compostas de um único tipo de material são eficientes apenas numa determinada faixa de comprimento de onda, sendo que sua conversão máxima de energia luminosa em elétrica seria de 25%. Portanto, existe o interesse na obtenção de células contendo a combinação de dois ou mais materiais, cuja eficiência teórica ficaria em torno de 70% mas que, em contrapartida, são tecnicamente difíceis de serem produzidas devido à tensão gerada sobre os cristais. Descobertas recentes utilizando ligas de nitreto de índio gálio (mistura de InN e GaN) revelaram-se promissoras quanto a conversão de todo espectro solar em potência elétrica com custo acessível (Home page da Siemens).

Apesar do silício não ser um bom absorvedor de luz, praticamente 90% das células solares empregam este material, cuja eficiência varia entre 11 e 16%. O silício é aplicado nas células solares em três formas principais, monocristalino, policristalino e amorfo, descritas a seguir.

Monocristalino: São cortadas finas camadas de um monocristal de silício da alta pureza que serão utilizadas na confecção das células solares. É

considerada a forma mais cara de obtenção, porém as células produzidas são mais eficientes;

Policristalino: O silício é fundido, vazado em moldes, solidificado e serrado na forma de lâminas, sendo suscetível à formação de defeitos durante a solidificação que comprometem seu desempenho.

Amorfo: Filmes muito finos (da ordem de 1 μm) podem ser obtidos sobre substratos como aço e vidro. Possui baixo custo de obtenção e baixa eficiência de conversão, tendo aplicação em dispositivos que requeiram baixa potência (relógios, calculadoras, etc.) ou quando existe grande área disponível (fachadas de edifícios).

Como o silício cristalino é um material extremamente duro, seu corte requer serras especiais com enxertos de partículas de diamante e muito material é desperdiçado durante essa operação (Goetzberger et al, 2003). Desta forma, a obtenção do silício na forma de fitas é vantajosa, pois elimina a necessidade de serrar o material na forma de lâminas para aplicação nas células.

2 - Matéria-prima

O quartzo- α é um dos minerais mais abundantes da crosta terrestre (cerca de 12%) e está presente na composição de rochas magmáticas, sedimentares e metamórficas, ocorrendo tanto na forma monocristalina quanto policristalina. A maior parte do quartzo natural lavrado dos veios hidrotermais destina-se à produção de fragmentos (lascas) de 20 a 50g, que são classificadas visualmente segundo uma ordem de transparência em 6 classes. Contudo, a transparência nem sempre é um bom indicativo de pureza. Observa-se que a presença de Al, Fe e Li nas inclusões fluidas do quartzo não têm influência na transparência, enquanto que essa propriedade diminui com o aumento do teor de Na e K.

As lascas de primeira classe (mais transparentes) servem para a obtenção de fibras óticas e vidros especiais. As lascas de terceira classe servem para a obtenção do quartzo cultivado, utilizado na construção de dispositivos piezelétricos, num procedimento que envolve a aplicação de altas temperaturas

e pressão elevada, por um período que pode variar entre 40 dias e 6 meses (crescimento hidrotérmico). A boa qualidade e perfeição cristalina dos blocos naturais de quartzo utilizados como sementes são de suma importância para que seja evitada a propagação de discordâncias (defeitos) durante o cultivo do cristal.

Lascas de terceira a quinta classe podem dar origem aos compostos de silício para aplicação em células solares (SI-SoG), mediante a purificação do silício metalúrgico (Si-MG).

3 - Obtenção do silício grau metalúrgico (Si-MG) e grau solar (Si-SOG)

A obtenção do silício grau solar (Si-SoG) pode ser feita pela purificação do silício grau metalúrgico (Si-MG) por processos de lixiviação ácida seguida de fusão ou por solidificação unidirecional.

O Si-MG é obtido via um processo de redução térmica com carbono amorfo, descrito na reação 1 (reação principal), sendo também formados outros subprodutos (reações laterais), como SiC e SiO.



A produção do Si-MG é feita em fornos elétricos de arco de plasma com eletrodos submersos, sendo que para cada tonelada de silício produzido são consumidas cerca de 2,7 toneladas de quartzo. Carvão e madeira também são insumos utilizados neste processo, que é altamente dispendioso em termos de consumo de energia elétrica e tem eficiência reduzida em virtude de grande parte da matéria prima (carvão e quartzo) ficar fora da especificação granulométrica requerida.

O Brasil produz Si-MG com alto grau de pureza (até 99,5) em virtude da pureza da matéria-prima e do uso de carvão vegetal, isento de metais pesados. A maior parte do Si-MG nacional é exportado para ser reprocessado em países detentores de tecnologia para sua purificação.

As impurezas presentes no Si-MG encontram-se nos contornos dos grãos e podem ser retiradas (cerca de 90%) mediante cominuição do material

até 50 - 70 µm seguida de lixiviação ácida. Este procedimento, contudo, não é adequado para a remoção de impurezas como P, B e Cu, que comprometem a aplicação do silício nas células solares.

A fusão do Si-MG, (previamente lixiviado ou não) em uma mistura de gases à base de cloro, oxigênio e hidrogênio, pode levar ao Si-SoG com 99,99% de pureza. Desta forma, são removidas impurezas como C, Ca, Al, B, P, e Ti, que possuem seus respectivos hidretos e cloretos voláteis na temperatura de fusão do silício. Com o uso de dispositivos com feixe de elétrons, evita-se a necessidade de utilização desses gases, tornando a tecnologia mais limpa.

A pureza do Si-MG poderia ser aumentada pela lixiviação das lascas de quartzo com solução de HF, para remoção das incrustações e impurezas superficiais, seguida de um choque térmico com água destilada para induzir a formação de trincas, facilitando a retirada das inclusões fluidas e minimizando o consumo energético associado às etapas de fragmentação das lascas.

4 - Pureza e demais tecnologias de purificação

O grau de pureza é o fator determinante do custo do silício. Enquanto o Si-MG não custa mais do que U\$1,50 por Kg, a mesma quantidade de silício empregado em semi-condutores (com menos que 1 ppb de impurezas) pode custar de U\$35,00 a U\$200,00. Sabe-se que a aplicação em células solares é mais tolerante à presença de impurezas do que os dispositivos eletrônicos, o que permite a utilização do silício com especificação intermediária entre o grau metalúrgico e o grau eletrônico. Contudo, ainda não existe um consenso na literatura sobre quais seriam os índices absolutos de contaminação aceitáveis para o Si-SoG (Istratov et al, 2006).

Segue abaixo os níveis de contaminação máximos propostos por autores diversos:

Nível de contaminação aceitável da matéria prima para obtenção de Si-SoG segundo Hofstetter et al (2008).

Contaminante	Concentração (ppma)	Contaminante	Concentração (ppma)
Ti *	0,022	Fe	12,5
Cr	0,026	Cu	4,6

Um fator complicador para o estabelecimento dos índices máximos de contaminantes é que o nível crítico de cada contaminante depende da forma como o Si-SoG é aplicado nas células, ou seja, existem níveis distintos para o Si-SoG aplicado como placa, fita ou lingote direcional, por exemplo. (Istratov et al, 2006)

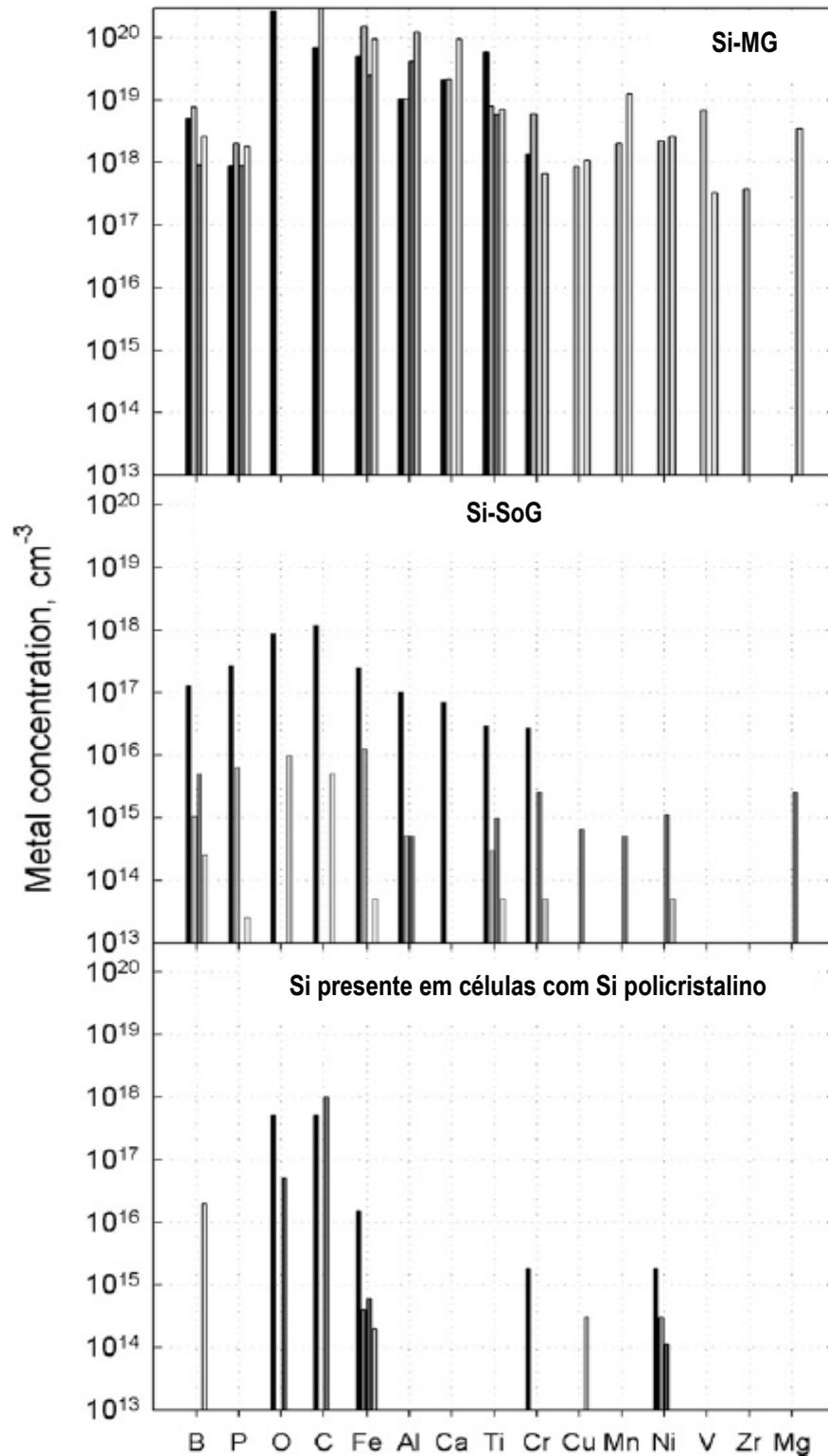
O Si-SoG pode ser produzido tanto pela modificação do processo Siemens, baseado na destilação de derivados gasosos de silício, como pela purificação do Si-MG para que os teores de P, B, Al, O, C e metais de transição sejam reduzidos. As seguintes tecnologias de purificação são mencionadas na literatura (Istratov et al, 2006).

Redução da sílica com carbono \Rightarrow É o processo para obtenção do Si-MG, consistindo na redução do silício (Reação 1) num forno a arco de plasma. É possível elevar a pureza do silício obtido através da purificação, por lixiviação, da sílica ou quartzo e da fonte de carbono, usando fornos especiais com eletrodos purificados.

Lixiviação ácida \Rightarrow Consiste no tratamento com ácido (HCl, HF, água régia, etc.) do Si-MG pulverizado em partículas de até 70 μ m. Este processo não é eficaz para a remoção de impurezas intragranulares que estejam em alta concentração, como B e P.

Borbulhamento de gás através do silício fundido \Rightarrow Pode-se chegar à um grau de pureza de 99,99% com o uso de gases como Cl₂, O₂, SiCl₄, H₂ úmido, CO₂ e suas combinações. Os gases reagem com as impurezas, formando compostos voláteis que evaporam do fundido. O método é efetivo para remover Al, Ca, C, Mg, Fe, B, P e Ti.

Figura 1. Concentrações típicas das impurezas encontradas no silício (Istratov et al, 2006).



Solidificação direcional \Rightarrow Durante o crescimento do cristal a partir do fundido ou num processo de solidificação direcional (Ex. formação do lingote de silício policristalino) ocorre a segregação de impurezas, que tendem a ficar concentradas numa fina camada na superfície do lingote ou permanecer no cadinho. As impurezas podem, então, ser removidas e a eficiência da remoção é função dos coeficientes de segregação de cada impureza. Geralmente, metais segregam de forma mais efetiva do que os outros elementos.

Fusão e refino do silício com plasma reativo \Rightarrow Um maçarico de plasma é usado para fundir a camada superficial do silício e ativar gases (Ar, H₂, O₂ e H₂O) que reagem com as impurezas formando compostos voláteis. Tanto metais como dopantes podem ser removidos.

Evaporação do fósforo do silício fundido \Rightarrow utilizando um dispositivo com feixe de elétrons e vácuo.

Formação de escória ou lixiviação com cálcio \Rightarrow Esta técnica se baseia na mistura do silício com uma substância que tenha grande afinidade química com as impurezas, formando compostos estáveis que podem ser posteriormente separados do silício pela deposição nas paredes do cadinho, por lixiviação ou filtração. A adição de Ca é efetiva para a redução de Fe, Ti e P. A imersão de silício triturado num metal de baixo ponto de fusão, como Al, Ag ou Zn, seria alternativa. Por exemplo, ao ser misturado com o alumínio, ocorre a formação de um composto eutético. Durante o resfriamento, ocorre a precipitação do silício, que é separado por filtração do alumínio fundido e, posteriormente, lixiviado com ácido.

5 - Considerações finais

Existe uma grande diversidade de técnicas para obtenção do Si-SoG e, portanto, é necessário decidir qual dessas técnicas seria a melhor opção para realizar um trabalho de desenvolvimento no CETEM. Para esta decisão, devem ser levadas em conta as seguintes questões:

I - A matéria prima a ser utilizada (Si-MG ou quartzo?), tipo e teor de contaminantes presentes.

II - Muitas das técnicas requerem o uso de dispositivos (fornos, reatores) ou conhecimento específico da área de metalurgia. Faremos alguma parceria com instituições que já dispõe dessa estrutura?

III - Existe a necessidade de definir o nível tolerável de contaminação para o Si-SoG;

IV - A USP e a Unicamp já desenvolvem pesquisa nesta área (Pires et al, 2003 e Stem, 2007).

6 - Bibliografia consultada

<http://www.siemenssolar.com/how-solar-panels-work.html>

<http://www.siemenssolar.com/types-solar-cells.html>

P.L. Guzzo, em Quartzos, capítulo 31 (não tenho todos os dados da referência)

J. Hofstetter, J.F. Lelièvre, C. del Canizo, A. Luque em Acceptable contamination levels in solar grade silicon: From feedstock to solar cell, *Materials Science and Engineering B* xxx (2008) xxx-xxx, article in press.

A.A. Istratov, T. Buonassisi, M.D. Pickett, M. Heuer, E.R. Weber em Control of metal impurities in “dirty” multicrystalline silicon for solar cells, *Materials Science and Engineering B* 134 (2006) 282-286

J.C.S. Pires, A.F.B. Braga, P.R. Mei em Profile of impurities in polycrystalline silicon samples purified in an electron beam melting, *Solar Energy Materials & Solar Cells* 79 (2003) 347-355

Nair Stem em Células solares de silício de alto rendimento: Otimizações teóricas e implementações experimentais utilizando processos de baixo custo, Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2007, 268 p.

8 - BIBLIOGRAFIA

1. - BRASIL - DNPM - Anuário Mineral Brasileiro 2005.
2. - FIEC - Cadastro Industrial do Ceará - 2007.
3. - ROBERO, F. A. C et alli Programa Nacional de Distrito Mineiros. Fortaleza, DNPM 10º, Distrito. 2000.
4. - CPRM - Projeto Pegmatitos do Nordeste Oriental - 2000.
5. - Neves, P. C. P. Introdução à Mineralogia Prática - 2ª ed. - Canoas: Ed. ULBRAS, 2008.
6. - Vidal, F. W. H., Sales, F. A. C. B., Roberto, F. A. C., Souza, J. F., Matos, I. C. - Rochas e Minerais Industriais do Estado do Ceará. CETEM/UECE/DNPM/FUNCAP/SENAI, Fortaleza 2005, 176p.
7. - Wilson Teixeira et allii, organizadores - Decifrando a Terra - 2. ed. - São Paulo. Companhia Editora Nacional, 2009.
8. - OBTENÇÃO DE SILÍCIO GRAU SOLAR. Relatório produzido pelo Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) do Ministério das Minas e Energia.
9. - BRASIL - DNPM/DIDEM - Informe Mineral 2009. Brasília, 2009.
10. BRASIL - DNPM/DIPLAM; SECEX-MF; Mineral Commodity Summaries 2008. Brasília 2009.
- 11.- CENTRO DE GESTAO E ESTUDOS ESTRATEGICOS - Energia Solar Fotovoltaica no Brasil: Subsídios para Tomada de Decisão: Serie Documentos Técnicos 2 - Brasília, DF. 2010.
12. BARBOSA, M. I. M. & PORPHÍRIO, N. H. (1995) Caracterização Tecnológica de Lascas de Quartzo. Série Tecnologia Mineral, n 69. CETEM, Rio de Janeiro, RJ.
13. Luz, Adão Benvindo da - Quartzo/Adão Benvindo da Luz e Eliezer Braz - Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2000. 20 p. (Série Rochas e Minerais Industriais, 2).
14. Schimidt. D. N. e Rocha R. L. P. da - Silício Grau Solar. Escola de Engenharia de Lorena. USP. 2010.