



**Universidade Federal do Pará**  
**Centro de Geociências**  
Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**GEOLOGIA E GÊNESE DO VEIO DE CRISTAL DE ROCHA DO  
GARIMPO DA LAGOA, XAMBIOÁ-TO**

TESE APRESENTADA POR

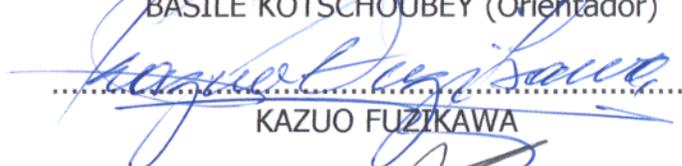
**IÊDA DE OLIVEIRA FERREIRA**

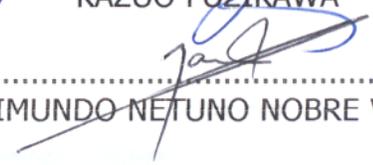
Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em  
Ciências na Área de GEOQUÍMICA E PETROLOGIA.

Data de Aprovação: 31.08.2000

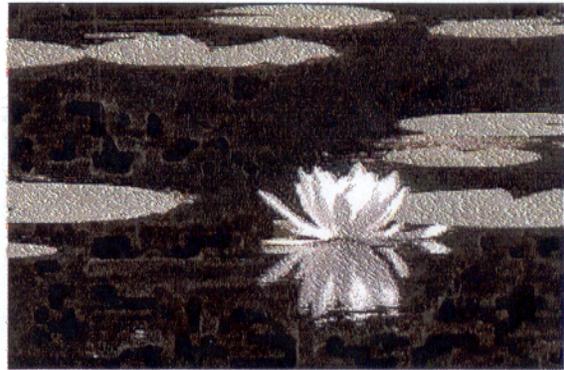
**Comitê de Tese:**

  
.....  
BASILE KOTSCHOUBEY (Orientador)

  
.....  
KAZUO FUZIKAWA

  
.....  
RAIMUNDO NETUNO NOBRE VILLAS

A Deus



O temor do senhor é o princípio da ciência:  
Os loucos desprezam a sabedoria e a  
instrução. Prov. 1:7

## **AGRADECIMENTOS**

Ao concluir esta dissertação de mestrado expresso os meus sinceros agradecimentos às instituições e pessoas amigas que muitíssimo contribuíram para a elaboração desta dissertação de mestrado..

A CAPES e a FINEP que através do Projeto - Metalogenia da região entre a Província de Carajás e a parte Norte do Maciço Mediando de Goiás - financiou e tornou possível a execução deste trabalho, e pela concessão de uma bolsa de estudo no período de elaboração desta pesquisa;

Ao Curso de Pós Graduação em Geologia e Geoquímica (CPGG) pelo apoio recebido, que com a colaboração do Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear, da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CDTN / CNEN), permitiram a realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Basile Kotschoubey pela orientação e compreensão durante a execução do trabalho;

Ao Prof. Dr. Kazuo Fuzikawa pelas valiosas orientação, discussões e sugestões durante a coleta e interpretação dos dados microtermométricos, pelas análises Micro-Raman, que juntamente com o apoio da Prof<sup>a</sup>. Maria Sylvia Souza Dantas do Departamento de Física da UFMG, as tornaram possíveis, e pela hospitalidade durante a minha estada em Belo Horizonte. Prof. Kazuo, meu muitíssimo obrigada;

Aos Profs. Drs. Márcio Dias Santos e Netuno Nobre Villas pelas valiosas orientações durante o percorrer desta pesquisa;

Ao Prof. Dr. Thomas Sheller, pela imensa colaboração na tentativa de orientar os cortes dos cristais de rocha, ao longo do seu eixo cristalográfico, para a preparação de laminas bipolidas orientadas;

Ao Msc. James Vieira Alves e ao Dr. Francisco Javier Rios, pelo auxílio no manuseio dos equipamentos do Laboratório de Inclusões Fluidas do CDTN, empréstimos bibliográficos e pelo total apoio durante o meu estágio no LIF/CDTN;

Ao geólogo José Maria Leal e à Prof<sup>a</sup>. Lourdinha pela hospitalidade e convivência no LIF/CDTN;

Às amigas Cláudia Cerveira, Ivone Chaves, Marly Rocha e Leila Salame

Aos que não participaram diretamente mas que apenas apoiaram e incentivaram este trabalho, estendo os meus agradecimentos.

# SUMÁRIO

<b>DEDICATÓRIA.....</b>	<b>i</b>
<b>AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>ii</b>
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....</b>	<b>vii</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS.....</b>	<b>ix</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>01</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>03</b>
<b>1 - INTRODUÇÃO.....</b>	<b>05</b>
1.1 – APRESENTAÇÃO.....	05
1.2 – LOCALIZAÇÃO E ACESSO.....	06
1.3 – PROBLEMÁTICA.....	06
1.4 - OBJETIVOS.....	08
1.5 – METODOLOGIA.....	08
<b>1.5.1- Pesquisa Bibliográfica.....</b>	<b>08</b>
<b>1.5.2 – Trabalho de Campo.....</b>	<b>08</b>
<b>1.5.3 – Trabalhos de laboratório.....</b>	<b>09</b>
<b>1.5.4 - Trabalhos de gabinete.....</b>	<b>09</b>
1.6 – CLIMA E GEOMORFOLOGIA.....	09
<b>2 – GEOLOGIA REGIONAL.....</b>	<b>11</b>
2.1 – GENERALIDADES.....	11
2.2 – ESTRATIGRAFIA.....	11
<b>2.2.1 - Complexo Colméia.....</b>	<b>11</b>
<b>2.2.2 - Gnaiss Cantão.....</b>	<b>13</b>
<b>2.2.3 – Supergrupo Baixo Araguaia.....</b>	<b>13</b>
2.2.3.1 – Grupo Estrondo.....	13
2.2.3.2 – Grupo Tocantins.....	15
<b>2.2.4 – Corpos Graníticos.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2.5 – Corpos Ultramáficos.....</b>	<b>16</b>
<b>2.2.6 – Formação Rio das Barreiras.....</b>	<b>16</b>

<b>2.2.7– Rochas da Bacia do Parnaíba.....</b>	<b>17</b>
<b>2.2.8 – Terrenos Recentes.....</b>	<b>17</b>
<b>2.3 – GEOLOGIA ESTRUTURAL E EVOLUÇÃO GEOTECTÔNICA.....</b>	<b>17</b>
2.4 – METAMORFISMO.....	18
2.5 – OCORRÊNCIAS MINERAIS.....	18
<b>3 – GEOLOGIA LOCAL.....</b>	<b>20</b>
3.1 – ESTRATIGRAFIA.....	20
3.2 – VEIOS A CRISTAL DE ROCHA.....	20
<b>3.2.1 – Generalidades.....</b>	<b>20</b>
<b>3.2.2 – Geologia do Depósito.....</b>	<b>22</b>
<b>4– ESTUDO DAS INCLUSÕES FLUIDAS.....</b>	<b>23</b>
4.1 – INTRODUÇÃO.....	23
4.2 – HISTÓRICO.....	23
4.3 – CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS INCLUSÕES FLUIDAS.....	24
<b>4.3.1 – Introdução.....</b>	<b>24</b>
<b>4.3.2 – Ocorrência e Distribuição.....</b>	<b>24</b>
<b>4.3.3 - Morfologia das Inclusões.....</b>	<b>24</b>
<b>4.3.4 – Classificação Paragenética.....</b>	<b>25</b>
<b>4.3.5 – Classificação das IF Conforme a quantidade de Fases Presentes.....</b>	<b>25</b>
<b>4.3.6 – Mudanças pós -aprisionamento.....</b>	<b>26</b>
4.4 – METODOLOGIA.....	26
<b>4.4.1 – Análise ao microscópio.....</b>	<b>27</b>
<b>4.4.2 – Microtermometria.....</b>	<b>29</b>
4.5 – SISTEMAS QUÍMICOS DOS FLUIDOS PRESENTES NAS IF DOS VEIOS DE QUARTZO DO GARIMPO DA LAGOA - XAMBIOÁ.....	29
<b>4.5.1 – Sistema H<sub>2</sub>O + Sais.....</b>	<b>29</b>
4.5.1.1 – Temperatura de Fusão do Gelo.....	31
4.5.1.2 – Temperatura de Homogeneização.....	33
<b>4.5.2 – Sistema H<sub>2</sub>O – NaCl – CO<sub>2</sub>.....</b>	<b>34</b>
4.5.2.1 – Temperatura de Homogeneização de CO <sub>2</sub> .....	34
4.5.2.2 –Temperatura de Fusão de CO <sub>2</sub> .....	35

4.5.2.3 – Temperatura de Homogeneização Total.....	35
<b>5 – ESTUDO DAS IF DO ANTIGO GARIMPO DA LAGOA – XAMBIOÁ.....</b>	<b>38</b>
5.1 – INTRODUÇÃO.....	38
5.2 – AMOSTRAS ESTUDADAS.....	38
<b>5.2.1 – Amostra GLA – 14.....</b>	<b>39</b>
5.2.1.1 – Microscopia.....	39
5.2.1.2 – Microtermometria.....	44
<b>5.2.2 – Amostra GLA - 15.....</b>	<b>48</b>
5.2.2.1 – Microscopia.....	48
<b>5.2.3 – Amostra GLA – 02.....</b>	<b>48</b>
5.2.3.1 – Microscopia.....	48
5.2.3.2 – Microtermometria.....	53
<b>5.2.4 – Amostra GLA - 05.....</b>	<b>57</b>
5.2.4.1 – Microscopia.....	57
5.2.4.2 – Microtermometria.....	57
5.3 – DISCUSSÃO.....	58
<b>5.3.1 – Inclusões Fluidas aquo – carbônicas.....</b>	<b>60</b>
5.3.1.1 – Distribuição e características morfológicas.....	60
5.3.1.2 – Temperatura de Fusão de CO <sub>2</sub> .....	61
5.3.1.3 – Temperatura de Homogeneização de CO <sub>2</sub> .....	61
5.3.1.4 – Temperatura de Homogeneização total.....	61
<b>5.3.2 – Inclusões Aquosas.....</b>	<b>62</b>
5.3.2.1 – Inclusões aquosas trifásicas.....	62
5.3.2.2 – Inclusões aquosas bifásicas.....	62
5.3.2.3 – Inclusões aquosas monofásicas.....	63
<b>5.3.3 – Inclusões Sólidas.....</b>	<b>63</b>
5.4 - INTERPRETAÇÃO GENÉTICA DOS VEIOS A CRISTAL DE ROCHA.....	64
<b>6 – ESTUDO GEMOLÓGICO.....</b>	<b>69</b>
6.1 – GENERALIDADES.....	69
6.2 – CLASSIFICAÇÃO E USO DO CRISTAL DE ROCHA DA REGIÃO DE XAMBIOÁ.....	69

<b>6.3 – VALOR COMERCIALIZADO.....</b>	<b>70</b>
<b>6.4 – APROVEITAMENTO ECONÔMICO DO CRISTAL DE ROCHA.....</b>	<b>71</b>
<b>6.5 – MÉTODOS DE LAVRA.....</b>	<b>75</b>
<b>6.6 – ASPECTOS SOCIAIS.....</b>	<b>76</b>
<b>7– CONCLUSÃO.....</b>	<b>78</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>80</b>

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### FIGURAS

Figura 1 – Mapa de Localização da área.....	07
Figura 2 –Mapa Geomorfológico.....	10
Figura 3 – Mapa da Geologia Regional.....	12
Figura 4 – Quadro Estratigráfico Regional.....	14
Figura 5 – Veio de quartzo em Micaxisto da Formação Xambioá.....	21
Figura 6 – Garimpo de Cristal de rocha em aluviões.....	22
Figura 7 - Platina de aquecimento e resfriamento modelo FLUID INC.....	28
Figura 8 – Diagrama P-T de H <sub>2</sub> O, no intervalo de 800° e 10 Kbar.....	30
Figura 9 – Diagrama das fases (T – X) do sistema NaCl – H <sub>2</sub> O a baixas temperaturas.....	32
Figura 10 – Diagramas das fases (PT) do CO <sub>2</sub> .....	36
Figura 11– Diagrama de Solubilidade NaCl – KCl.....	37
Figura 12 - Lâmina bipolida de quartzo preparada a partir da amostra GLA-14.....	40
Figura 13 – Fotomicrografia de IF do tipo 1 (amostra GLA- 14).....	41
Figura 14 – Fotomicrografia de IF do tipo 2 (amostra GLA-14).....	41
Figura 15 – Fotomicrografia de IF do tipo 3 Subtipo (a) (amostra GLA-14).....	42
Figura 16 – Fotomicrografia de IF do tipo 3 Subtipo (b) (amostra GLA-14).....	43
Figura 17 – Fotomicrografia de IF do tipo 4 (amostra GLA-14).....	43
Figura 18 - Histograma das T <sub>fCO2</sub> (amostra GLA – 14).....	45
Figura 19 – Histogramas das T <sub>fg</sub> das IF aquosas bifásicas do tipo 3 (Subtipo (a) e (b)) (amostra GLA– 14).....	45
Figura 20 – Histogramas das T <sub>h tot</sub> das IF do Tipo 3 (Subtipo (a) e ( b)).....	46
Figura 21 – Fotomicrografia de IF do tipo 3 (amostra GLA-15).....	49
Figura 22 – Fotomicrografia de IF do tipo 4 (amostra GLA-15).....	49
Figura 23 – Fotomicrografia da lâmina (GLA – 02).....	50
Figura 24 – oólito de calcita incluso no quartzo em meio a IF aquosas monofásicas (amostra GLA-02).....	50
Figura 25 – Fotomicrografia de IF multifásicas (amostra GLA – 02).....	51

Figura 26 – Fotomicrografia de IF trifásicas (G+L+S) da amostra GLA-02.....	52
Figura 27 – Fotomicrografia de IF do tipo 4 e 3 (amostra GLA-02).....	53
Figura 28 – Histograma das $Tf_{CO_2}$ da amostra GLA – 02.....	54
Figura 29 – Histograma das Tfg das IF bifásicas da amostra GLA – 02.....	55
Figura 30 - Histograma das Tfg das IF monofásicas da amostra GLA – 02.....	55
Figura 31- Histogramas das $Th_{tot}$ das IF trifásicas e bifásicas da amostra GLA – 02.....	56
Figura 32 – Seqüência de fotomicrografia da amostra GLA – 05.....	59
Figura 33 – Bolas de cristal de rocha, antes do polimento produzidas pelo artesão de Xambioá.....	72
Figura 34– Cristal de rocha na forma de cristais brutos, de bolas, de pedras lapidadas, etc. a venda no comércio de Xambioá.....	74
Figura 35 – Cata a céu aberto à margem da rodovia TO – 386, próximo ao Garimpo da Lagoa.....	75
Figura 36 - Ferramentas utilizadas pelos garimpeiros na extração do cristal de rocha.....	76

## TABELAS

Tabela 01 – Tabela de salinidade (%em peso de NaCl).....	33
Tabela 02- Descrição macroscópica das amostras estudadas.....	38
Tabela 03 – Dados microtermométricos das IF da amostra GLA – 14.....	47
Tabela 04 – Resumo esquemático das medidas microtermométricas obtidas para a Amostra GLA – 02.....	57
Tabela 05 – Dados microtermométricos referentes as IF presentes no veio de quartzo.....	63
Tabela 06 – Classificação do cristal de rocha segundo a literatura.....	70
Tabela 07 – Tabela de preços para o cristal de rocha em peças de peso superior a 200 gr.....	73
Tabela 08 – Tabela de preço para o cristal transparente.....	74

## LISTA DE ABREVIATURAS UTILIZADAS NESTE TRABALHO

( $\mu\text{m}$  – Micron =  $10^4 \text{ \AA} = 10^{-6} \text{ m} = 10^{-3} \text{ mm}$ )

IF – Inclusões fluidas

P – Pressão

PC – Ponto crítico

PT – Ponto triplo

T – Temperatura

$T_{f_{\text{clatr CO}_2}}$  – Temperatura de fusão do clatrato de CO<sub>2</sub>

$T_{f_{\text{CO}_2}}$  – Temperatura de fusão do CO<sub>2</sub>

$T_{fg}$  – Temperatura de fusão do gelo

$T_h$  – Temperatura de homogeneização

$T_{h_{\text{CO}_2}}$  – Temperatura de homogeneização do CO<sub>2</sub>

$T_{h_{\text{tot}}}$  – Temperatura de homogeneização total

V – Volume

X - Composição

Kg - Quilograma

F - Grau de preenchimento =  $V_I / V_t$

MEV= Microscopia Eletrônica de Varredura

## RESUMO

As ocorrências de cristal de rocha da região de Xambioá, localizada na porção setentrional do Cinturão Araguaia, estão associadas principalmente a quartzitos da base da Formação Morro do Campo e a micaxistos da Formação Xambioá, ambas do Grupo Estrondo, do Proterozóico Superior. O cristal de rocha ocorre sobretudo na forma de bolsões irregulares e distribuídos aleatoriamente dentro de veios de quartzo leitoso a translúcido acinzentado. O veio a cristal de rocha do Garimpo da Lagoa ocorre encaixado em biotita - xistos da Formação Xambioá, apresenta direção geral submeridiana com espessura de até 5 m.

O estudo petrográfico e microtermométrico deste veio revelou a presença de dois tipos de fluidos: 1) fluido aquo - carbônico supersaturado em inclusões pseudo - secundárias, contendo até 4 fases sólidas e 2) fluido aquoso de salinidade muito baixa a elevada. em inclusões secundárias,

As IF aquo - carbônicas contêm  $\text{CO}_2$  quase puro, com traços de  $\text{N}_2$  fato provavelmente decorrente da presença na região de rochas carbonáticas e de xistos grafitosos,. A grande maioria das IF sofreu crepitação antes de atingir a  $T_{h_{tot}}$ . Mesmo assim, a temperatura mínima de aprisionamento nas IF foi estimada em 550 a 600° C. Estes fluidos seriam basicamente de origem metamórfica profunda mostrando, no entanto, uma forte contribuição de solução de origem magmática.

Os fluidos aquosos foram encontrados em IF trifásicas (supersaturadas), bifásicas e monofásicas. As soluções contidas nas IF trifásicas revelaram uma salinidade de 30 a 40 % em peso de NaCl e uma temperatura mínima de aprisionamento entre + 182 e + 321° C. Teriam sido injetadas após os fluidos aquo - carbônicos e seriam de origem essencialmente magmática.

Referente aos fluidos contidos nas IF aquosas bifásicas, estes foram divididos em soluções de salinidade baixa (1,23 a 11,81% em peso de NaCl) e temperatura mínima de aprisionamento entre + 123,8 e + 150,9°C, e soluções de salinidade elevada, elas mesmas sub-divididas em duas categorias (a) e (b) principalmente com base em sua morfologia.

O tipo (a) revelou uma salinidade de cerca de 23% em peso de NaCl e temperatura mínima de aprisionamento entre +130 e 210°C com maior freqüência em + 160°C,

enquanto que o tipo (b) indicou uma salinidade de 20 a 25% em peso de NaCl e uma temperatura mínima de aprisionamento entre + 65 e + 114,5° C, com maior frequência em + 70°C.

Os fluidos contidos nas IF monofásicas apresentaram uma salinidade de 1.91% a 18.22% em peso de NaCl .

As soluções retidas nas IF bifásicas e monofásicas representariam injeções tardias de fluidos hidrotermais de origem magmática em processo de resfriamento, mostrando modificações composicionais de acordo com a importância da contribuição de águas mais superficiais (meteóricas, conatas, etc.)

Durante a fase final da evolução do Cinturão Araguaia, em regime predominantemente distensivo, foram, de início, injetados fluidos aquo – carbônicos formando-se, nesta primeira etapa, um veio de quartzo hialino, pobre em IF. Posteriormente, na ocasião de múltiplas fases de fraturamento e fissuramento do veio, foram injetados soluções aquosas mostrando uma diminuição da temperatura e, de modo menos sistemático e menos acentuado, da salinidade. Essas diversas injeções tardias contribuíram de maneira variável à transformação do quartzo hialino original em quartzo translúcido ou leitoso. Apenas bolsões poupados por estas manifestações hidrotermais tardias permaneceram na forma de cristal de rocha.

O cristal de rocha, principalmente na forma de lascas de terceira, é aproveitado como matéria prima para a fabricação do cristal sintético. Cristal em “ponta” e na forma de lascas de primeira é aproveitado no artesanato mineral para fabricação de peças de adorno, bolas, chaveiros e pedras lapidadas.

O cristal de rocha é exportado principalmente para Belo Horizonte, Sete Lagoas, Governador Valadares, onde são compradas pedras já lapidadas, bem como para São Paulo e Rio de Janeiro, onde são comercializados cristais no seu estado bruto.

## ABSTRACT

The crystal rock occurrences from Xambioá region, situated in the northern part of the Araguaia Belt, are associated with quartzites of the base of the Morro do Campo Formation and schists of the Xambioá Formation, both of the Upper Proterozoic Estrondo Group. The crystal rock occurs mainly as irregular pockets within milky to grayish translucent quartz veins. The "Garimpo da Lagoa" crystal rock vein is hosted by biotite - schists of the Xambioá Formation, displays a general sub-meridian direction and is up to 5 m thick.

Petrography and microthermometry of vein samples revealed the presence of two distinct fluids types: 1) oversaturated aqua - carbonic fluids in pseudo - secondary inclusions, containing up to 4 solid phases and 2) aqueous fluids of low to high salinity in secondary inclusions.

The aqua - carbonic fluid inclusions contain almost pure CO<sub>2</sub>, with traces of N<sub>2</sub> due probably due to the presence of carbonatic rocks and graphite in the area. Most fluid inclusions underwent crepitation before they reached Th<sub>tot</sub>. Even so, the minimum trapping temperature for these fluids was estimated in 550 to 600° C. It is believed that fluids are basically of deep metamorphic origin, though they also show significant contribution of magma derived solutions.

The aqueous fluids were found in three-phase oversaturated, two-phase and monophase inclusions. The solutions contained in the three-phase inclusions revealed a salinity from 30 to 40% in weight of NaCl and a minimum trapping temperature between + 182 and + 321°C. It is believed that these fluids were injected after the aqua - carbonic ones and were essentially of magmatic origin.

Concerning the fluids contained in the two-phase inclusions, were distinguished solutions of low salinity (1,23 to 11,81% in weight of NaCl) and a minimum trapping temperature from + 123,8 to + 150,9°C, and solutions of high salinity, sub-divided in two categories (a) and (b), mainly based on their morphology.

The (a) type revealed a salinity of about 23% in weight of NaCl and a minimum trapping temperature between +130 and 210°C, more frequently at + 160°C, while the (b) type indicated a salinity from 20 to 25% in weight of NaCl and a minimum trapping temperature from + 65 to + 114,5th C, more frequently at + 70°C.

The fluids contained in the monophase inclusions displayed a salinity of 1.91% to 18.22% in weight of NaCl.

The solutions trapped in two-phase and monophasic inclusions would represent late injections of hydrothermal fluids of magmatic origin, which underwent progressive cooling and composition modifications in agreement with the importance of the contribution of more superficial (meteoric, connate, etc.) waters.

During the final phase of the Araguaia Belt evolution, in predominantly distensive conditions, at first aqua – carbonic fluids were injected, that resulted, in formation of a hyaline quartz vein, poor in fluid inclusions. Later on, the vein suffered multiple fracturing phases and aqueous solutions were injected showing a progressive lowering of the temperature and, in a less systematic and less regular way, of the salinity. These late injections were responsible in variable degree for the transformation of the original hyaline quartz into translucent or milky quartz. Pockets which were not affected by these late hydrothermal displays remained as crystal rock.

Crystal rock, mainly as third quality chips is used as raw material for production of synthetic crystal. Prismatic, well developed quartz crystals and first quality chips are used in mineral craft for production of adornment pieces, balls, key rings and cut stones.

Crystal rock is mainly exported to Belo Horizonte, Sete Lagoas, Governador Valadares, where already cut stones are commercialized, and to São Paulo and Rio de Janeiro, where raw crystals are mainly appreciated.

## **1.0 - INTRODUÇÃO**

### **1.1 - APRESENTAÇÃO**

Não há registro histórico do início da garimpagem e da extração do cristal de rocha na região de Xambioá. Entretanto, supõe-se que esta atividade surgiu com a procura desse bem mineral por alemães no final do século XIX. Os mesmos organizaram expedições em busca de quartzo e atingiram os Estados da Bahia, Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Goiás e Tocantins (parte norte do antigo estado de Goiás).

Nesta época os alemães monopolizavam o comércio do quartzo no Brasil. A partir de 1930, o quartzo começou a ter certa importância para a balança comercial brasileira, em virtude do aumento significativo da demanda deste produto a nível internacional. A região de Xambioá viveu, então, um período de intensa atividade garimpeira.

Nesta época, toda a produção de cristal de rocha da região era vendida para o exterior, em particular para a Alemanha e os Estados Unidos, que tinham interesse no cristal do tipo “ cristal limpo a olho nu ou cristal de primeira” para o desenvolvimento das respectivas indústrias bélicas (construção de sonares, transmissores de rádio, telegrafia, etc.) nos anos que antecederam a Segunda Guerra Mundial.

No período pós - guerra, o consumo mundial de quartzo voltou aos níveis anteriores, provocando a queda da produção brasileira. Este fato fez com que muitos garimpos de quartzo tivessem a sua atividade paralisada. O consumo mundial de quartzo só voltou a aumentar a partir de 1950, com o início da guerra da Coreia.

Hoje em dia, apesar da extração do quartzo encontrar-se semi - paralisada por razões econômicas e tecnológicas, o cristal de rocha ainda movimenta um pequeno comércio na região de Xambioá. Assim, durante o estudo, observou-se que, embora apenas três garimpos estivessem ainda em atividade, parte da população local vive da coleta e comercialização de pequenas lascas encontradas em antigas catas abandonadas. A principal razão da retração da garimpagem do cristal de rocha é a fabricação à escala industrial do cristal sintético, sucedâneo do produto natural em inúmeras aplicações.

As ocorrências de cristal de rocha na região de Xambioá encontram-se associadas principalmente aos quartzitos e xistos da porção basal da Formação Morro do Campo, bem como a xistos variados (micaxistos, anfibólio - xistos, grafita - xistos, hematita - xistos) da Formação Xambioá.

## 1.2 – LOCALIZAÇÃO E ACESSO

O antigo garimpo da Lagoa situa-se em torno de 8 km a sudoeste de Xambioá, cidade localizada na porção nordeste do Estado de Tocantins e inserida na Folha SB – 22 – Z – B – V – 2, segundo a convenção cartográfica internacional (Figura 1).

Xambioá, situada na margem direita do rio Araguaia, serviu de ponto de apoio durante as atividades de campo. O acesso à região pode ser feito pela Rodovia Federal Belém – Brasília (BR – 010) até a cidade de Araguaina (Km 60) e em seguida pela rodovia estadual TO – 386.

## 1.3 – PROBLEMÁTICA

Ocorrências de cristal de rocha são conhecidas há mais de seis décadas na região de Xambioá.

Apesar de vários pesquisadores, entre eles Barbosa et al. (1966), Puty et al. (1972), Silva et al. (1974), Santos (1983) e Collyer (1999), já terem realizado trabalhos geológicos envolvendo a descrição dessa mineralização, nenhuma investigação mais aprofundada referente aos processos geradores do cristal de rocha nessa região foi até o momento efetuada.

Embora seja clara a origem hidrotermal dos veios de quartzo hospedeiros do cristal de rocha, a natureza dos fluidos geradores foi, durante longo tempo, objeto de discussão.

Barbosa et al. (1966) propuseram como processo gerador destes fluidos o metamorfismo. Entretanto, Santos (1983) baseando-se nas características gerais (mineralogia, textura, alterações hidrotermais associadas e distribuição espacial zonada) comuns a estes veios, propôs uma origem magmática para estas mineralizações filonares. Segundo esse autor, os veios em questão seriam produtos residuais do magmatismo ácido tardi-tectônico reconhecido na região de Xambioá. O mesmo admitiu, no entanto, a possibilidade de alguns veios de quartzo com cristal de rocha da região de Xambioá serem de origem metamórfica, uma vez que as soluções aquosas liberadas pelo metamorfismo, são capazes de lixiviar a sílica que, após reprecipitar, acaba formando veios de quartzo.

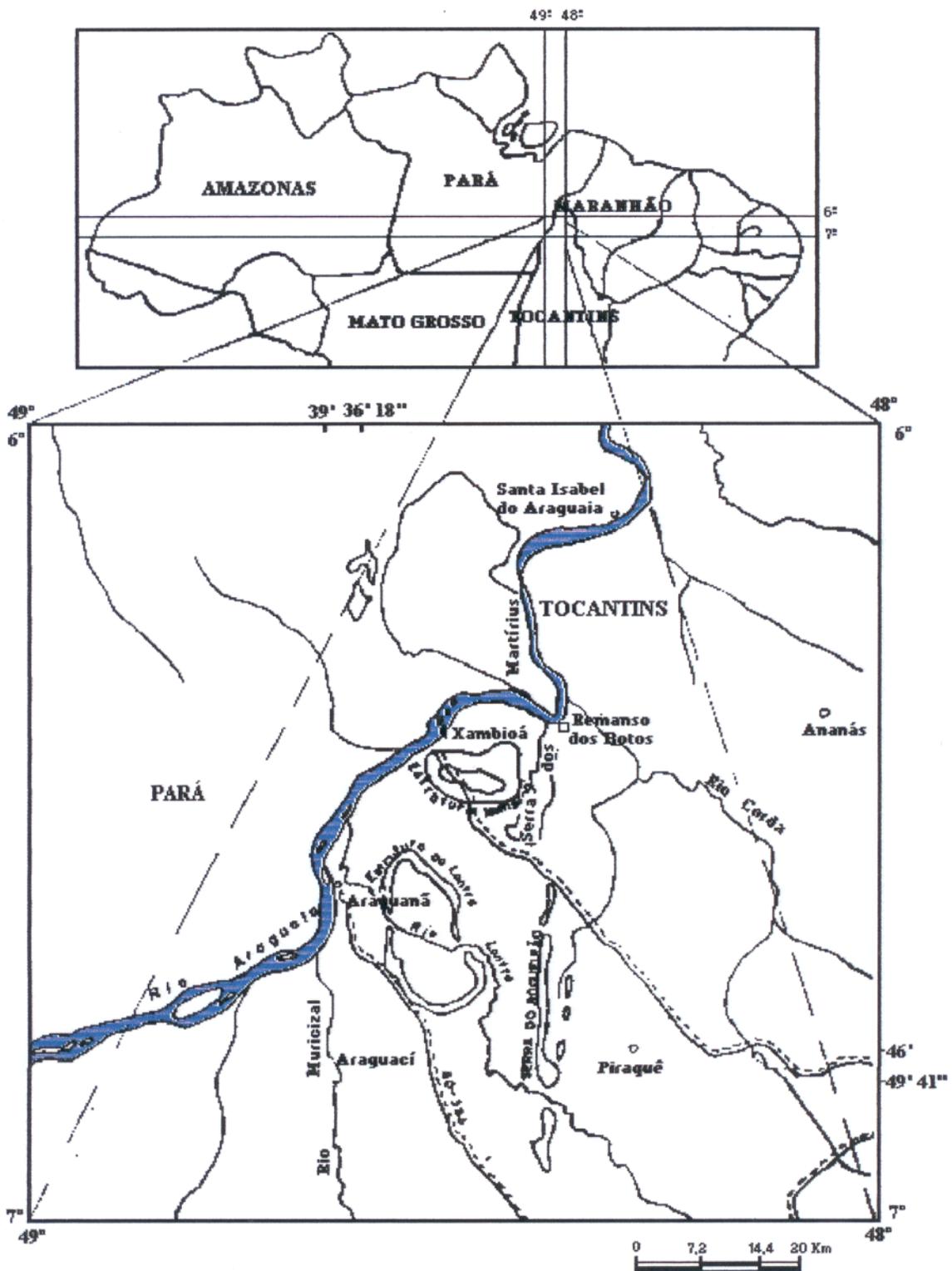


Figura 1 - Mapa de localização da área.

Collyer (1999) estudando quatro sistemas de veios na região de Xambioá – São Geraldo do Araguaia, concluiu que a mobilização de fluidos aquosos gerados pela solidificação e resfriamento de corpos granitóides durante a fase final do metamorfismo regional, no final do Ciclo Brasileiro, provocou uma intensa atividade hidrotermal e a formação de diversos sistemas de veios.

#### 1.4 - OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo o estudo de um veio de quartzo com cristal de rocha localizado no Garimpo da Lagoa, próximo de Xambioá. Pretende-se determinar através deste estudo a natureza deste corpo bem como o processo que levou à sua gênese.

As principais metas do trabalho são:

- Caracterização geológica e mineralógica do veio mineralizado;
- Caracterização da natureza física e química das soluções que deram origem ao veio, através do estudo das inclusões fluidas;
- Proposição de um modelo genético evolutivo do veio a cristal de rocha;
- Considerações sobre o aproveitamento do cristal de rocha na forma de gema ou matéria prima em artesanato mineral.

#### 1.5 – METODOLOGIA

Para alcançar os objetivos propostos adotou-se os seguintes procedimentos metodológicos:

##### 1.5.1- Pesquisa Bibliográfica

Levantamento dos dados bibliográficos referentes à geologia da região enfocada, ao estudo das IF e ao cristal de rocha, variedade do mineral quartzo objeto desse estudo;

##### 1.5.2 – Trabalho de Campo

a) Descrição macroscópica do veio e da rocha encaixante, utilizando para tanto, as técnicas usuais de geologia de campo;

b) Coleta de amostras do veio para estudo das IF. Foram realizadas duas viagens ao campo. Sendo a primeira em novembro/97 e a segunda em abril/98.

### **1.5.3 – Trabalhos de laboratório**

a) Preparação de lâminas bipolidas para o estudo das IF: esta primeira etapa foi realizada no laboratório de laminação da UFPa, sendo confeccionadas 12 lâminas bipolidas;

b) Microscopia e mapeamento das IF com auxílio de câmara clara;

c) Análises microtermométricas no laboratório de Inclusões Fluidas da UFPa (Belém) e no Laboratório de Inclusões Fluidas (LIF) do CDTN (Belo Horizonte), utilizando-se platinas de modelos CHAIXMECA e FLUID INC.

d) Espectrometria micro - Raman

### **1.5.4 – Trabalhos de gabinete**

a) Tratamento dos dados obtidos;

b) Elaboração da dissertação de mestrado.

## **1.6 – CLIMA E GEOMORFOLOGIA**

O clima na região é tropical úmido com transição para o clima equatorial, segundo a classificação de Keppen, e caracteriza-se por duas estações distintas: um verão chuvoso (novembro a maio) e um período de estiagem (junho a outubro). A vegetação típica desse clima é a floresta tropical densa e aberta, com faixa de transição floresta/cerrado. Contudo, atualmente, grande parte da cobertura original já foi eliminada cedendo lugar às extensas pastagens.

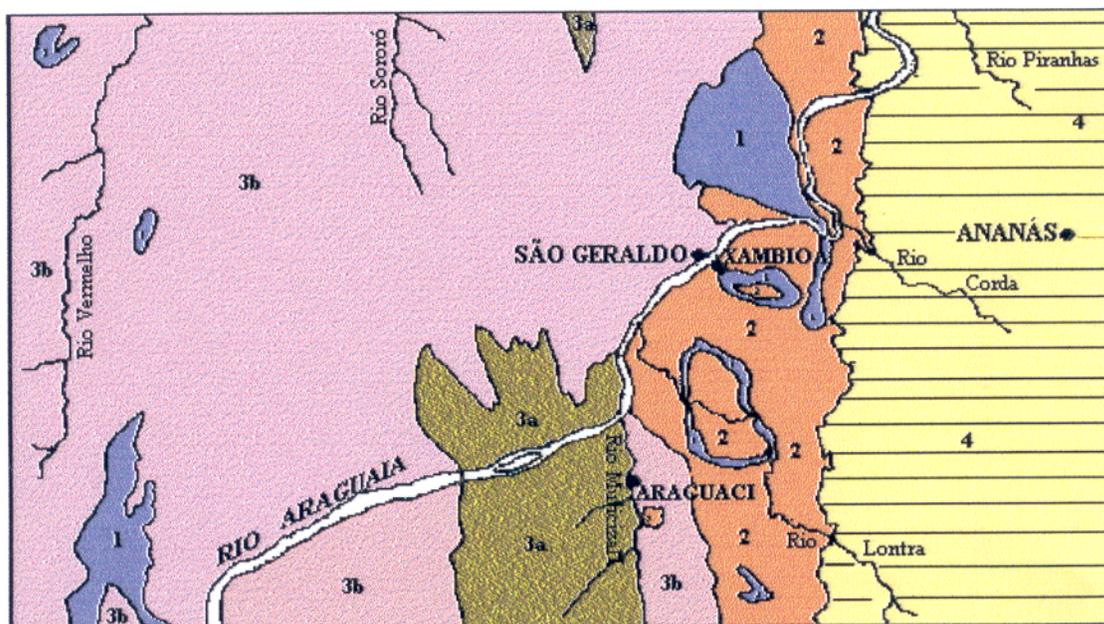
Segundo Souza & Moreton (1994) a região de Xambioá abrange fundamentalmente dois sistemas de relevo relacionados à Depressão Periférica do Sul do Pará (Figura 2): Relevo Montanhoso e Relevo de Morros.

- Relevo Montanhoso: é caracterizado por maciços montanhosos, dissecados em cristas e ravinas, com cotas mínimas superiores a 200m e cotas máximas entre 400 a 550m, sustentados por quartzitos da Formação Morro do Campo.

- Relevo de Morros: apresentam-se na forma de morros e serras restritas, com topos abaulados a ligeiramente aplainados e dissecados em colinas e ravinas, nos domínios do Complexo Colméia e da Formação Xambioá.

49°30'  
6° 00'

48° 00'  
6° 00'

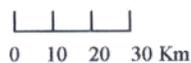


7° 00'

7° 00'

49° 30'

48° 00'



#### UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

Depressão Periférica do Sul do Pará



Depressão Ortoclinal do Médio Tocantins



#### SISTEMAS DE RELEVO E SOLOS ASSOCIADOS



1 - Relevo Montanhoso (predomínio de solos Litólicos)



2 - Relevo de Morros (predomínio de solos podzólicos e litólicos)



3 - Relevo Colinoso:

(a) predomínio de areias quartzosas e latossolos



(b) predomínio de solos podzólicos



4 - Relevo Aplainado e Colinoso (predomínio de latossolos e areias quartzosas)

Figura 2 – Mapa Geomofológico da Folha Xambioá (Modificado de Souza & Moreton, 1994).

## **2.0 -GEOLOGIA REGIONAL**

### **2.1 - GENERALIDADES**

A área enfocada localiza-se na porção setentrional do Cinturão Araguaia. Este Cinturão estende-se por aproximadamente 1.200 km na direção Norte-Sul com até 100 km de largura, situa-se na região do baixo Araguaia - médio Tocantins, entre o Maço Mediano de Goiás e a Sinéclise do Parnaíba, a leste, e o Cráton Amazônico, a oeste (Olivatti et al.,1994) (Figura 3).

O Cinturão Araguaia é constituído em sua maior parte por rochas supracrustais pertencentes ao Supergrupo Baixo Araguaia (subdividido em Grupo Estrondo, a leste, e Grupo Tocantins a oeste. É marcado, em sua borda leste, por uma série de estruturas dômicas, alinhadas segundo uma direção submeridiana (Dall’Agnol et al.,1988).

O Cinturão Araguaia vem sendo investigado desde a década de 30, através de trabalhos de geologia básica e, por vezes, de prospecção de bens minerais. A partir dos anos 60 esses estudos se intensificaram e culminaram com a execução de projetos como o “Projeto Faixa Orogênica Paraguai - Araguaia”, cujo principal objetivo era definir melhor a evolução geotectônica e metamórfica desta região.

Através destes levantamentos foi possível chegar a um modelo tectono - estratigráfico que se encontra esquematizado na coluna estratigráfica apresentada na Figura 4.

### **2.2- ESTRATIGRAFIA**

#### **2.2.1 - Complexo Colméia**

Inicialmente esses terrenos gnáissicos e migmatíticos foram denominados Formação Colméia por Montalvão et al. (1978), que os interpretaram como base do Grupo Xambioá, sendo este, por sua vez, inserido no Supergrupo Baixo-Araguaia. Posteriormente, o termo Complexo Colméia foi introduzido por Costa (1980) para designar rochas aflorantes na parte interna da estrutura dômica onde está localizada a cidade de Colméia.

Segundo Costa (1980), as rochas do Complexo Colméia teriam sofrido metamorfismo regional na fácies anfíbolito alto e representariam o embasamento antigo, correlacionado ao Complexo Xingu. As rochas do Complexo Colméia, segundo Macambira (1983), Dall’Agnol et al. (1988) e Souza & Moreton (1994), teriam sido geradas no Arqueano ou no Proterozóico Inferior e constituiriam uma crosta ensialica primitiva, típica e representativa de um nível crustal intermediário.

Moura & Gaudette (1994), com base nos isótopos Sr e Nd, obtiveram para os ortognaisses do Complexo Colméia do domo de Grota Rica, idades entre 2,59 a 2,93 Ga, o que sugere uma evolução em estágios, similar aos gnaisses TTG arqueanos.

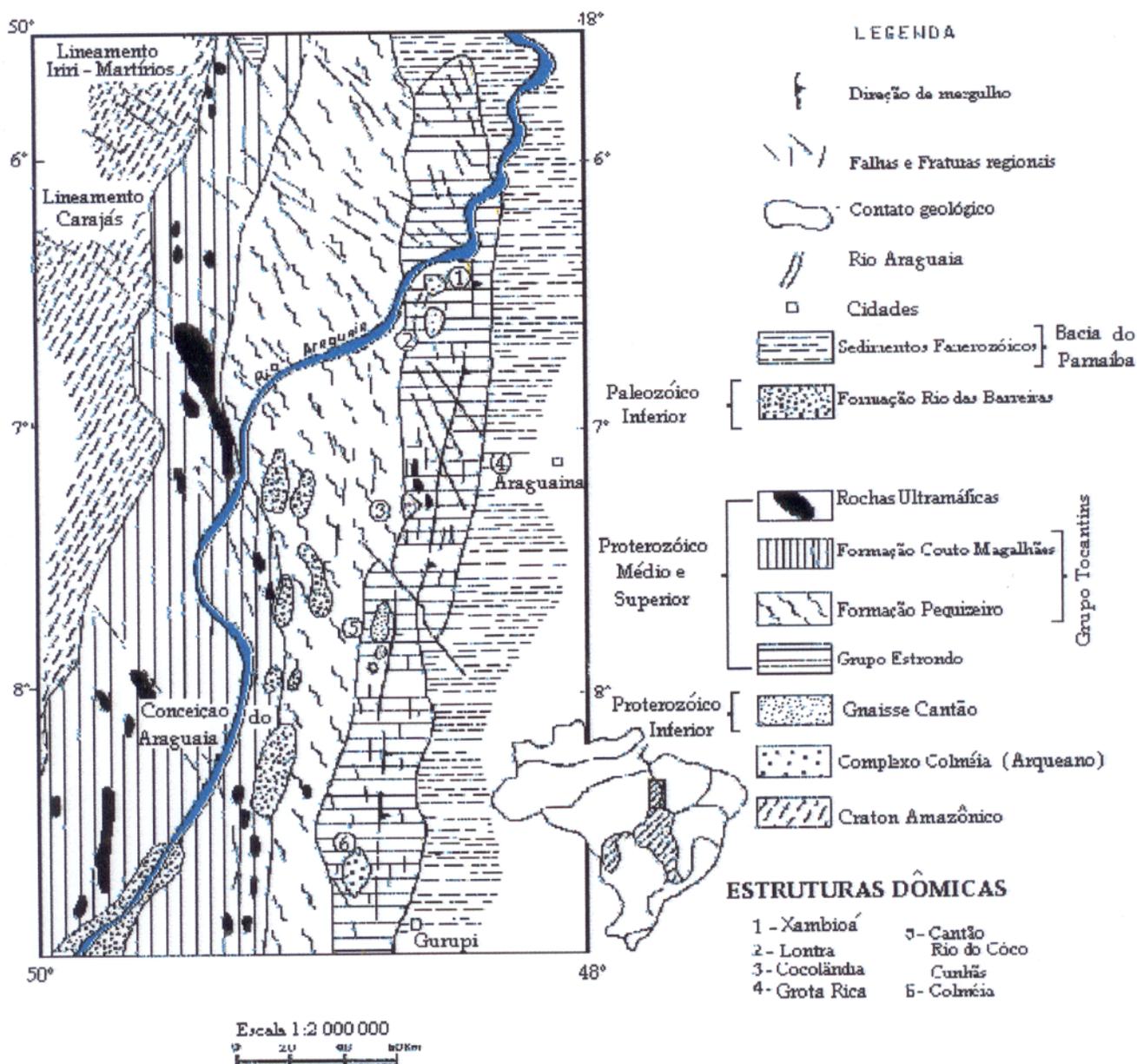


Figura 3 – Esboço geológico regional, baseado em Hasuí et al. (1984), Costa et al. (1984) e Dall’Agnol et al. (1988).

### 2.2.2 – Gnaiss Cantão

O Gnaiss Cantão ocorre nas proximidades da aglomeração homônima. Trata-se de um conjunto de ortognaisses, interpretados como corpos granitóides, anteriores ao desenvolvimento da Faixa de Dobramentos Araguaia e intrusivos nos gnaisses do Complexo Colméia. Essas rochas foram posteriormente metamorfisadas, remobilizadas diapiricamente e, em parte, milonitizados durante a sua colocação (Dall’Agnol et al., 1988).

Segundo Dall’Agnol et al. (1988), este conjunto de ortognaisses seria constituído por hornblenda – biotita gnaisses granodioríticos, biotita gnaisses monzograníticos, muscovita – biotita gnaisses monzograníticos e muscovita – biotita gnaisses sienograníticos, sendo as variedades monzograníticas as mais abundantes.

### 2.2.3 - Supergrupo Baixo Araguaia

Sobre o embasamento ocorrem rochas supracrustais que formam o Supergrupo Baixo Araguaia, dividido nos Grupos Estrondo e Tocantins.

#### 2.2.3.1- Grupo Estrondo

O Grupo Estrondo corresponde a um pacote espesso de rochas metassedimentares, com raros anfibolitos associados (Dall’Agnol et al., 1988) que ocorre na parte leste da Faixa de Dobramento Araguaia. Esta unidade foi subdividida nas Formações Morro do Campo e Xambioá.

A Formação Morro do Campo apresenta área aflorante restrita e ocorre essencialmente em torno dos domos gnáissicos (Dall’Agnol et al., 1988) e na Serra de Andorinhas - Martírios. É constituída por quartzitos e ortoquartzitos, com intercalações de muscovita-biotita-quartzo xistos e conglomerados oligomíticos, que passam gradativamente para a Formação Xambioá.

A Formação Xambioá, segundo Souza & Moreton (1994), consiste em duas associações litológicas distintas. A primeira, denominada Formação Xambioá 1, é composta de micaxistos de composição variada, grafita xistos, anfibolitos, metarenitos, quartzitos ferruginosos, silixitos e metarcórsios, que envolvem parcialmente as estruturas dômicas do Lontra e de Xambioá. A Segunda, referida como Formação Xambioá 2, é constituída predominantemente por muscovita-biotita-quartzo xistos feldspáticos, havendo igualmente mármore, quartzitos e metaconglomerados polimíticos subordinados. A Formação Xambioá mantém contatos normais e tectônicos com a Formação Morro do Campo.

Encaixados nessas rochas metassedimentares do Grupo Estrondo encontram-se frequentemente diques de diabásio, veios de quartzo e corpos concordantes e discordantes de anfibólio xistos e anfibolitos (Santos, 1983).

EON		ESTRATIGRAFIA			
Fanerozóico		Rochas sedimentares da Bacia do Parnaíba			
Paleozóico Inferior		Formação Rio das Barreiras			
Proterozóico		Rochas Máficas Intrusivas			
		Rochas Graníticas			
		Rochas Ultramáficas Serpentinizadas			
		Super Grupo Baixo	Araguaia	Grupo Tocantins	Formação Couto Magalhães
				Grupo Estrondo	Formação Pequizeiro
			Grupo Estrondo	Formação Xambioá	
				Formação Morro do Campo	
Inferior		Gnaise Cantão			
Arqueno		Complexo Colméia			

Figura 4 - Quadro Estratigráfico Regional de Teixeira et al (1988).

### 2.2.3.2 - Grupo Tocantins

O Grupo Tocantins está subdividido nas Formações Pequizeiro (base) e Couto Magalhães (topo) (Gorayeb, 1981).

A denominação Formação Pequizeiro foi introduzida por Hasui et al. (1977) para designar os xistos aflorantes nas proximidades de Pequizeiro. Esta unidade é constituída predominantemente por clorita - quartzo xistos e clorita xistos que mostram contatos tectônicos a leste com a Formação Xambioá e a oeste com a Formação Couto Magalhães (Souza & Moreton, 1994).

A Formação Couto Magalhães corresponde às rochas metassedimentares expostas próximo à cidade homônima (Hasui et al., 1977). Segundo Souza & Moreton (1994), esta unidade é constituída por filitos, metassiltitos e metargilitos, e corresponde a uma associação tipicamente pelítica. Seus contatos com a Formação Pequizeiro são tectônicos com imbricações.

Souza & Moreton, (1994) admitem que as rochas metassedimentares das Formações Morro do Campo, Xambioá e Pequizeiro se depositaram em um ambiente marinho raso com praias e plataformas restritas, e a Formação Couto Magalhães em um ambiente marinho mais profundo.

### 2.2.4 - Corpos Graníticos

Corpos graníticos são conhecidos no Cinturão Araguaia, porém tratam-se geralmente de ocorrências de pouca expressão. Alguns estão associados a estruturas dômicas como o granito Ramal do Lontra, localizado na Fazenda Marinheiro, próximo de Xambioá.

Um corpo lenticular de albita granito, estudado por Macambira (1983), ocorre na Serra da Ametista, localizada na borda SE da braquianticlinal do Lontra. Próximo de Araguaci, um pequeno "stock" de composição ácida, intrusivo em mica-xistos da Formação Xambioá, foi estudado por Maurity (1986) que o denominou granito de Araguaci.

Na parte sudeste do Cinturão Araguaia, na região de Santa Luzia e Barrolândia, ocorrem as rochas graníticas da Suíte Santa Luzia, que se estendem até a vila de Oliveira de Tocantins situada a sul de Paraíso do Tocantins. Estes granitóides encontram-se alojados sob a forma de pequenos stocks, diques e lentes nas rochas metassedimentares do Grupo Estrondo. Formam, igualmente, veios concordantes ou discordantes com a xistosidade das rochas encaixantes. Dentre

os litotipos mais comuns estão muscovita-biotita granodioritos, monzogranitos e granitos pegmatóides (Lamarão & Kotschoubey, 1994).

Granodiorito Presidente Kennedy foi o nome dado por Bulhões & Dall'Agnol (1985) a dois corpos granitóides que afloram na porção sudoeste do município de Presidente Kennedy. Em termos litológicos esses granitóides são muito homogêneos e foram classificados como muscovita – biotita granodiorito / monzogranito (Bulhões & Dall'agnol, 1985). Estes autores não descartam a possibilidade dessas ocorrências fazerem parte de um único corpo, do qual apenas porções apicais aflorariam.

#### **2.2.5 – Corpos Ultramáficos**

Corpos lenticulares compostos predominantemente de serpentinitos, esteatitos e quantidades subordinadas de talco xistos, encontram-se imbricados tectonicamente com as rochas metassedimentares das Formações Couto Magalhães, Pequizeiro, Xambioá e os gnaisses do Complexo Colméia. Estas rochas são particularmente bem representadas no domínio do Grupo Tocantins, sobretudo nas Serras do Quatipuru e do Tapa e nos Morros Alto, do Agostinho, do Jacú e de Serrinha.

No domínio do Grupo Estrondo, os serpentinitos estão presentes sob a forma de corpos alongados que cortam os gnaisses (parte interna) e os micaxistos (parte externa) das estrutura de Xambioá e do Lontra. Segundo Macambira (1983), esses corpos estão normalmente associados a outras variedades litológicas em arranjo concêntrico, sendo geralmente o núcleo formado de serpentinitos maciços ou foliados e envolvido por zonas de talco maciço (esteatito), talco lamelar e cloritito foliado.

Gorayeb (1989) ao estudar em mais detalhe essa associação considerou os corpos ultramáficos como sendo de derivação mantélica.

#### **2.2.6 - Formação Rio das Barreiras**

Esta unidade consiste em conglomerados polimíticos contendo seixos de quartzo, cloritaxisto, filito e quartzito, imersos em uma matriz siltico - argilosa e cimento carbonático. Estas rochas ocorrem sob a forma de coberturas de extensão quilométrica que repousam discordantemente sobre as rochas do Supergrupo Baixo Araguaia.

Segundo Hasui & Costa (1990), a Formação Rio das Barreiras é um pacote psamo-pelítico, não metamorfizado nem deformado, desenvolvido no final da evolução do cinturão Araguaia.

#### **2.2.7 - Rochas da Bacia do Parnaíba**

Rochas sedimentares paleozóicas ocorrem no domínio da Faixa Araguaia. A Formação Pimenteiras, do Devoniano, que recobre parcialmente a braquidobra do Ramal do Lontra, é constituída por arenitos finos, micáceos, bem selecionados, com intercalações de siltitos e argilitos finamente laminados e níveis conglomeráticos (Hasui et al., 1984).

A Formação Pedra de Fogo, do Permiano inferior, constituída de argilitos calcíferos verdes a avermelhados e “chert” cinzento ocorre no Graben de Araguaia (Macambira, 1983).

#### **2.2.8 – Terrenos Recentes**

Coberturas lateríticas, segundo Souza & Moreton (1994), ocorrem sobre diversas unidades geológicas aflorantes nesta região, mostrando perfis mais complexos e espessos sobre os litotipos de composição máfica e ultramáfica.

### **2.3 - GEOLOGIA ESTRUTURAL E EVOLUÇÃO GEOTECTÔNICA**

A evolução do Cinturão Araguaia é compatível com o modelo distensão – compressão litosférica Souza & Moreton (1994). A sua deformação teve abrangência regional e afetou tanto as rochas proterozóicas quanto as arqueanas. As características tectônicas mais marcantes são a compartimentação das rochas metassedimentares em faixas alongadas de direção N-S, que representariam antigas calhas tectônicas, e o colar das estruturas dômicas.

Segundo Hasui & Costa (1990), as estruturas observadas no cinturão são resultado de estágio adiantado de colisão continental. Segundo esses autores, os litotipos presentes são derivados de uma seqüência marinha transgressiva, depositada em uma calha assimétrica, do tipo hemigraben, com orientação sub-meridiana. Estes autores consideram que durante a primeira fase de evolução do cinturão, de caráter distensivo, foram alcançadas altas taxas de estiramento litosférico, o que resultou em expressiva contribuição magmática máfico – ultramáfica, não concluindo, porém, se foi alcançado o estágio de formação de crosta oceânica.

Na fase compressiva, os cavalgamentos e transcorrências ocasionaram inversões estratigráficas, propagação de rampas laterais e formação dos megadobramentos regionais,

expressos pelas estruturas de Xambioá, Lontra, Andorinhas – Martírios, Colméia, Rio das Cunhãs, Cantão, Rio Jardim e Cocalândia.

Com base nesses dados foi proposto por Hasui & Costa (1990) um modelo, no qual o Bloco Leste (Porangatu) teria cavalgado obliquamente sobre o Bloco Oeste (Araguacema).

No Cenozóico, segundo Costa et al. (1991), a Bacia do Parnaíba esteve sujeita a um eixo extensional ENE – WSW, responsável pela abertura do Oceano Atlântico Equatorial. Nesta ocasião, os elementos estruturais relacionados ao Lineamento Transbrasiliano adquiriram movimentação essencialmente transcorrente, de tal modo que descontinuidades NE – SW atuaram como falhas de transferência. Os falhamentos N – S permitiram uma estruturação em “horsts” e “grabens” alinhados submeridianamente, tanto na borda sudoeste da Bacia do Parnaíba, como no interior do Cinturão Araguaia.

#### 2.4 – METAMORFISMO

A presença quase constante de clinopiroxênio nos anfibólitos associados ao Gnaisse Cantão, permitiu situar o metamorfismo regional que afetou as rochas do embasamento na fácies anfibólito alto (Souza et al. 1985).

Silva (1980), baseando-se na presença de cianita e a ausência de glaucofana, jadeíta, andalusita e cordierita, considerou o metamorfismo regional que afetou o Supergrupo Baixo Araguaia como sendo de tipo barrowiano (pressão média a alta).

Dall’Agnol et al. (1988) chegaram às mesmas conclusões, destacando que o metamorfismo que afetou a Formação Xambioá foi de fácies xisto verde alto a anfibólito, com pico atingindo temperatura de  $550 \pm 30^\circ \text{C}$  e pressão da ordem de 5 a 6 kbar.

#### 2.5 - OCORRÊNCIAS MINERAIS

No domínio do Cinturão Araguaia, foram reconhecidas ocorrências de ametista, monazita e turmalina relacionadas a corpos pegmatíticos (Santos et al., 1982). Estes autores distinguiram seis tipos de veios: 1) Pegmatitos com monazita; 2) Pegmatitos com ametista, hematita e fluorapatita; 3) Veios zonados com cristal de rocha e ametista; 4) Veios de quartzo com cristal de rocha e 6) Veios com titanita e epidoto.

Depósitos de opala e opala jaspe foram descritas por Collyer et al. (1994) na área de São Geraldo do Araguaia. Essas mineralizações estariam associadas a diversos sistemas de veios que

cortam os quartzo – micaxistos e cianita- quartzo-micaxistos da Formação Xambioá. Veios, de caráter pegmatóide com ametista, alojados no corpo granitóide da Serra da Ametista, veios com quartzo tricolor, hospedados em metarcósios e metarenitos da Formação Pequizeiro e veios com quartzo rutilado, encaixados nos micaxistos e quartzitos do Grupo Estrondo, foram estudados por Collyer (1999) na região de Xambioá – São Geraldo do Araguaia.

Collyer (1999) cita igualmente na mesma região ocorrências de quartzo “morion”, microclina (amazonita), epidoto, rutilo, cristal de rocha com clorita, crisoberilo, actinolita, e titanita, todos minerais de interesse gemológico que ocorrem associados aos inúmeros sistemas de veios e pegmatitos.

Turmalina preta, berilo, granada e muscovita, associados a corpos pegmatíticos pertencentes à Suíte granitóide Santa Luzia, são descritas por Lamarão (1996) na região de Paraíso do Tocantins. Os referidos minerais encontram-se igualmente disseminados em pequenos “stocks”, diques, lentes e veios de rochas granitóides alojados nos xistos do Grupo Estrondo (Lamarão, 1996).

## **3.0 -GEOLOGIA LOCAL**

### **3.1 – ESTRATIGRAFIA**

O Garimpo da Lagoa encontra-se entre as estruturas dômicas de Xambioá e do Lontra. No núcleo dessas braquidobras afloram gnaisses trondhemíticos e migmatitos do Complexo Colméia .

O Supergrupo Baixo Araguaia, na área enfocada, está representado exclusivamente pelo Grupo Estrondo, podendo ser distinguidas as Formações Morro do Campo e Xambioá .

A Formação Morro do Campo, é constituída basicamente por ortoquartzitos, muscovita – quartzitos e biotita – quartzo xistos.

A Formação Xambioá, aflora nas zonas mais arrasadas situadas entre as braquidobras e é composta essencialmente de biotita - xistos, xistos grafitosos, anfibólio – xistos, xistos feldspáticos, hematita – xistos, mármores e calcários.

Corpos ultramáficos encontram-se intrusivos tanto nos xistos da Formação Xambioá, como nos gnaisses do embasamento. Tratam-se sobretudo de serpentinitos.

Corpos granitóides, na forma de veios e vênulas pegmatóides ou pequenos stocks de composição granítica exibindo textura aplítica a granofírica, estão alojados nas rochas supracrustais do Grupo Estrondo..

As manifestações hidrotermais na área estão representadas por veios de quartzo de até 10 m de espessura, com direção geral preferencialmente submeridiana e mergulho para leste, que cortam rochas da Formação Xambioá (Figura 5).

Depósitos aluvionares conglomeráticos, constituídos por seixos de tamanho centimétrico a decimétrico, subarredondados a arredondados, possivelmente depositados pelo rio Xambioazinho, contêm importantes reservas de cristal de rocha (Figura 6).

### **3.2 – VEIOS A CRISTAL DE ROCHA**

#### **3.2.1 – Generalidades**

Atualmente, nos poucos garimpos ainda em atividade na região, são lavrados veios de extensão variável e de espessura centimétrica a métrica, nos quais cristais bem formados e bem desenvolvidos constituem eventualmente a zona central (Souza & Moreton, 1994).

Embora diversos veios mineralizados a cristal de rocha ocorram na área de Xambioá, os do Garimpo da Lagoa, que já foi palco de intensa exploração, destacam-se pelo seu tamanho e pelo seu potencial econômico.

Ainda hoje, após a área do garimpo ter cedido espaço para pastagens, é possível observar várias catas deixadas pelos garimpeiros de cristal de rocha, bem como entulhos ali deixados. A extração do cristal de rocha resultou em mudanças na geomorfologia local e no aparecimento de um relevo mais colinoso com áreas de brejos.

Poucos garimpeiros ainda persistem na busca do cristal de rocha ou na coleta de lascas de boa qualidade deste material nos antigos rejeitos. As catas mais recentes na área do Garimpo da Lagoa estão situadas na margem direita da rodovia TO 386 que liga a cidade de Xambioá à localidade de Araguanã.



Figura 5— Veio de quartzo de direção submeridiana, alojado em micaxisto da Formação Xambioá.

### 3.2.2 – Geologia do depósito

O veio do Garimpo da Lagoa escolhido para o presente estudo, é bem representativo dos veios a cristal de rocha da região de Xambioá. Apresenta direção geral submeridiana e cerca de 5 metros de espessura. Trata-se de um veio maciço que não exhibe zoneamento claramente expresso. A rocha encaixante é um biotita - xisto da Formação Xambioá, com atitude geral N40° E / 25 SE.

O veio é essencialmente constituído de quartzo leitoso. Contudo, em suas porções mais internas preferencialmente encontram-se bolsões irregulares de tamanho decimétrico de quartzo hialino ou cristal de rocha, de boa qualidade gemológica.

Macroscopicamente, no contato com o veio, não se observa nenhuma alteração nem deformação na rocha encaixante.



Figura 6 – Garimpo de cristal de rocha em aluviões na saída da cidade de Xambioá.

## 4.0 - ESTUDO DAS INCLUSÕES FLUIDAS

### 4.1 - INTRODUÇÃO:

Convencionou-se chamar inclusões fluidas (IF), imperfeições (cavidades) inclusas nos minerais, contendo fluidos.

Cada população de inclusões é vista como uma espécie de registro das condições físico-químicas reinantes durante um determinado evento, seja este, a cristalização do mineral que as aprisionou ou a recristalização deste por ocasião de algum evento posterior.

Para que os dados obtidos pela microtermometria das IF sejam significativos, essas IF devem preencher as seguintes condições: 1) possibilidade de reconhecer se as IF aprisionaram fluidos homogêneos ou heterogêneos; 2) a cavidade na qual o fluido foi aprisionado originalmente não mudou de volume após o aprisionamento e 3) nada foi adicionado ou perdido após o aprisionamento do fluido. Desta forma, o estudo das inclusões fluidas por microtermometria considera, para efeito prático, que as mudanças de fases, observadas durante este estudo, ocorrem em um sistema isocórico. Estas mudanças são então interpretadas em diagramas P-T para cada um dos fluidos presentes nas inclusões (Fuzikawa, 1985).

Os dados obtidos a partir dos estudos das IF são particularmente úteis quando integrados com outras informações geoquímicas, por exemplo, petrológicas, caso no qual, auxiliam no entendimento dos processos petrogenéticos. Outro domínio no qual esse tipo de estudo encontra importante aplicação é a metalogênese e, em particular, as investigações relativas aos depósitos hidrotermais. O uso desses dados requer certa cautela para que esses não sejam incorretamente interpretados (Shepherd et al., 1995).

### 4.2 - HISTÓRICO

Segundo Sorby apud Fuzikawa (1985), a descoberta e o estudo das inclusões fluidas remontam ao século IV, no tempo de Santo Agostinho. O mesmo autor atribui ao sábio Abu I – Reykan Muhamad ibn Ahmad al – Biruni, da Ásia Central no século XI, o primeiro relato feito sobre o assunto. Embora, esses conhecimentos sejam antigos, as primeiras tentativas de analisar as soluções contidas nas inclusões ocorreram somente na primeira metade do século XIX.

Entre os precursores no estudo das inclusões fluidas destaca-se Sorby<sup>1</sup> (1858). Foi ele o

---

1 – Sorby. H. C. – 1858 – On the microscopic structure of crystals, indicating the origin of minerals and rocks. Quart. Jour. Geol. Soc. London, 14 (1): 453 – 500.

primeiro pesquisador a formular a hipótese de que os fluidos aprisionados nas cavidades eram originalmente homogêneos, e que as bolhas atualmente observadas na maioria das inclusões são o resultado da contração diferencial do líquido e do mineral hospedeiro durante o resfriamento, desde a temperatura elevada de aprisionamento até a temperatura ambiente (Fuzikawa, 1985).

Sorby, na sua tentativa de determinar a temperatura de aprisionamento dos fluidos, partiu do pressuposto que, aquecendo as IF desde a temperatura ambiente até o completo desaparecimento das diversas fases, chegava-se, no momento da homogeneização total do fluido, à temperatura de formação das inclusões (Fuzikawa, 1985). Assim esta temperatura ( $T_h$ ) representaria a temperatura mínima de formação.

Durante certo tempo, o estudo das inclusões fluidas, foi esquecido no ocidente. Entretanto, a partir do início da década de 60, o estudo foi retomado por alguns geocientistas como Edwin Roedder, que contribuíram sobremaneira para um melhor conhecimento dessas inclusões e para o progresso na interpretação dos dados microtermométricos.

### 4.3 - CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS INCLUSÕES FLUIDAS:

#### 4.3.1 – Introdução

Deve ser enfatizado, de início, que as inclusões fluidas, não são raras em rochas ou em minerais que formam veios. O problema é saber reconhecê-las e interpretar seu significado.

#### 4.3.2 – Ocorrência e Distribuição

As inclusões ocorrem tanto em cristais naturais como em sintéticos e são geralmente menores que 100  $\mu\text{m}$ , encontrando-se mais comumente na faixa de 2 a 20  $\mu\text{m}$ .

Dentre os minerais nos quais as inclusões fluidas podem ser observadas, destacam-se dez: quartzo, fluorita, halita; calcita, apatita, dolomita, esfalerita, barita, topázio e cassiterita. Características comuns a todos estes minerais são a transparência e a fraca coloração, pré-requisitos para que seja possível qualquer estudo óptico de inclusões. Isto não significa, entretanto, que os minerais opacos sejam desprovidos de inclusões fluidas (Shepherd et al., 1995).

#### 4.3.3 – Morfologia das inclusões

Segundo Shepherd et al. (1995) a forma das inclusões fluidas é muito variável e controlada em parte pelas características cristalográficas do mineral hospedeiro.

As inclusões podem assumir forma de cristais negativos perfeitos ou ser irregulares e achatadas.

#### 4.3.4 – Classificação paragenética

**Inclusões Primárias ou Inclusões – P** : São formadas durante a cristalização de um mineral. Geralmente são reconhecidas por ocorrerem isoladas, orientadas preferencialmente segundo direções cristalográficas do cristal hospedeiro ou por se distribuírem de maneira aleatória neste.

**Inclusões Secundárias ou Inclusões – S**: São incorporadas no mineral hospedeiro durante um processo tardio, após a formação do cristal.

O mecanismo geralmente aceito para explicar a formação de inclusões secundárias envolve o desenvolvimento de fraturas pós – cristalização, resultantes de estresse mecânico ou termal. Essas fissuras são em seguida preenchidas por fluidos tardios que formam verdadeiras trilhas de inclusões secundárias, as quais normalmente seccionam gerações primárias.

As inclusões secundárias ocorrem normalmente alinhadas ou seguem uma distribuição planar ao longo de tais fraturas cicatrizadas.

**Inclusões Pseudo- Secundárias ou Inclusões – SP**: Estas inclusões se desenvolvem de mesmo modo que as inclusões do tipo - S. A diferença reside no fato que o fraturamento e a cicatrização ocorrem antes do cristal completar o seu crescimento.

Essas inclusões ocorrem geralmente em planos de fraturas localizadas na parte interna dos cristais.

#### 4.3.5 – Classificação das IF conforme a quantidade de fases presentes

Usualmente, as IF são classificadas de acordo com o número de fases presentes à temperatura ambiente (25°C) e com a natureza dessas fases. A classificação a seguir está baseada nas observações de Shepherd et al. (1995).

**Inclusões Monofásicas Líquidas (L)** : São inclusões inteiramente preenchidas por líquido, normalmente H<sub>2</sub>O.

**Inclusões Bifásicas ricas em líquido (L+V)** : Trata-se de inclusões nas quais a fase líquida predomina, embora uma pequena bolha de gás esteja sempre presente e ocupe no máximo 40 – 50 % do volume total.

**Inclusões Bifásicas ricas em vapor (V+L) :** Nestas inclusões a fase vapor predomina e ocupa mais do que a metade do volume, embora uma quantidade de líquido esteja sempre presente.

**Inclusões Monofásicas de vapor (V) :** São inclusões inteiramente preenchidas por vapor. Trata-se normalmente de uma mistura de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{N}_2$  sem presença perceptível de líquido.

**Inclusões Multifásicas Sólidas (S+L±V) e Multisólidas (S+L±V):** Ambas as categorias contêm uma ou mais fases sólidas cristalinas (minerais de saturação) como componente(s) essencial (ais), além de líquido e de vapor. Quando o sólido ocupa mais de 50% da inclusão, esta é chamada Multisólida. Se o sólido constitui menos de 50% da inclusão fala-se de inclusão Multifásica.

**Inclusões Líquidas Imiscíveis ( $L_1+L_2\pm V$ ) :** Estas inclusões caracterizam-se pela presença de 2 líquidos imiscíveis, um aquoso e outro rico em  $\text{CO}_2$ .

**Inclusões Vítreas ( $GL\pm V\pm S$ ) :** São inclusões geradas a partir de fusões silicatadas em condições de resfriamento muito rápido. Nesta categoria o vidro ocupa pelo menos 50% da parte sólida da inclusão.

#### 4.3.6 – Mudanças pós - aprisionamento

As mudanças mais importantes sofridas pelos fluidos após o seu aprisionamento são o aparecimento de uma fase de vapor e de minerais de saturação, bem como a separação de fluidos imiscíveis, todos fenômenos resultantes do progressivo resfriamento do sistema. Mudanças de forma, de tamanho e na distribuição das inclusões também podem ocorrer após essas terem sido hermeticamente seladas.

Estas mudanças pós - aprisionamento podem ocorrer sem perda ou adição de material nas inclusões. O caso mais clássico é o reequilíbrio das paredes das inclusões e estrangulamento (necking – down). Neste caso, as inclusões de forma irregular tendem, com o tempo, a mudar a sua morfologia para formas de cristais negativos ou esferoidais. Estas mudanças resultam de um processo implicando dissolução interna de algumas porções das paredes da cavidade e reprecipitação deste mesmo material em outras partes.

#### 4.4 –METODOLOGIA DE ESTUDO:

A metodologia consiste essencialmente em duas etapas:

- 1) a análise das IF ao microscópio em vista de determinar a sua distribuição e classificação e
- 2) o estudo microtermométrico.

#### 4.4.1 – Análise ao microscópio

A primeira etapa do estudo consiste em análise da lâmina bipolida com auxílio de um microscópio óptico em luz transmitida.

Esta fase tem como objetivos:

- Mapear com a maior precisão possível as inclusões presentes na amostra classificando-as em diferentes tipos;
- Estabelecimento de uma cronologia relativa entre os diversos tipos;
- Selecionar as inclusões para posterior análise.

É aconselhável que de início se faça uma completa avaliação das IF. Essas geralmente aparecem na forma de pequenas manchas escuras ou vestígios de manchas dentro da amostra analisada. Para isso, percorre-se toda a superfície da lâmina com uma objetiva de pequeno aumento (objetiva de 2,5 X ou 6,3 X) e se faz um pequeno esboço da lâmina a ser analisada. É importante marcar a superfície da lâmina bipolida com auxílio de uma caneta nanquim para facilitar a recolocação da lâmina na sua posição original. Em seguida, são selecionadas as áreas onde ocorrem as maiores concentrações de IF. Essas áreas devem ser correlacionadas com as estruturas e texturas do mineral ou rocha hospedeira.

Para uma descrição satisfatória das IF já selecionadas, é necessário utilizar um aumento que permita uma boa observação das principais características físicas das IF, dentre as quais se destacam: a morfologia, o tamanho das inclusões, o número de fases presentes, a sua composição, o grau de preenchimento relativo pelas diferentes fases, etc.

O passo seguinte consiste em distinguir os diferentes tipos e agrupar as IF de características físicas semelhantes.

Após obtenção desses dados, é necessário estabelecer a classificação genética (origem primária, secundária e pseudo - secundária) das IF. Ressalta-se que sem esta definição genética as análises não tem sentido nem utilidade.

Um recurso utilizado para facilitar a localização das IF a serem analisadas é o mapeamento das mesmas com auxílio de câmara clara, método que possibilita um desenho

bastante fiel das IF, com uma distorção de ao máximo 20% de qualquer feição observada na porção de lâmina estudada.

No presente trabalho, durante o mapeamento das IF foi empregado uma câmara que permitia jogar as imagens das IF num monitor de TV. Quando necessário, essas imagens eram registradas em um “Vídeo Printer” e impressas em papel fotográfico especial (Figura 7).

Após essas etapas preliminares a lâmina é fragmentada em lamelas de aproximadamente 0,5 x 0,5 cm, seguindo-se a realização do estudo microtermométrico das IF previamente descritas. Deve-se tomar cuidado na hora de fragmentar a lâmina para que não haja perda de material, principalmente daquelas porções da amostra que foram selecionadas para o estudo microtermométrico, para que, posteriormente, se possa “reconstituir” a lâmina.

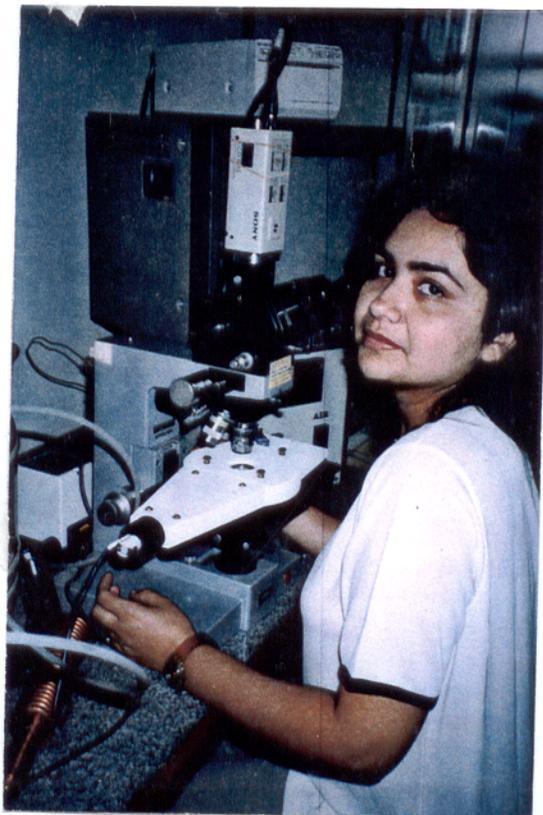


Figura 7: Platina de aquecimento e resfriamento de modelo FLUID INC montada sobre um microscópio petrográfico ligado a uma câmara de vídeo, monitor de TV e “Vídeo Printer”.

#### 4.4.2- Microtermometria

Por ser um método analítico não destrutivo e por permitir a utilização de amostras minúsculas (até 0,5 mm), a microtermometria vem se destacando como um método de aplicação universal (Fuzikawa, 1985).

Os fragmentos de lâminas selecionados são colocados numa platina especial acoplada a um microscópio petrográfico e submetidos a aquecimento, obtido com o auxílio de uma resistência elétrica, e a resfriamento através de fluxo de nitrogênio líquido na platina (Sistema Chaixmeca).

Via de regra, para IF formadas a temperaturas  $> 200^{\circ}\text{C}$ , a análise deve iniciar-se com o resfriamento dos fragmentos. Tal procedimento é um meio seguro de não causar danos irreversíveis às inclusões. Com efeito, se o estudo iniciar com o aquecimento, pode haver crepitação das inclusões e/ou escape de fluidos, o que leva à inutilização da IF. Constituem uma exceção as IF monofásicas aquosas e/ou as IF de baixa temperatura com baixa razão V/L Shepherd et al. (1995). Neste caso particular, é necessário começar com o aquecimento, uma vez que o congelamento pode dilatar ou romper a cavidade devido à expansão do gelo.

Através da observação ao microscópio das mudanças de fase ocorrendo nas inclusões em função das mudanças de temperatura, são obtidas, além das constantes físicas PT (Ponto Triplo) e PC (Ponto Crítico) que caracterizam cada composto puro, temperatura de fusão do gelo ( $T_{fg}$ ), temperatura de homogeneização total ( $T_{tot}$ ), temperatura de fusão do  $\text{CO}_2$  ( $T_{f\text{CO}_2}$ ), temperatura de homogeneização de  $\text{CO}_2$  ( $T_{h\text{CO}_2}$ ), que quando comparados com resultados de estudos experimentais, fornecem informações sobre a composição química, a densidade dos fluidos e as temperaturas e pressões mínimas de formação das inclusões (Fuzikawa, 1985).

#### 4.5- SISTEMAS DE FLUIDOS PRESENTES NAS IF DO VEIO DE QUARTZO DO GARIMPO DA LAGOA – XAMBIOÁ:

##### 4.5.1- Sistema $\text{H}_2\text{O}$ + Sais

A água raramente ocorre de forma pura, como único componente, nos sistemas naturais encontrados nas IF. Geralmente, está presente nas inclusões fluidas como solução salina.

Os íons mais comuns detectados nas IF aquosas são :  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , sendo  $\text{NaCl}$  o principal sal dissolvido.

O sistema  $H_2O$  puro apresenta Ponto Triplo (PT) =  $+0,01$  e Ponto Crítico (PC) =  $+ 374^\circ C$ , sendo esses dois valores de temperatura os mais importantes para este sistema ( Figura 8).

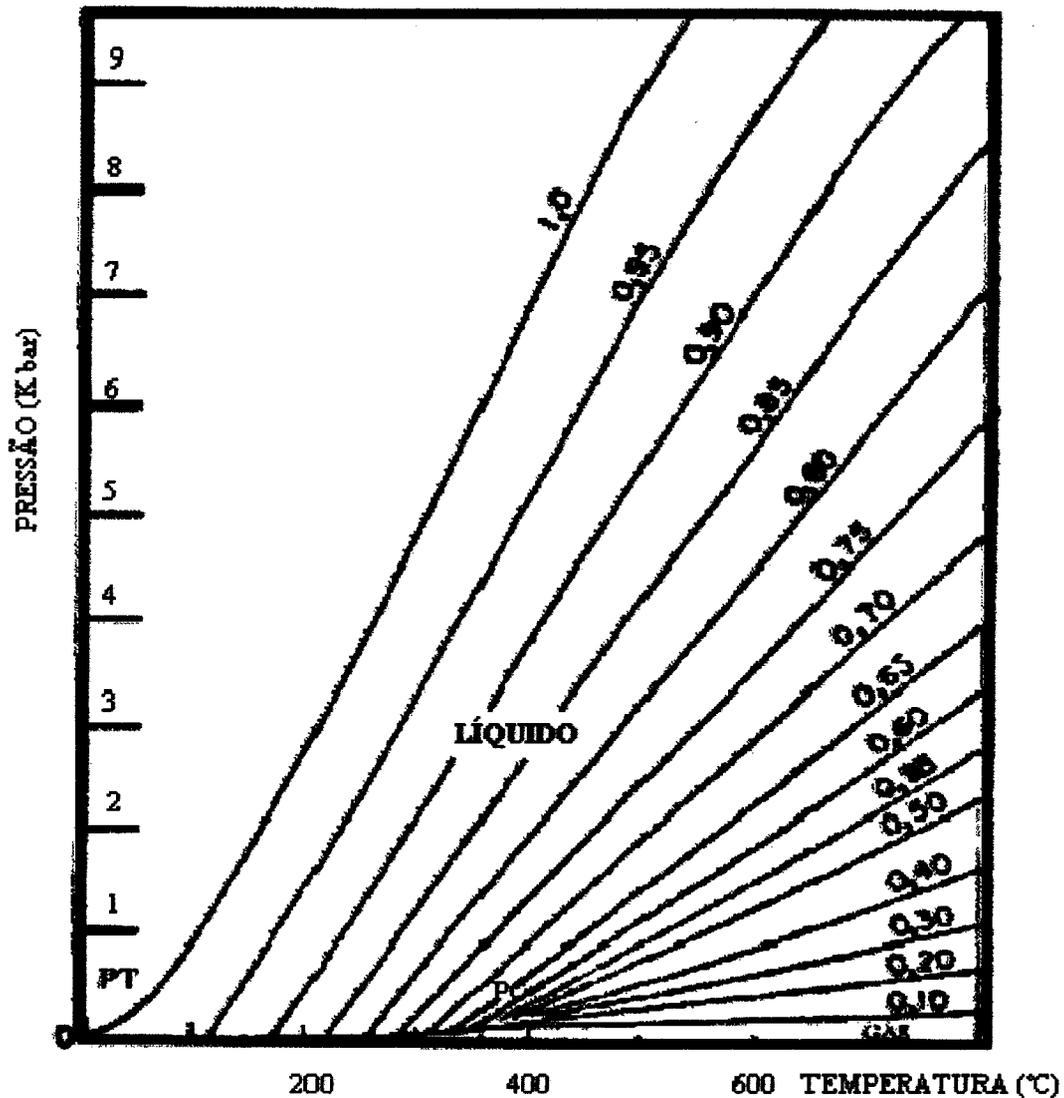


Figura 8 – Diagrama P – T de  $H_2O$  para temperaturas de  $0^\circ$  até  $800^\circ C$  e pressão de 0 a 10 Kbar, com representação de suas isócoras e das respectivas densidades em  $g/cm^3$  (Crawford, 1981), no qual PT: Ponto Triplo =  $0,0^\circ C$  e 0 bar e PC : Ponto Crítico =  $374^\circ C$ , 220 bars e densidade de  $0,32 g/cm^3$ .

#### 4.5.1.1- Temperatura de Fusão do Gelo (Tfg)

A composição das inclusões fluidas comportando o sistema  $H_2O + NaCl$  é determinada a partir das temperaturas de mudanças de fase, durante a análise microtermométrica (Bodnar & Vityk 1994).

A adição de um sal à água pura ( $H_2O$ ) causa o rebaixamento da Tfg, ou seja, do seu ponto triplo, sendo este rebaixamento proporcional à concentração de sal, até o ponto eutético (PE) do sistema. Assim sendo, cada solução salina pura é caracterizada pela temperatura do seu ponto eutético (Crawford, 1981). Ressalta-se que, a visualização do ponto eutético é, na maioria das vezes muito difícil.

O ponto eutético do sistema  $H_2O - NaCl$ , corresponde a uma salinidade equivalente a 23,3% em peso de NaCl e se situa à temperatura de  $-20,8^\circ C$  (Roedder, 1984). Convencionou-se representar a salinidade em equivalente a % em peso de NaCl devido o NaCl ser o sal mais comum nas soluções das IF.

Uma solução saturada em NaCl (contendo acima de 26,5% em peso de NaCl) geralmente apresenta, a temperatura ambiente um cubo isotrópico como cristal de saturação. A composição da inclusão é determinada a partir da temperatura de dissolução do cristal de sal ( $T_{hotNaCl}$ ).

Nas inclusões apresentando salinidades inferiores a 23,3 % em peso de NaCl, a composição é determinada com base na temperatura de fusão do gelo. Desta forma, quando uma inclusão fluida  $H_2O - NaCl$  de salinidade entre 0 - 23 % em peso de NaCl é submetida a baixa temperatura, a inclusão congela na forma de uma mistura de gelo e de hidrohalita ( $NaCl \cdot 2H_2O$ ) (Bodnar & Vityk (1994).

Quando aquecida, a hidrohalita se decompõe progressivamente até a temperatura do eutético ( $-21,2^\circ C$ ), produzindo gelo + líquido na proporção do eutético (23% em peso de NaCl). A inclusão sendo aquecida além da temperatura do ponto eutético, o gelo funde, havendo diluição e diminuição da salinidade da fase líquida. A temperatura na qual o último cristal de gelo funde, ou seja Tfg, é usada para definir a composição e estimar a salinidade da solução aquosa (Bodnar & Vityk, 1994), empregando-se o diagrama do sistema  $H_2O - NaCl$  (Figura 9). Na prática, a determinação de Tfg é feita durante o reaquecimento natural das IF, após o congelamento do fluido aquoso, que geralmente se dá a temperaturas inferiores a  $-30^\circ C$ .

Inclusões de salinidade situada entre a composição do eutético (23,2 % em peso de NaCl) e a do peritético (26,3% em peso de NaCl) também contêm gelo e hidrohalita quando congeladas

a baixas temperaturas. Contudo, quando estas inclusões são aquecidas à temperatura do eutético, a primeira fase a desaparecer é o gelo, restando hidrohalita + líquido remanescente. Com o aumento da temperatura, a hidrohalita se dissocia e desaparece entre a temperatura do eutético (21,2° C) e a do peritético (0,1° C) (Bodnar & Vityk 1994).

A salinidade é determinada com base na relação que existe entre ela e a temperatura de dissociação da hidrohalita (Bodnar & Vityk 1994). Os resultados obtidos estão sintetizados numa tabela que indica os valores de salinidade da fase aquosa em função da Tfg (Tabela 1).

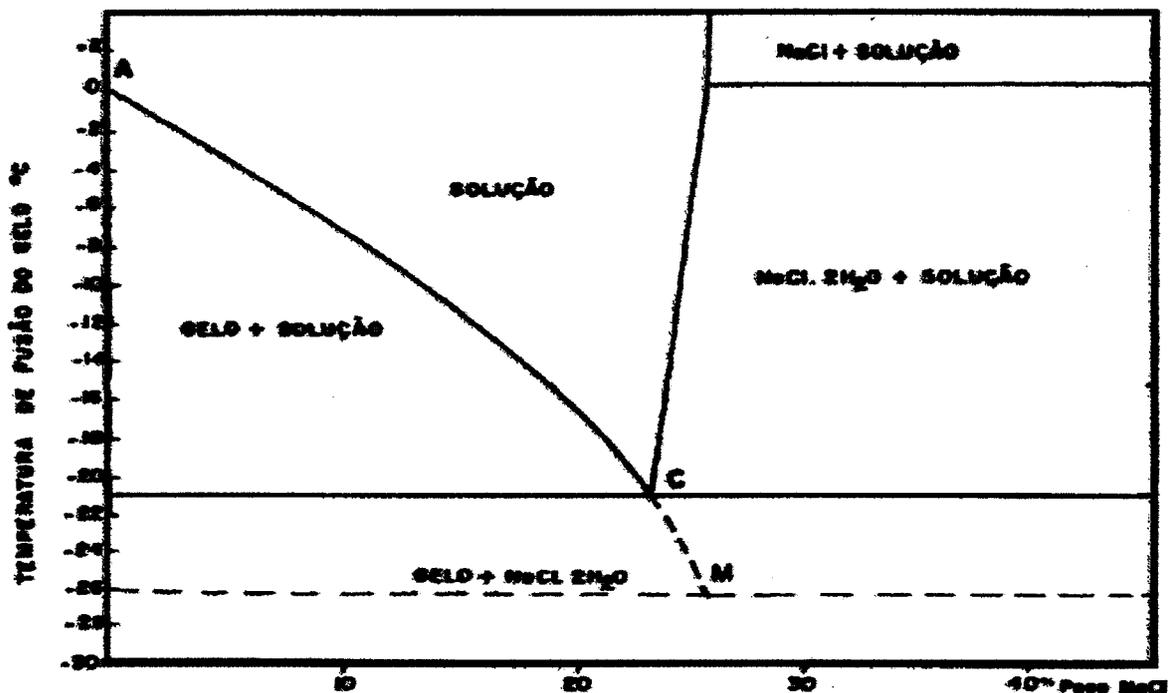


Figura 9 – Diagrama de fases no campo T-X do Sistema H<sub>2</sub>O - NaCl, a baixas temperaturas, em equilíbrio com vapor e à pressão de 1 bar (Roedder, 1984). A: Ponto triplo da água pura; C: Ponto eutético do sistema (-20,8°C e 23,3% em peso de NaCl) e M: Ponto eutético metaestável do sistema (~ -26°C e 26,6% em peso de NaCl).

Tabela 1 – Tabela de salinidade (% em peso de NaCl) em função da temperatura de fusão do gelo (Bodnar & Vityk, 1994). Lê-se na 1ª coluna os valores inteiros das Tfg e na 1ª linha os valores decimas. A interseção das colunas e linhas fornece a salinidade.

<b>RTF*</b>	<b>0,0</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	<b>0,3</b>	<b>0,4</b>	<b>0,5</b>	<b>0,6</b>	<b>0,7</b>	<b>0,8</b>	<b>0,9</b>
<b>0</b>	0.00	0.18	0.35	0.53	0.71	0.88	1.05	1.23	1.40	1.57
<b>1</b>	1.17	1.91	2.07	2.24	2.41	2.57	2.74	2.90	3.06	3.23
<b>2</b>	3.39	3.55	3.71	3.87	4.03	4.18	4.34	4.49	4.65	4.80
<b>3</b>	4.96	5.11	5.26	5.41	5.56	5.71	5.86	6.01	6.16	6.30
<b>4</b>	6.45	6.59	6.74	6.88	7.02	7.17	7.31	7.45	7.59	7.73
<b>5</b>	7.86	8.00	8.14	8.28	8.41	8.55	8.68	8.81	8.95	9.08
<b>6</b>	9.21	9.34	9.47	9.60	9.73	9.86	9.98	10.11	10.24	10.36
<b>7</b>	10.49	10.61	10.73	10.86	10.98	11.10	11.22	11.34	11.46	11.58
<b>8</b>	11.70	11.81	11.93	12.05	12.16	12.28	12.39	12.51	12.62	12.73
<b>9</b>	12.85	12.96	13.07	13.18	13.29	13.40	13.51	13.62	13.72	13.83
<b>10</b>	13.94	14.04	14.15	14.25	14.36	14.46	14.57	14.67	14.77	14.87
<b>11</b>	14.97	15.07	15.17	15.27	15.37	15.47	15.57	15.67	15.76	15.86
<b>12</b>	15.96	16.05	16.15	16.24	16.34	16.43	16.53	16.62	16.71	16.80
<b>13</b>	16.89	16.99	17.08	17.17	17.26	17.34	17.43	17.52	17.61	17.70
<b>14</b>	17.79	17.87	17.96	18.04	18.13	18.22	18.30	18.38	18.47	18.55
<b>15</b>	18.63	18.72	18.80	18.88	18.96	19.05	19.13	19.21	19.29	19.37
<b>16</b>	19.45	19.53	19.60	19.68	19.76	19.84	19.92	19.99	20.07	20.15
<b>17</b>	20.22	20.30	20.37	20.45	20.52	20.60	20.67	20.75	20.82	20.89
<b>18</b>	20.97	21.04	21.11	21.19	21.26	21.33	21.40	21.47	21.54	21.61
<b>19</b>	21.68	21.75	21.82	21.89	21.96	22.03	22.10	22.17	22.24	22.31
<b>20</b>	22.38	22.44	22.51	22.58	22.65	22.71	22.78	22.85	22.91	22.98
<b>21</b>	23.05	23.11	23.18							

\* Rebaixamento da temperatura de fusão do gelo (em °C).

#### 4.5.1.2 – Temperatura de Homogeneização (Th)

Segundo Fuzikawa (1985), a temperatura de homogeneização é a temperatura na qual a inclusão é preenchida com um fluido único homogêneo. Esta temperatura corresponde, após correções, à temperatura mínima (se o aprisionamento é homogêneo) de aprisionamento do fluido na inclusão ou de formação do mineral, se a inclusão é primária.

A homogeneização em inclusões bifásicas (L+V) pode ser causada pelo desaparecimento de uma das duas fases pela respectiva diminuição em volume ou pelo súbito desaparecimento da separação entre as fases. No primeiro caso, a homogeneização se dá, seja na fase líquida ou na fase de vapor, e, no segundo, o menisco que separa os dois fluidos permanece imutável até que, a certa temperatura, ocorre seu desvanecimento (Fuzikawa, 1985).

Durante o aquecimento, ocasionalmente, pode ocorrer crepitação, vazamento parcial ou total do fluido da inclusão.

A crepitação da inclusão ocorre quando a pressão interna do fluido é maior do que a resistência do mineral hospedeiro. O vazamento parcial ou total do fluido acontece quando o cristal hospedeiro sofre fraturamento, o que permite escape de fluido.

Para que não haja perda total das amostras analisadas, principalmente daquelas que contêm IF aprisionadas em diferentes condições de P e T, e apresentam composições diferentes, recomenda-se quebrá-las em vários fragmentos menores, guardando sempre alguns destes para análise posterior.

#### 4.5.2- Sistema $H_2O - NaCl - CO_2$

A análise das IF contendo este sistema é mais complexa, uma vez que as mesmas comportam no mínimo 3 fases, suscetíveis de serem encontradas, durante o resfriamento ( gelo; hidrohalita e  $CO_2$  sólido).

A temperatura ambiente, o fluido aquoso e o  $CO_2$  líquido são imiscíveis. Contudo, durante o resfriamento observa-se uma forte interação das duas fases, formando-se hidrato de gás ou “clatrato”. Segundo Fuzikawa (1985), o composto clatrato possui uma rede cristalina expandida de gelo que contém moléculas de gas, sendo a sua fórmula estrutural simplificada:  $CO_2 \cdot 5,75 H_2O$ .

Mesmo não se tratando, no presente trabalho, de sistema  $CO_2$  puro, vale ressaltar as principais propriedades termodinâmicas deste: o seu ponto triplo (PT) e ponto crítico (PC) situam-se a  $- 56,6^\circ C$  e  $+ 31,1^\circ C$ , respectivamente. Demais dados são fornecidos pela microtermometria das IF contendo  $CO_2$ :

##### 4.5.2.1 -Temperatura de Homogeneização de $CO_2$

Permite estimar a densidade da fase  $CO_2$  presente na inclusão (Figura 10). A homogeneização pode ocorrer de três maneiras diferentes:

Homogeneização para o estado gasoso – pela expansão da bolha de  $CO_{2(g)}$  até o desaparecimento da fase líquida. Tal fenômeno indica um sistema de baixa densidade;

Homogeneização para o estado líquido - através da contração da bolha de  $CO_{2(g)}$  até o seu total desaparecimento. Tal fenômeno caracteriza um sistema de densidade mais elevada e

Homogeneização crítica – pela evanescência do menisco que separa a fase líquida da gasosa.

#### 4.5.2.2 - Temperatura de Fusão de CO<sub>2</sub> (T<sub>fCO2</sub>)

Indica o grau de pureza de CO<sub>2</sub>. Na prática, para se obter esta temperatura, a amostra deve ser resfriada até o completo congelamento de CO<sub>2</sub>, por volta de - 90° C, sendo a T<sub>fCO2</sub> obtida no decorrer do reaquecimento natural e gradativo do sistema.

A presença de outros compostos voláteis como CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>, N<sub>2</sub> pode ser detectada pois neste caso ocorre uma depressão do ponto triplo, cuja intensidade depende da natureza da substância e de sua concentração.

A temperatura final de fusão do gelo (T<sub>fg</sub>) registrada em presença de clatrato, resulta muitas vezes em falsa avaliação da salinidade. Isto é devido à remoção de água da fase aquosa durante a formação do clatrato, fenômeno que aumenta a concentração de sais dentro do fluido aquoso residual.

Como os sais ou os íons da solução não são incorporados na estrutura do clatrato, durante o resfriamento, a solução aquosa residual, após a formação do clatrato, torna-se mais salina do que a original e as temperaturas de fusão do gelo obtidas em tal solução dão uma estimativa incorreta da salinidade (Collins, 1979). Um método alternativo para se estimar a salinidade usando a fusão do clatrato foi proposto por Collins (1979). Estudando o sistema H<sub>2</sub>O - CO<sub>2</sub> - NaCl, este autor mostrou ser possível a determinação correta da salinidade utilizando a temperatura de completa dissociação destes compostos.

Suspeita-se que o clatrato possa remover seletivamente CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub> da fase CO<sub>2</sub>, enriquecendo assim a fase não aquosa remanescente em CO<sub>2</sub> e mudando a temperatura de fusão total de CO<sub>2</sub> (T<sub>hCO2</sub>).

Durante a realização do presente trabalho, a salinidade das IF deste sistema foi avaliada com base na dissociação dos cristais de saturação presentes na solução aquosa (Figura 11), uma vez que a temperatura de dissociação destes cristais era mais elevada que a temperatura de fusão do clatrato.

#### 4.5.2.3 - Temperatura de Homogeneização Total

No decorrer das análises, a homogeneização total das inclusões do sistema H<sub>2</sub>O - NaCl - CO<sub>2</sub> não foi observada, devido a crepitação dessas IF ter ocorrido antes da homogeneização.

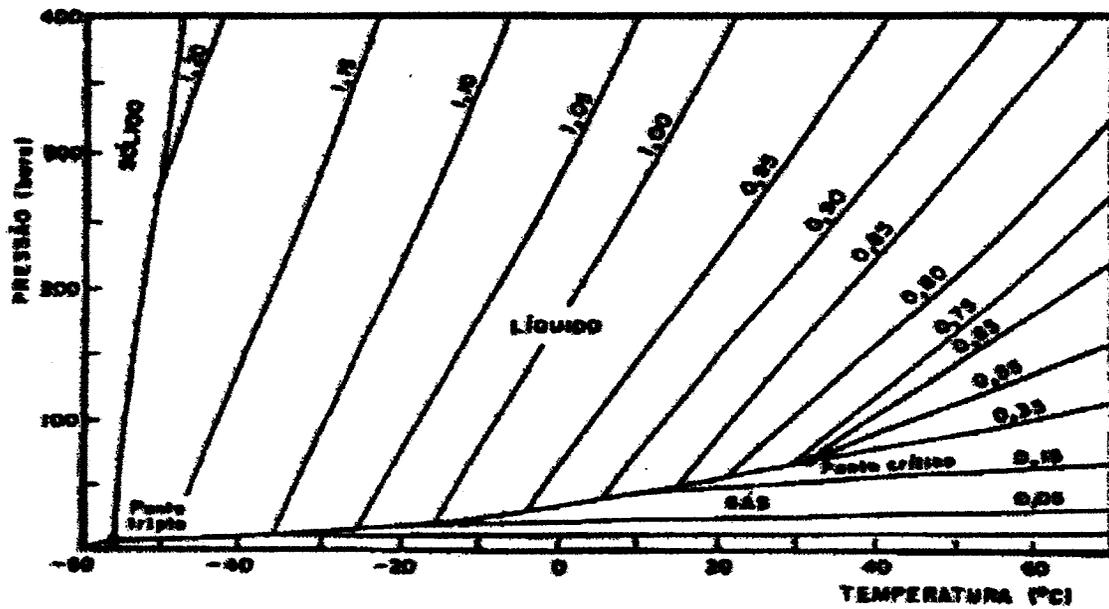


Figura 10 – Diagrama de fases de CO<sub>2</sub> projetado no plano P – T, no intervalo entre os pontos triplo e crítico, com representação das isócoras e das respectivas densidades em g/cm<sup>3</sup> (Roedder 1984).

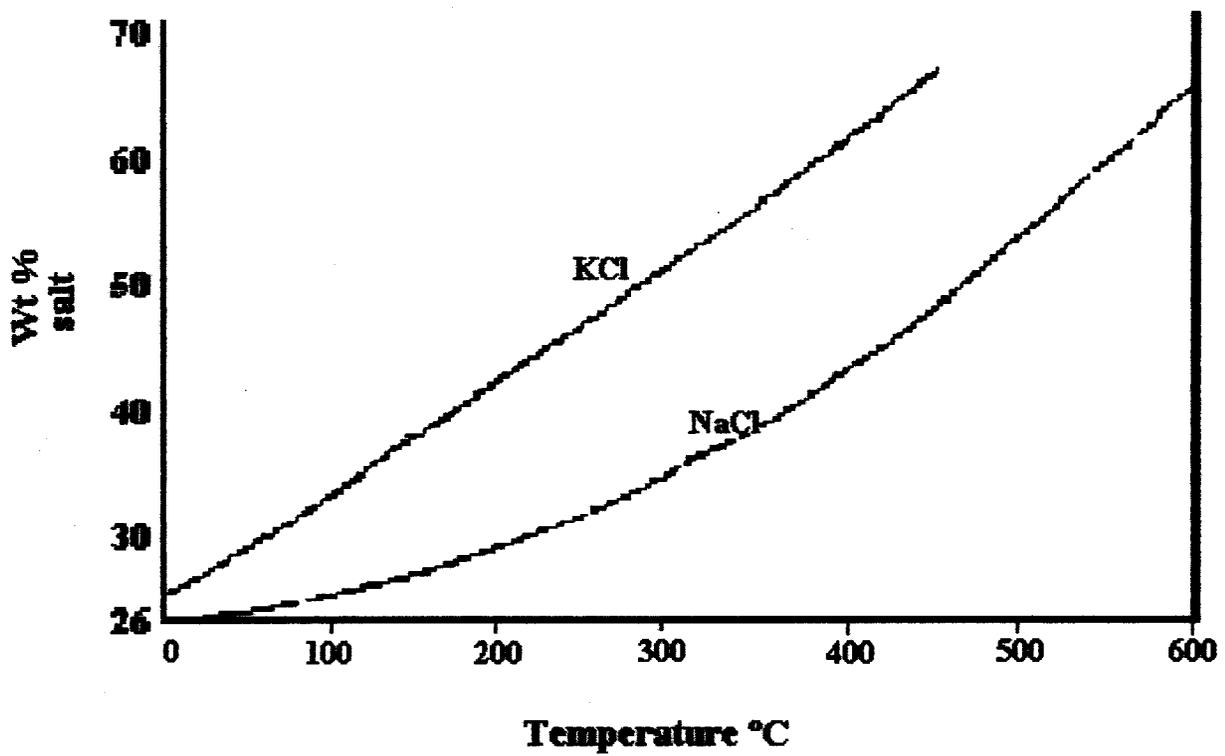


Figura 11 – Curvas de solubilidade de NaCl e KCl em solução aquosa. Obtêm-se os teores desses sais nas inclusões fluidas em % em peso, a partir das temperaturas de dissolução dos respectivos cristais de saturação (Shepperd et al, 1985).

## 5.0 - ESTUDOS DAS INCLUSÕES FLUIDAS DO VEIO DO GARIMPO DA LAGOA.

### 5.1 – INTRODUÇÃO

Até o momento, nenhum estudo de inclusões fluidas, objetivando caracterizar com maior precisão a natureza e origem dos fluidos hidrotermais responsáveis pela gênese do cristal de rocha e dos veios hospedeiros na porção norte do Cinturão Araguaia, foi realizado.

De mesmo modo, não foram esclarecidos, até agora, os fenômenos que levaram à formação deste bem mineral.

### 5.2 – AMOSTRAS ESTUDADAS

Das 10 lâminas bipolidas de quartzo preparadas para o estudo do veio a cristal de rocha do Garimpo da Lagoa, apenas 4, representativas de cada porção (zona de borda, zona intermediária e zona interna) do veio, (Tabela 2), foram selecionadas para análise microscópica e microtermométrica.

Tabela 2: Localização e descrição macroscópica das amostras estudadas.

Número da amostra	Tipo de análise	Descrição	Localização
GLA- 14	microscópica e microtermométrica	Quartzo leitoso.	Zona de borda. Amostra coletada no contato do veio com a rocha encaixante (biotita -xisto).
GLA-15	microscópica	Quartzo leitoso com porções hialinas	Zona intermediária. Amostra coletada 1,5 m da zona de borda
GLA – 02 GLA - 05	microscópica e microtermométrica	Cristal de rocha.	Zona interna do veio. Amostra coletada a 1 m da Zona intermediária.

### 5.2.1 – Amostra GLA –14

Realizou-se nesta amostra um estudo petrográfico e microtermométrico das IF.

#### 5.2.1.1 – Microscopia

Na lâmina bipolida da amostra GLA-14 (Figura 12), dividida em doze fragmentos, observou-se 4 tipos de IF:

**Tipo 1:** Inclusões Fluidas Aquo - Carbônicas Supersaturadas com 4 fases sólidas;

**Tipo 2:** Inclusões Fluidas Aquosas Trifásicas;

**Tipo 3:** Inclusões Fluidas Aquosas Bifásicas e

**Tipo 4:** Inclusões Fluidas Aquosas Monofásicas.

**Tipo 1:** As inclusões fluidas aquo – carbônicas supersaturadas comportam até 4 fases sólidas, das quais um cubo maior (NaCl?) e um cubo menor (KCl?) e dois outros sólidos não identificados (Figura 13). Estas inclusões destacam-se em todos os fragmentos da lâmina por apresentarem tamanho notável (até 300 $\mu$ m). A fase gasosa e as sólidas juntas ocupam aproximadamente 70 -80% do volume da inclusão e exibem de modo muito claro as suas fases sólidas. Trata-se de excelentes exemplos de inclusões multifásicas à temperatura ambiente.

Possuem forma de cristais negativos ou alongada e se distribuem em trilhas sem nenhuma orientação preferencial. Estas IF são consideradas pseudo - secundárias, embora, tal classificação seja discutível, uma vez que os cristais hospedeiros não exibem zoneamento e que, conseqüentemente, não se pode determinar a orientação das trilhas em relação aos planos de crescimento do mineral. É possível, no entanto, que estas IF estejam relacionadas à zonas de crescimento dos cristais de quartzo hospedeiros e sejam portanto, primárias.

A espectrometria micro - Raman realizada em algumas IF do Tipo 1 revelou uma fase carbônica (CO<sub>2</sub>) quase pura, com traços de N<sub>2</sub> e ausência total de CH<sub>4</sub>.

**Tipo 2:** As inclusões fluidas aquosas trifásicas (G+L+S) se apresentam sob a forma de cristais negativos ou exibem forma irregular, possuem tamanho de 7 a 42  $\mu$ m. A fase gasosa e a sólida juntas ocupam de 20 a 30% do volume da inclusão. Dispõem-se em trilhas que acompanham planos de fraturas cicatrizadas, sem orientação preferencial. Trata-se portanto, de inclusões secundárias, cuja fase sólida consiste em um cubo de NaCl, determinado a partir de suas propriedades ópticas (Figura 14).

GLA - 14

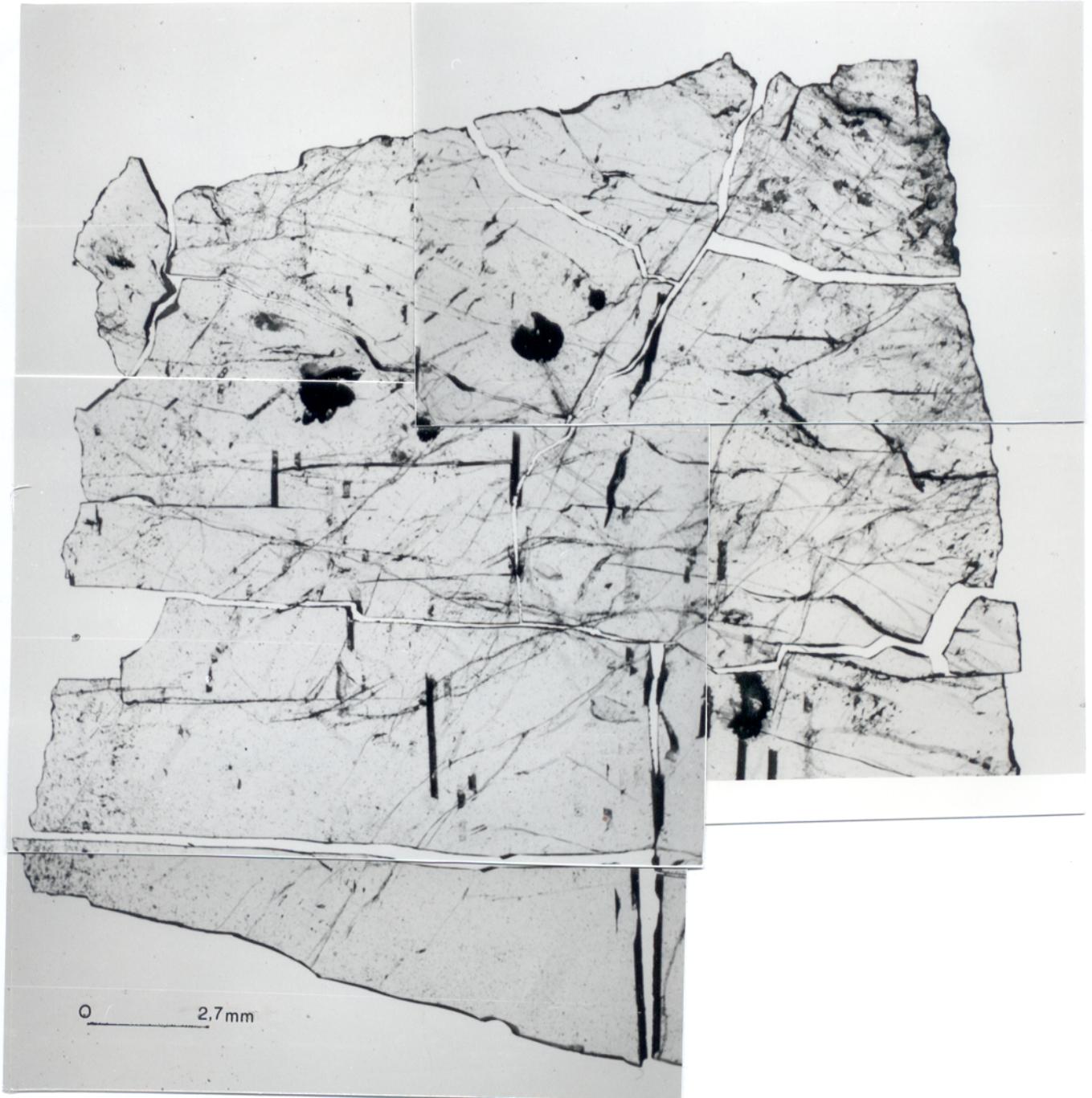


Figura 12- Lâmina bipolida de quartzo da amostra GLA -14.

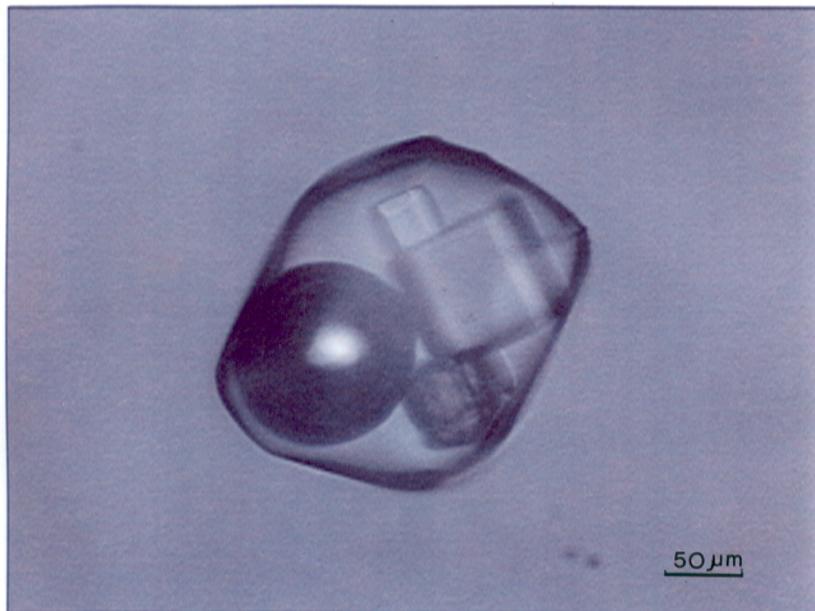


Figura 13 – Fotomicrografia de IF do Tipo 1 (amostra GLA-14).

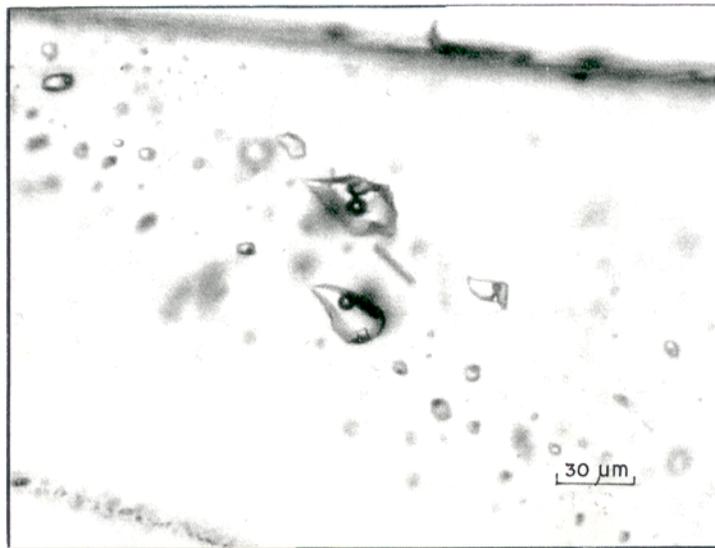


Figura 14 - Fotomicrografia de IF do Tipo 2 (amostra GLA- 14).

**Tipo 3:** As inclusões fluidas aquosas bifásicas (G+L) estão sempre alinhadas, formando trilhas sem orientação preferencial. Foi possível distinguir dois subtipos de IF (G+L) em função de sua morfologia:

**Subtipo (a)** : as IF apresentam-se na forma de cristais negativos ou irregulares, com tamanho de 5 a 21 $\mu\text{m}$  e a fase gasosa ocupando cerca de 20 % do volume dessas inclusões (Figura 15);

**Subtipo (b)** : as IF apresentam morfologia mais irregular, mais alongada e comumente fusiforme, tamanho de 7 a 140  $\mu\text{m}$  e a fase gasosa ocupando cerca de 10% do volume das inclusões (Figura 16).

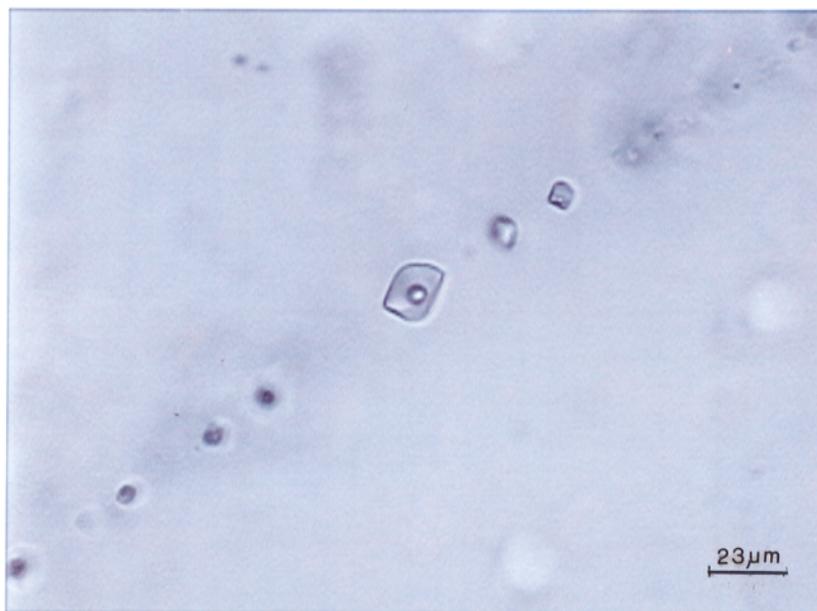


Figura 15 - Fotomicrografia de IF do Tipo 3 Subtipo (a) (amostra GLA- 14)

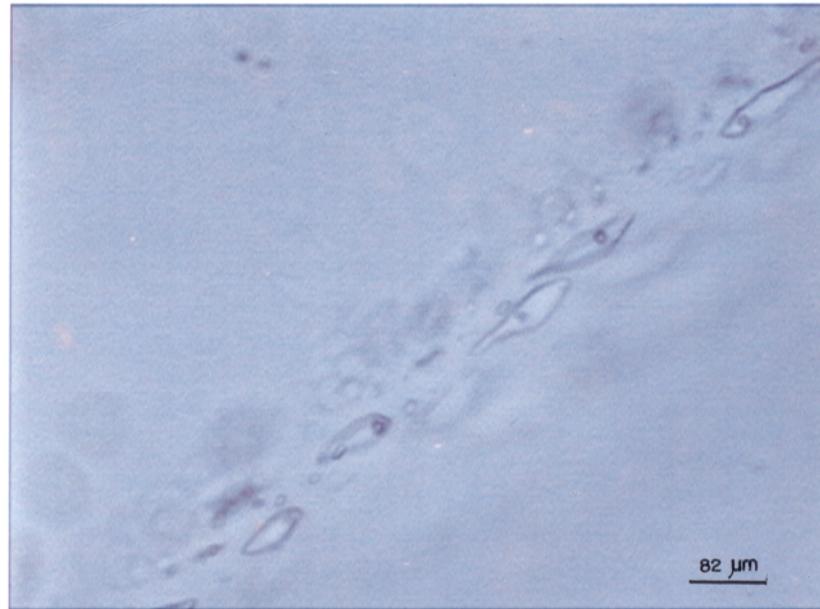


Figura 16 – Fotomicrografia de IF do Tipo 3 Subtipo (b) (Amostra GLA – 14).

**Tipo 4:** As inclusões fluidas aquosas monofásicas (L) se distribuem desordenadamente dentro de largas trilhas, exibindo forma muito irregular, às vezes amebóide, e tamanho de 3 a 115  $\mu\text{m}$ . Em locais, as trilhas de IF de Tipo 4 cortam perpendicularmente as de IF do Tipo 3. Trata-se claramente de inclusões secundárias (Figura 17).

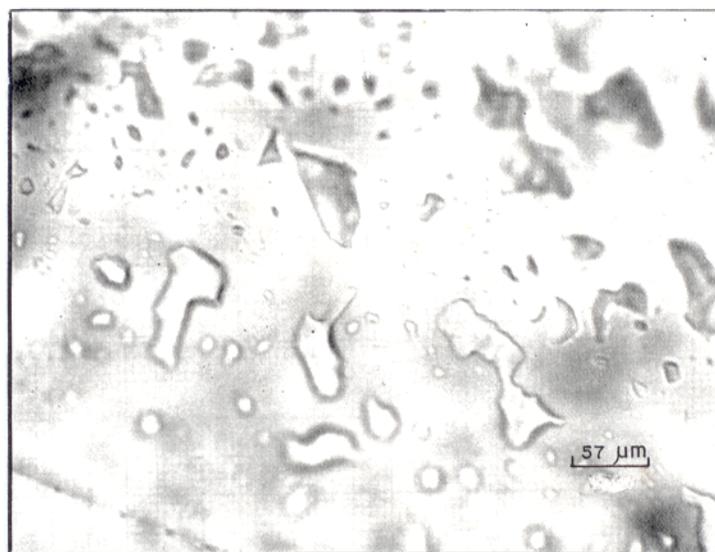


Figura 17 – Fotomicrografia de IF do Tipo 4 (amostra GLA-14).

### 5.2.1.2 – Microtermometria

O estudo criométrico da amostra GLA – 14 forneceu os seguintes resultados:

#### Inclusões aquo – carbônicas (Tipo 1)

- **Fusão de CO<sub>2</sub> (Tf<sub>CO2</sub>)** – As Tf<sub>CO2</sub> se situam na faixa entre -55,9 e -56,8°C com maior frequência em -56,8° C (Figura 18). Indicando um sistema carbônico quase puro.

- **Homogeneização de CO<sub>2</sub> (Th<sub>CO2</sub>)** – Foi difícil obter as Th<sub>CO2</sub> nesta amostra. Contudo, duas IF apresentaram homogeneização de CO<sub>2</sub>, no estado gasoso, a + 1.5 e + 1.7°C, sugerindo uma densidade do fluido entre 0.10 – 0.12 g/cm<sup>3</sup>.

- **Temperatura de Homogeneização Total (Th<sub>Tot</sub>)** – Não foi possível obter medidas de Th<sub>Tot</sub> para as inclusões de Tipo 1 por estas terem sofrido crepitação a temperatura entre + 287.7 e + 404° C, antes de ser alcançada a homogeneização total das fases presentes. Todavia, em algumas IF foi possível observar uma homogeneização parcial, com desaparecimento da bolha de vapor entre + 204.9 e 340.7° C e dissociação do cubo de sal (NaCl) entre + 307 e 361.7° C. Foram plotadas as temperaturas de dissolução dos cubos de NaCl nas curvas de solubilidade de NaCl e KCl obtendo-se uma salinidade de 38 % a 44% em peso de NaCl (Figura 11), no caso, se o sistema fosse composto de apenas H<sub>2</sub>O - NaCl.

#### Inclusões Aquosas

- **Temperatura de Fusão do Gelo (Tfg)** – As inclusões do Tipo 3, Subtipo (a), revelaram Tfg entre - 21.2 e - 21.7° C, indicando uma salinidade de cerca de 23% em peso de NaCl [Figura 19 (1)].

As Tfg entre - 17.4 e - 23.6° C obtidas nas inclusões do Tipo 3, Subtipo (b), indicaram, por sua vez, uma salinidade de 20 a 25% em peso de NaCl [Figura 19 (2)].

Nas IF do Tipo 4, as Tfg situadas entre - 1,8 e - 14,5° C apontaram uma salinidade de 3 a 18% em peso de NaCl.

- **Temperatura de Homogeneização Total (Th<sub>Tot</sub>)**

As IF do Tipo 2 forneceram Th<sub>Tot</sub> na faixa de + 182,1 a + 215°C, indicando uma salinidade de 30 a 32% em peso de NaCl.

As IF do Tipo, 3 Subtipo (a), revelaram Th<sub>Tot</sub> entre + 130 e + 208.5° C, com pico em ± 160° C [Figura 20 (1)], enquanto que as IF do Tipo 3, Subtipo (b), apresentaram valores de Th<sub>Tot</sub> entre + 65.5 e + 114.5° C, com pico em 70 – 80°C [Figura 20 (2)]. Os resultados das análises microtermométricas da amostra GLA- 14 estão resumidas na Tabela 3.

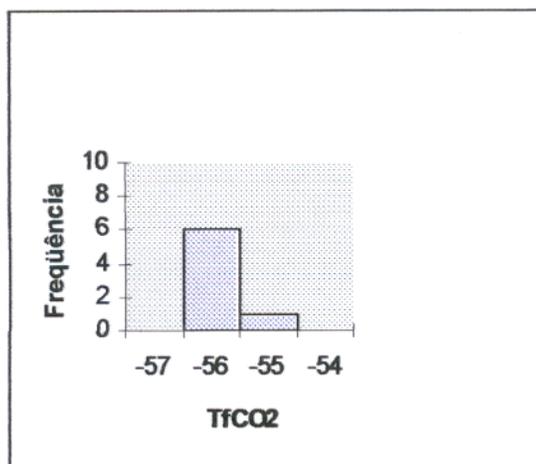


Figura 18– Histograma da temperatura de fusão de CO<sub>2</sub> (Tf CO<sub>2</sub>) para IF aquo - carbônicas (Tipo 1) da amostra GLA – 14.

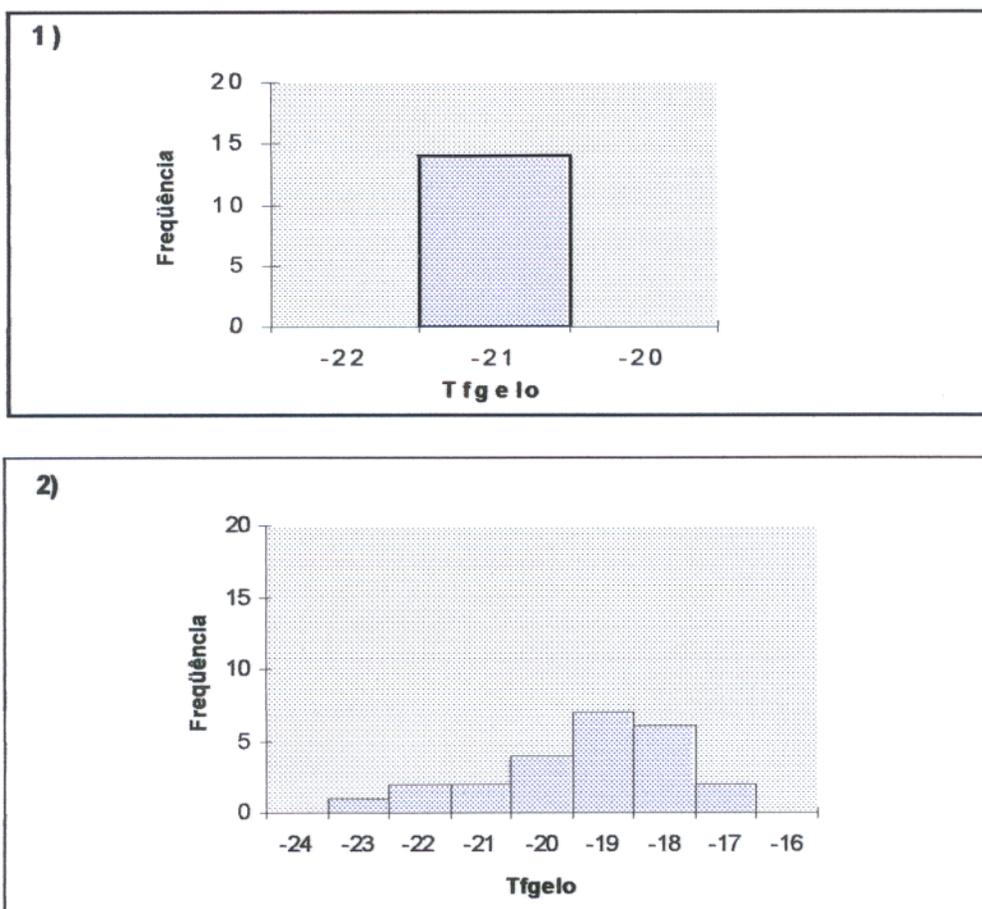


Figura 19– Histogramas das temperaturas de fusão do gelo para IF aquosas bifásicas (Tipo 3) da amostra GLA – 14; 1) Subtipo (a) ; 2) Subtipo (b).

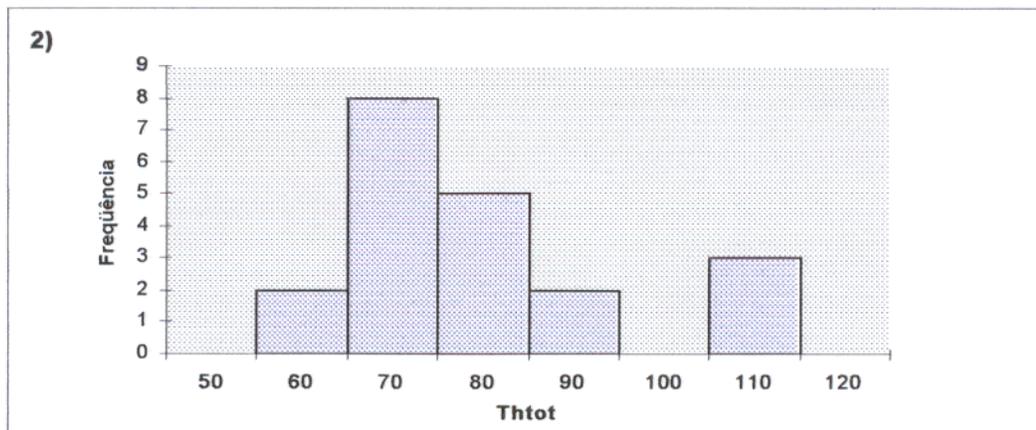
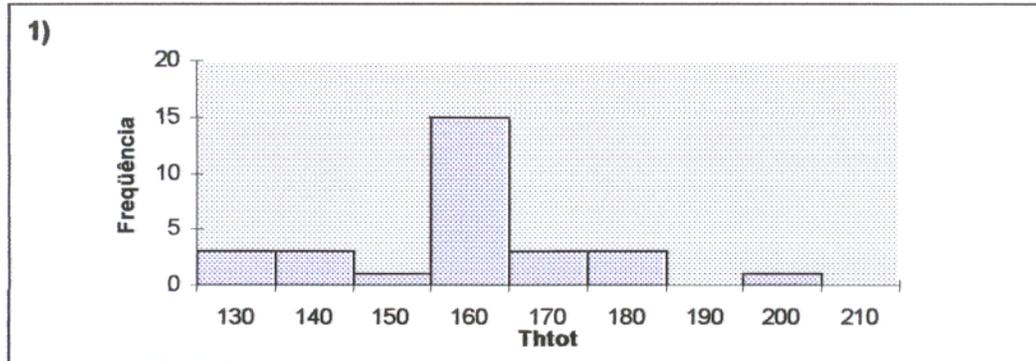


Figura 20 – Histogramas das temperaturas de homogeneização total (Thtot) para IF aquosas bifásicas (Tipo 3) da amostra GLA-14. 1) Subtipo (a); 2) Subtipo (b).

Tabela 3: Dados microtermométricos referentes às IF da amostra GLA – 14.

<b>Amostra GLA – 14</b>	<b>T<sub>fg</sub></b>	<b>F</b>	<b>T<sub>fCO2</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>hCO2</sub> (°C)</b>	<b>Densidade g/cm<sup>3</sup> do fluido CO<sub>2</sub></b>	<b>T<sub>hTot</sub> (°C)</b>	<b>Salinidade (% peso NaCl)</b>
<b>N*</b>			07	02			
<b>Tipo 1</b> IF Aquo – carbônica Multifásica	-	70 – 80%	-59,9 a – 56,8°C	+1,5 e + 1,7	0,10 – 0,12	-	38% - 44%
<b>Tipo 2</b> IF Aquosa Trifásica	-	20 – 30%	-	-	-	+182,1° - + 215° C	30% - 32%
<b>Tipo 3</b> <b>Subtipo</b> <b>(a)</b> IF Aquosa Bifásica	-21,2 - -21,7 °C	20%	-	-	-	+130,0° +208,5°C	23%
<b>Subtipo</b> <b>(b)</b> IF Aquosa Bifásica	-17,4 - -23,6 °C	10%	-	-	-	+65,5° +114,5°C	20% - 24%
<b>Tipo 4</b> IF Aquosa Monofásica	-1,8 - -14,5 °C		-	-	-	-	3% -18%

n\* = número de medidas

### 5.2.2 – Amostra GLA – 15

Realizou-se nesta amostra apenas o estudo petrográfico.

#### 5.2.2.1 – Microscopia

O exame petrográfico desta amostra permitiu observar IF aquosas que, à temperatura ambiente, apresentam 1 fase (L) (Tipo 4) ou 2 fases (V+L) (Tipo 3), sendo classificadas como IF monofásicas e bifásicas, respectivamente.

As IF bifásicas apresentam formas que tendem para cristais negativos alongados e possuem comprimento variável de até 63  $\mu\text{m}$ . As mesmas estão sempre alinhadas em planos de fraturas cicatrizadas que se interceptam com frequência. Trata-se de IF secundárias (Figura 21).

As IF aquosas monofásicas mostram morfologia irregular a arredonda e têm de 3  $\mu\text{m}$  a 27  $\mu\text{m}$  de comprimento. Encontram-se sempre em planos de fraturas cicatrizadas. Os planos contendo essas IF cortam outros planos de fraturas que hospedam inclusões bifásicas (Figura 22).

### 5.2.3 – Amostra GLA – 02

Nesta amostra foi realizado um estudo petrográfico e microtermométrico.

#### 5.2.3.1 – Microscopia

As inclusões fluidas presentes nos dois fragmentos estudados da lâmina GLA -02, estão distribuídas essencialmente ao longo de planos de fraturas cicatrizadas, dispendo-se em trilhas ou aleatoriamente na amostra (Figura 23).

Inclusões sólidas de calcita ou clorita, sob a forma de diminutas esférulas exibindo coloração rosada a esverdeada pálida, zoneamento concêntrico e estrutura radial em volta de um núcleo opaco e inclusões opacas irregulares (óxido de ferro ?), estão igualmente presentes na amostra (Figura 24).

Como na amostra (GLA-14) distingui-se 4 tipos de inclusões fluidas.

**Tipo 1:** Inclusões Fluidas Aquo - Carbônicas Supersaturadas;

**Tipo 2:** Inclusões Fluidas Aquosas Trifásicas;

**Tipo 3:** Inclusões Fluidas Aquosas Bifásicas e

**Tipo 4:** Inclusões Fluidas Aquosas Monofásicas.

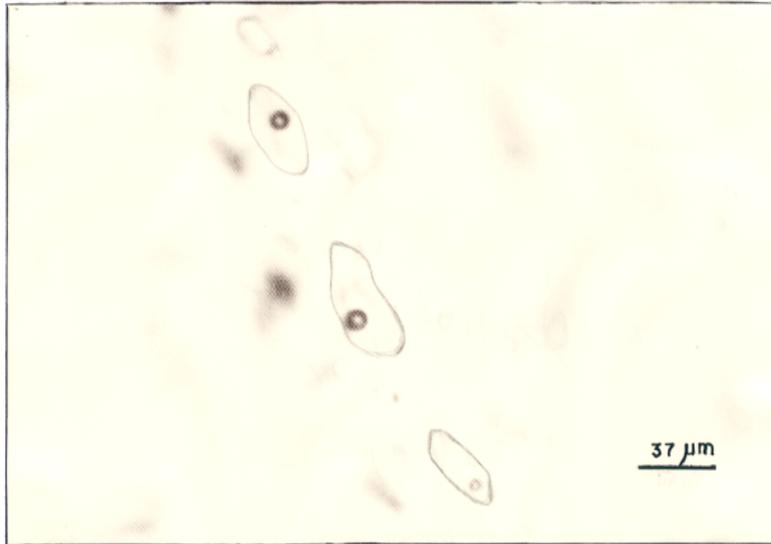


Figura 21: Fotomicrografia de inclusões fluidas bifásicas (Tipo 3) da amostra GLA – 15.

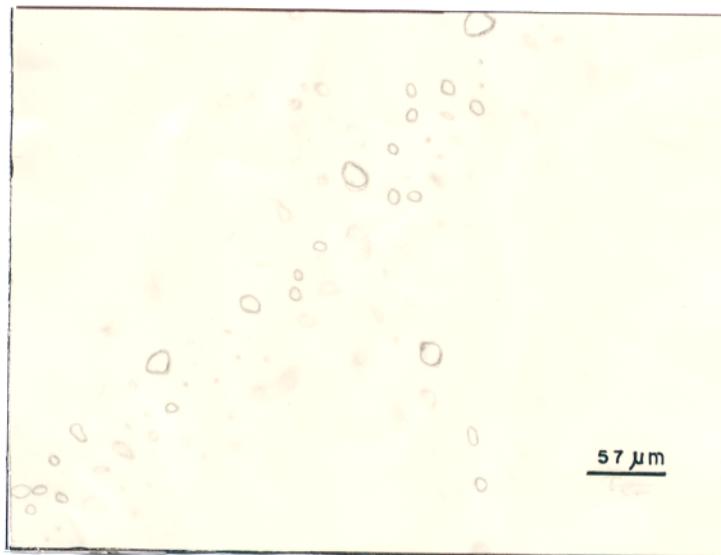


Figura 22: Fotomicrografia de IF aquosas monofásicas (Tipo 4) da amostra GLA –15.

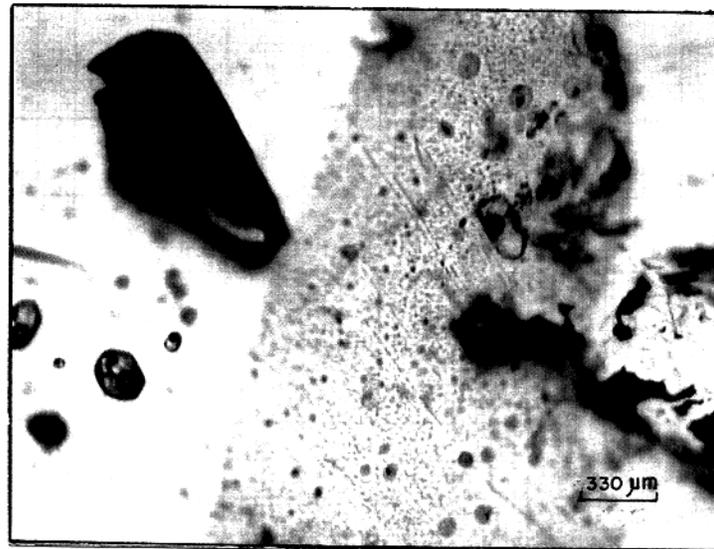


Figura 23 – Fotomicrografia da lâmina GLA – 02. Notar as IF do Tipo 1 com forma de cristais negativos distribuídas aleatoriamente na amostra bem como inclusões sólidas (micro-oólitos de calcita ou clorita (?) e opacos).

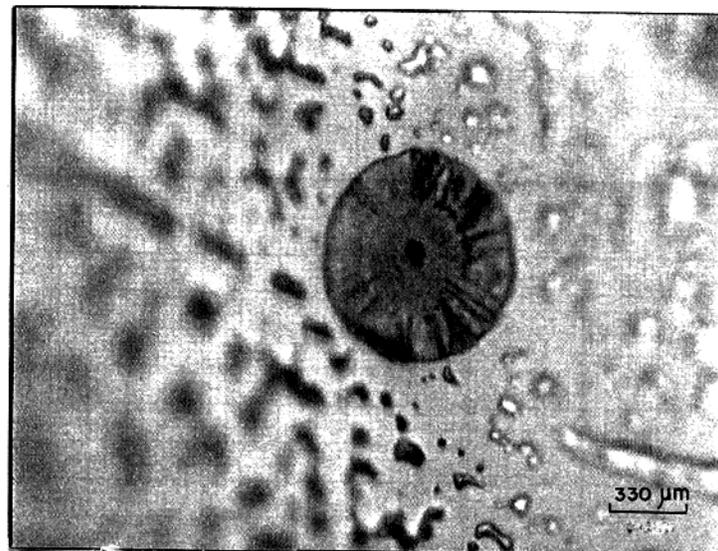


Figura 24 – Oólito de calcita ou clorita (?) incluído no quartzo, em meio a IF aquosas monofásicas (amostra GLA-02).

**Tipo 1** : Inclusões multifásicas aquo- carbônicas supersaturadas com uma fase vapor de  $\text{CO}_2$  e uma fase aquosa, além de 3 ou 4 sólidos, ou seja, um cubo maior (NaCl ?), um cubo menor (KCl ?) e 1 ou 2 sólidos não identificados (Figura 25). Apesar dos cristais isotrópicos de NaCl e KCl apresentarem as mesmas propriedades ópticas, por cristalizarem no mesmo sistema, eles se distinguem pela sua solubilidade durante o aquecimento. NaCl é menos solúvel que KCl e forma hidrato ( $\text{NaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  -hidrohalita) (Fuzikawa, 1985).

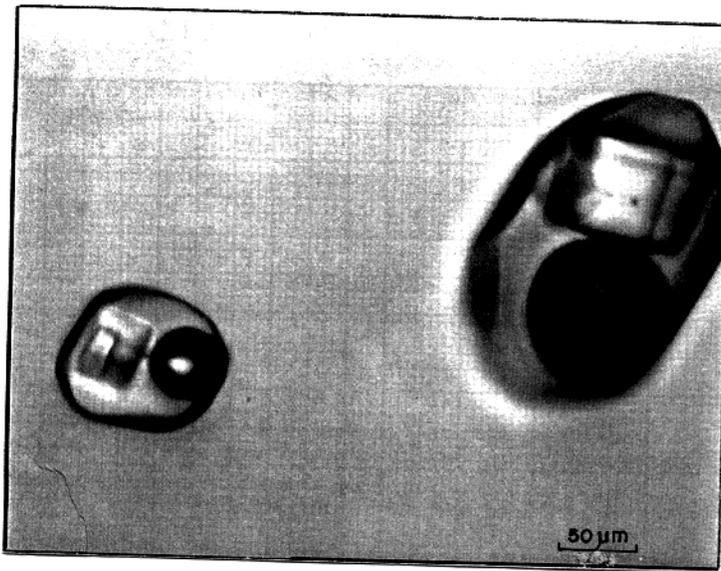


Figura 25 – Fotomicrografia de IF multifásicas (Tipo 1) (Amostra GLA – 02).

Apresentam-se sob a forma de cristais negativos, por vezes alongados, cujo tamanho varia de  $20\mu\text{m}$  a  $230\mu\text{m}$ , sendo que a fase gasosa e sólidas juntas ocupando de 70 a 80% do volume da inclusão. Ocorrem normalmente em trilhas, embora algumas IF deste tipo apareçam isoladas. Não foi possível determinar uma orientação preferencial dessas IF dentro do mineral. Entretanto, tal fato não significa que as mesmas não possam estar orientadas segundo o eixo cristalográfico (C) do quartzo, uma vez que não foi possível definir a orientação dos eixos do cristal. Considerando as suas características morfológicas e a sua distribuição dentro do cristal hospedeiro supõe-se que essas sejam IF de natureza pseudo - secundária.

As IF multifásicas desta amostra, por apresentarem características morfológicas similares às das IF multifásicas da amostra GLA -14 foram consideradas como pertencentes à mesma categoria.

**Tipo 2:** As IF aquosas trifásicas (G+L+S), ocorrem na forma de cristais negativos, exibindo tamanho de  $9\mu\text{m}$  a  $30\mu\text{m}$ , sendo que a fase gasosa e sólida juntas ocupam cerca de 60 a 70% do volume da inclusão. Estão distribuídas em trilhas sem orientação preferencial. Compõem-se de uma fase vapor, uma fase líquida e um cristal cúbico de sal ( NaCl ?) (Figura 26).

**Tipo 3:** As inclusões bifásicas (G+L) ocorrem em trilhas acompanhando planos de fraturas no quartzo. São inclusões de morfologia irregular que tendem a adquirir a forma de cristais negativos. Possuem tamanho que variam de 7 a  $49\mu\text{m}$  e apresentam a fase vapor ocupando 20 a 60% do volume da inclusão.

**Tipo 4:** As inclusões monofásicas são de natureza líquida e ocorrem em trilhas ao longo de planos de fraturas. Suas feições morfológicas são muito irregulares e algumas delas exibem estrangulamento. Seu tamanho varia de 14 a  $21\mu\text{m}$  (Figura 27).

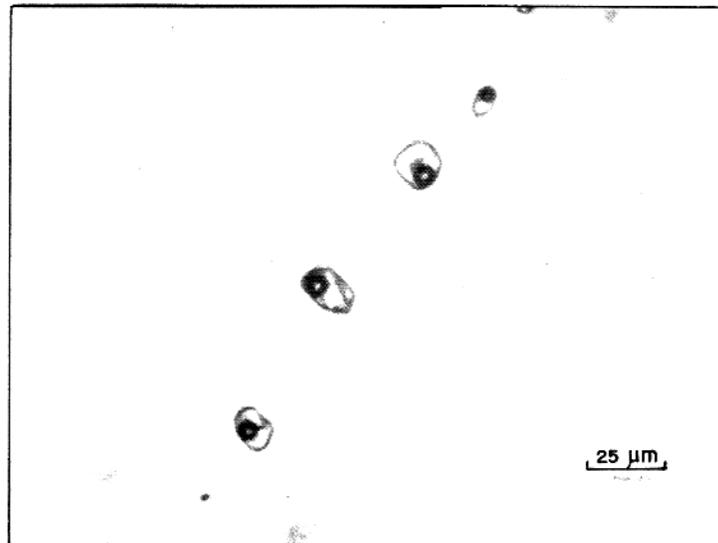


Figura 26 – Fotomicrografia de IF trifásicas (G+L+S) (Tipo 2) da Amostra GLA -02.

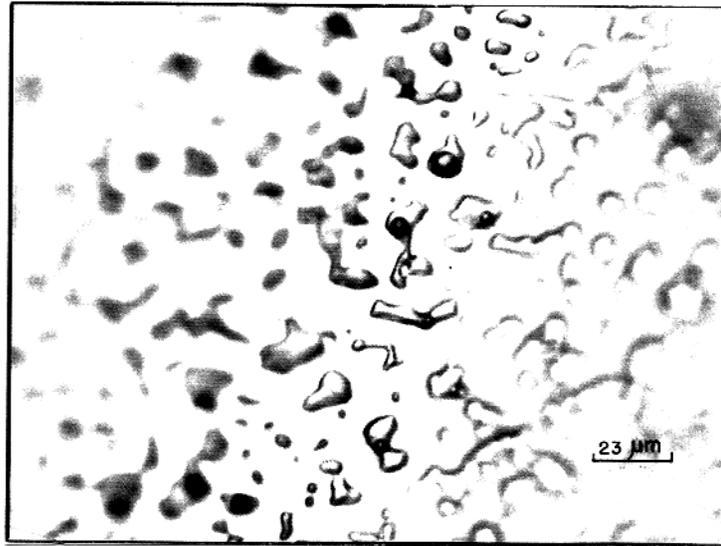


Figura 27 – Fotomicrografia de IF monofásicas (Tipo 4) e bifásicas (Tipo 3) da amostra GLA – 02.

#### 5.2.3.2– Microtermometria

Os dados microtermométricos referentes à amostra GLA - 02 são os seguintes (Tabela 4) :

##### **Inclusões aquo – carbônicas (Tipo 1)**

- **Fusão de CO<sub>2</sub> (Tf<sub>CO2</sub>)** – Nas inclusões aquo - carbônicas dos dois fragmentos analisados, obteve-se Tf<sub>CO2</sub> entre - 56,0 e -56,9° C (Figura 28), indicando tratar-se de um sistema carbônico quase puro. Entretanto, traços de N<sub>2</sub> foram detectados por espectroscopia micro Ramam nessas IF.

- **Homogeneização de CO<sub>2</sub> (Th<sub>CO2</sub>)** - A homogeneização de CO<sub>2</sub> efetuou-se no estado gasoso, a temperatura entre +8,1° e +14,8° C indicando uma densidade de 0,10 a 0,12 g/cm<sup>3</sup>.

- **Temperatura de Homogeneização Total (Th<sub>Tot</sub>)** – Não foi possível obter as Th<sub>Tot</sub> das IF multifásicas, devido a crepitação das mesmas ter ocorrido entre + 310 e + 407° C. Entretanto, foi possível observar o desaparecimento da bolha de vapor entre +294 e + 328° C e o da fase sólida cúbica (NaCl) entre + 320 e 376° C. As temperaturas de dissociação do NaCl fornecem uma estimativa da salinidade entre 38 a 45% em peso de NaCl, caso o sistema fosse puro (Figura 11).

##### **Inclusões Aquosas**

- **Temperatura de Fusão do Gelo (Tfg)** – Nas inclusões bifásicas (Tipo 3) foram obtidas Tfg entre - 0,7 e - 8,1° C (Figura 29), indicando salinidade de 1,23 a 11,81% em peso de

NaCl. As IF monofásicas revelaram  $T_{fg}$  de  $-1,1$  a  $-10,2^{\circ} C$  (Figura 30), indicando uma salinidade de 1,91 a 14,15% em peso de NaCl.

- **Temperatura de Homogeneização Total ( $Th_{Tot}$ )** - As  $Th_{Tot}$  das IF trifásicas situam-se entre  $+310,5$  e  $+321^{\circ} C$ , indicando uma salinidade de 38 - 40% em peso de NaCl, obtida usando-se as curvas de solubilidade de NaCl e KCl, segundo Shepherd et al. (1985) (Figura 11). O desaparecimento da fase vapor nessas IF foi observado entre  $+297,6$  e  $+308,4^{\circ} C$ .

As  $Th_{Tot}$  das inclusões bifásicas ocorrem entre  $+123,8$  e  $+150,9^{\circ} C$ .

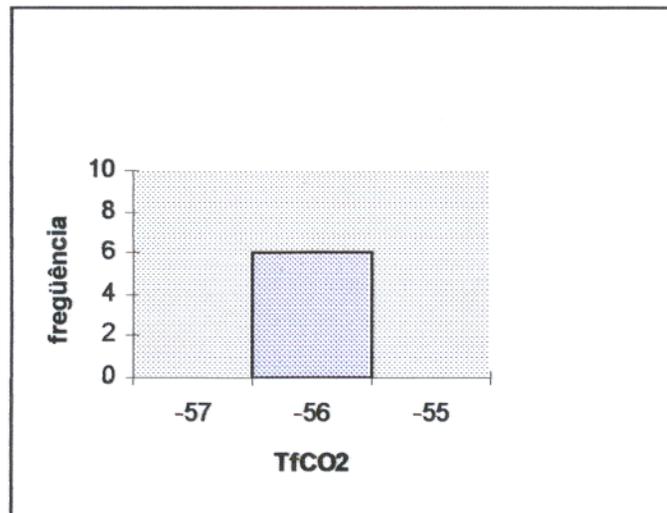


Figura 28: Histograma das temperaturas de fusão de CO<sub>2</sub> ( $T_{fCO_2}$ ) para IF aquo - carbônicas da amostra GLA -02.

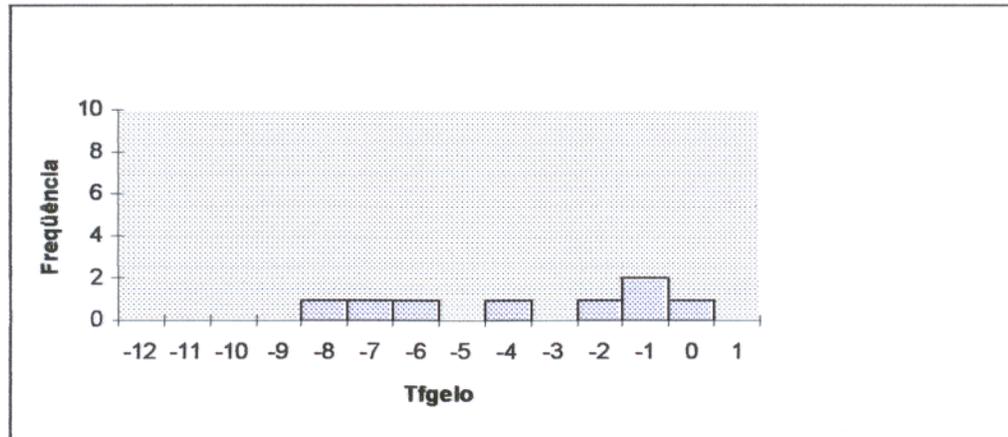


Figura 29 - Histograma das temperaturas de fusão do gelo (Tfg) para IF bifásicas (Tipo 3) da amostra GLA -02.

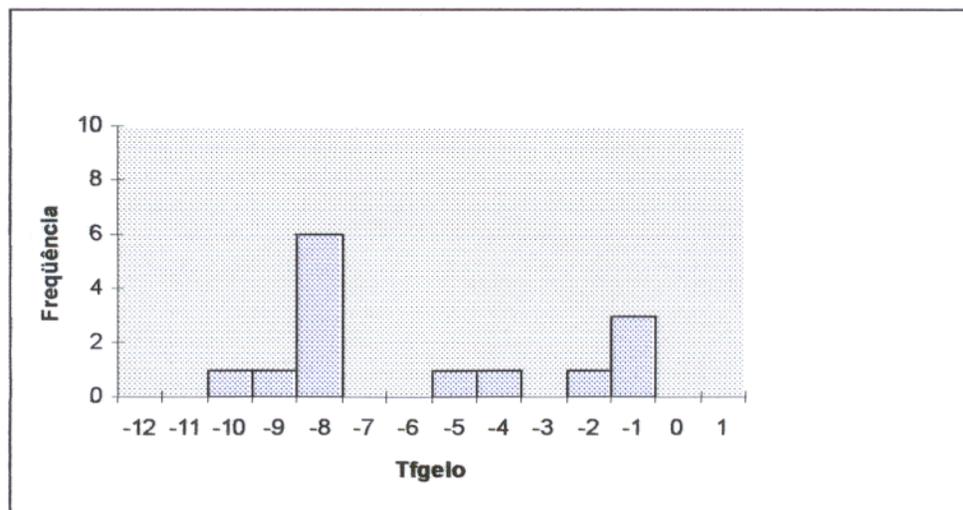


Figura 30: Histograma das temperaturas de fusão do gelo (Tfg) para as IF monofásicas da amostra GLA -02.

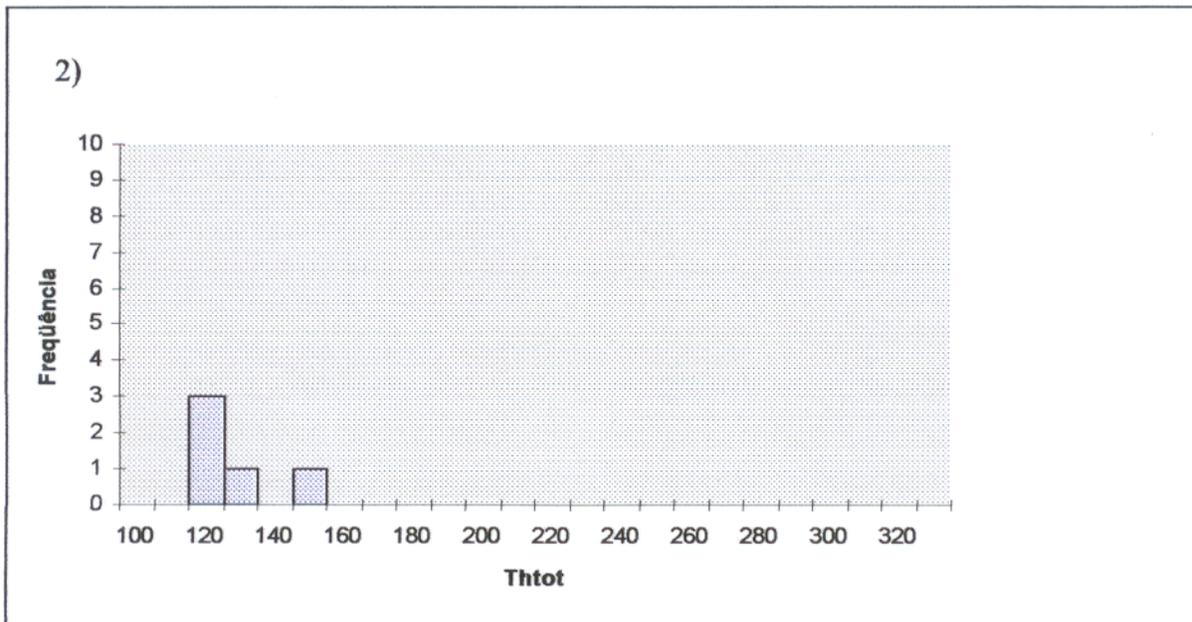
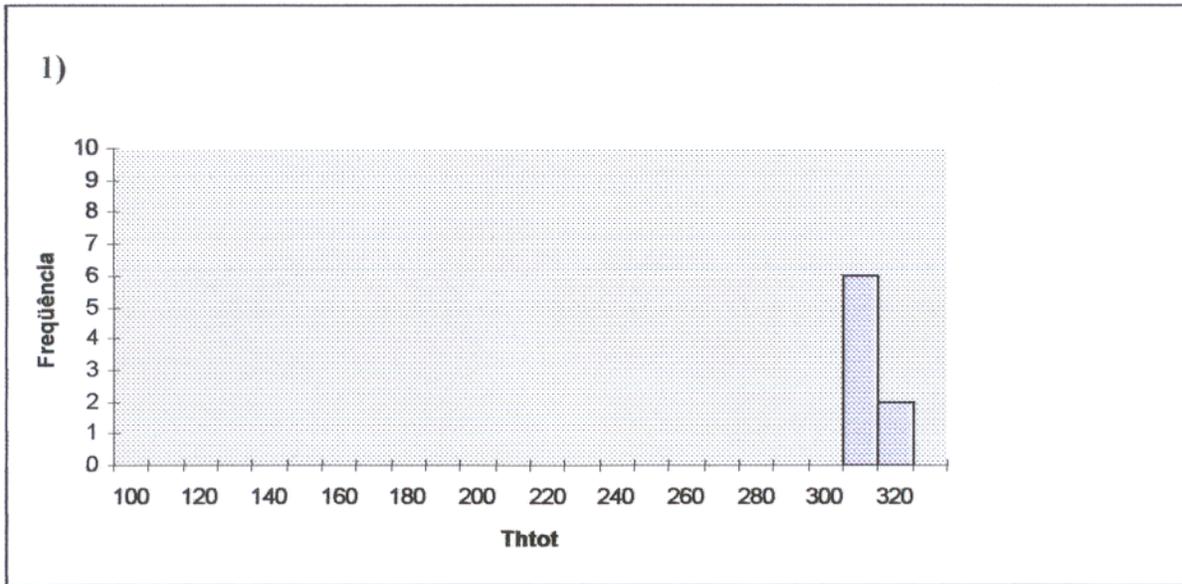


Figura 31 - Histogramas de temperaturas de homogeneização total  $Th_{tot}$  para IF 1) trifásicas e 2) bifásicas da Amostra GLA - 02.

Tabela 4: Dados microtermométricas referentes à amostra GLA – 02.

GLA-02	Nº de IF	Tf <sub>CO2</sub>	F	Th <sub>CO2</sub>	Th <sub>Tot</sub>	Tfg	Salinidade (% em peso NaCl)
Multifásica	6	-56,0 – 56,9° C	70-80%	+8,1 a + 14,8° C	-	-	38% - 45%
Trifásica	8	-	60-70%	-	+310,5 a +321° C	-	38% - 40%
Bifásica	8	-	20-60%	-	+123,8 a + 150,9	+0,7 a – 8,1° C	1.23 a 11.8%
Monofásica	14	-	-	-	-	-1,1 a – 10,2° C	1.91 a 14.15%

#### 5.2.4 – Amostra GLA - 05

Numa etapa anterior ao estudo das amostras GLA –14, GLA –02 e GLA –15 outras amostras do veio foram analisadas no laboratório de Inclusões fluidas da UFPa e os resultados analíticos obtidos para as IF aquo – carbônicas multifásicas serviram de base para os demais estudos realizados no Laboratório de Inclusões Fluidas (LIF) do CDTN. Portanto, as informações apresentadas a seguir foram extraídas dessas primeiras análises, e constituem dados complementares aos expostos acima.

##### 5.2.4.1 – Microscopia

Na amostra GLA – 05 (Figura 32) as IF multifásicas (fluido aquo – carbônico + 4 fases sólidas) são as mais abundantes. Estas ocorrem sob a forma de cristais negativos, alinhados e dispostos em planos sem orientação preferencial. Embora pareça ser secundárias, o fato dos planos nunca ultrapassarem os limites dos cristais hospedeiros e a sua orientação em relação ao eixo C do mineral ser desconhecida, essas IF foram consideradas pseudo- secundárias.

As quatro fases sólidas consistem em 2 fases cúbicas, sendo uma de volume pelo menos 4 vezes maior do que a outra, 1 fase arredondada de contorno irregular e alto relevo e 1 fase opaca, diminuta em forma de esquirola.

##### 5.2.4.2 – Microtermometria

- **Fusão de CO<sub>2</sub> (TfCO<sub>2</sub>)** - Os valores de TfCO<sub>2</sub> obtidos foram –56,8° C, indicando a presença de CO<sub>2</sub> praticamente puro.

- **Homogeneização de CO<sub>2</sub> (ThCO<sub>2</sub>)** - Os valores obtidos para Th CO<sub>2</sub>(v) foram de aproximadamente 29,5 a 30° C, o que indica uma densidade do CO<sub>2</sub> de 0,2 g/cm<sup>3</sup>.
- **Temperatura de Homogeneização Total (Th<sub>Tot</sub>)** – Não foi possível obter as Th<sub>Tot</sub>. No entanto, durante o aquecimento, em uma das IF analisadas, o cubo menor (KCl?) se dissolveu a + 60° C e o cubo maior (NaCl?) a + 299° C. A IF crepitou a + 490° C, antes do desaparecimento da bolha.

Os outros dois sólidos permaneceram inalterados. Pelo tamanho da bolha no momento da crepitação, estimou-se que seu desaparecimento ia ocorrer em torno de + 550° C.

Nas demais inclusões os resultados foram similares, observando-se que a crepitação se iniciou em torno de + 450° C. A dissolução dos cloretos de K e de Na, quando plotados no diagrama de fase H<sub>2</sub>O – NaCl – KCl Shepperd et al. (1985), indicou um teor de cerca de 15% em peso de KCl, de aproximadamente 38% em peso de NaCl e 47% em peso de H<sub>2</sub>O, considerando um sistema puro.

### 5.3 – DISCUSSÃO

A análise microtermométrica completa ou parcial de quatro lâminas representativas dos diferentes produtos constituintes do veio a cristal de rocha do “Garimpo da Lagoa” mostrou uma grande semelhança entre as amostras estudadas. Com base nesta constatação, foram estimadas suficientes as informações obtidas para se discutir as condições físico – químicas nas quais se formaram o quartzo leitoso e o cristal de rocha, e se tentar elaborar um modelo evolutivo para o corpo em questão.

A ausência de um zoneamento claramente expresso no veio e a distribuição desordenada dos bolsões de cristal de rocha, mostrando apenas uma leve tendência desses ocorrerem preferencialmente nas partes mais internas do filão, tornaram as análises petrográficas e microtermométricas particularmente importantes neste estudo.

A discussão e a interpretação do quadro hidrotermal representado pelo veio do “Garimpo da Lagoa”, provavelmente em muitos aspectos semelhante aos demais corpos filonianos a cristal de rocha da região de Xambioá, apoiaram –se portanto, em maior parte, nos resultados dessas análises.

Juntando todos os dados obtidos aparece claramente, em todas as amostras, a presença por um lado, de inclusões aquo –carbônicas bem desenvolvidas e por outro, de inclusões aquosas monofásicas até trifásicas.

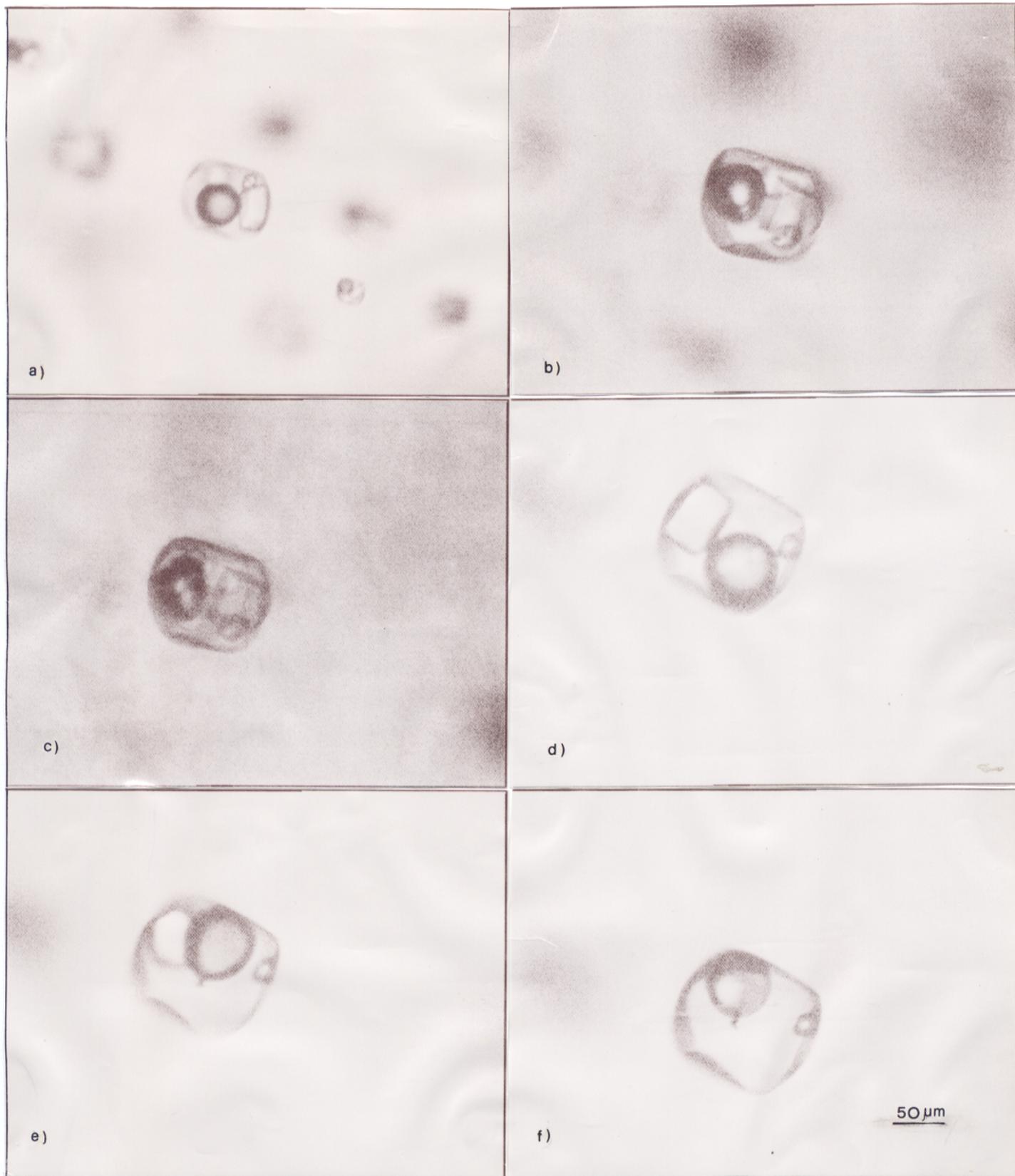


Figura 32: Seqüência de fotomicrografias mostrando as mudanças de fases observadas numa IF aquo-carbônica, da amostra GLA - 05, durante o ciclo de resfriamento e aquecimento. (a) IF aquo-carbônicas a temperatura ambiente; (b) durante o resfriamento, a  $-40^{\circ}\text{C}$ ; (c) congelamento a  $-90^{\circ}\text{C}$ ; notar a deformação da bolha de vapor; (d) durante o aquecimento, a  $+100^{\circ}\text{C}$ ; o cubo menor (KCl) se dissolveu a  $60^{\circ}\text{C}$ ; (e) a  $+180^{\circ}\text{C}$ ; (f) a  $+300^{\circ}\text{C}$ ; o cubo maior (NaCl?) se dissolveu a  $299^{\circ}\text{C}$ .

As inclusões sólidas são raras e localizadas, podendo apenas ser consideradas como elementos complementares neste estudo, principalmente devido às dificuldades de se obter, através da microtermometria, informações mais precisas sobre a composição das soluções aquosas.

### **5.3.1 – Inclusões fluidas aquo – carbônicas (Tipo 1)**

As inclusões fluidas aquo – carbônicas nas amostras GLA – 14, GLA – 02 e GLA – 05 mostraram comportamentos parecidos durante os testes de resfriamento e aquecimento revelando características muito similares.

#### **5.3.1.1 – Distribuição e Características Morfológicas:**

Via de regra, as inclusões aquo – carbônicas se distribuem ao longo de planos, cuja orientação em relação aos eixos cristalográficos do mineral hospedeiro não pôde ser determinada, por este se apresentar em cristais anédricos, o que dificultou sobremaneira a análise. Por outro lado, não foram reconhecidos nesses planos indícios de fraturas ou fissuras cicatrizadas. No entanto, as trilhas de inclusões fluidas aquo - carbônicas exibem uma extensão reduzida e não ultrapassam os limites dos cristais. Com base nessas observações, as inclusões foram identificadas como pseudo-secundárias.

Em termos morfológicos, as IF aquo - carbônicas apresentam formas de cristais negativos, com facetas comumente bem expressas. O seu tamanho varia de 20 até 300  $\mu\text{m}$  e grau de preenchimento (fase gasosa + fases sólidas) de 70 a 80 % do volume total da inclusão. Estas IF comportam até 4 fases sólidas, ou seja, dois cristais cúbicos (um maior de NaCl, o outro de KCl, um diminuto sólido sub-esférico opaco e uma fase sólida arredondada, de contorno irregular e alto relevo.

### 5.3.1.2 – Temperatura de Fusão de CO<sub>2</sub>

As  $T_{fCO_2}$  obtidas para as IF aquo – carbônicas de todas as amostras analisadas se limitam ao intervalo de temperatura entre  $-55,9$  e  $-56,9^\circ\text{C}$ . A temperatura de  $-56,8^\circ\text{C}$  foi a mais freqüente, indicando um valor muito próximo da  $T_{fCO_2}$  puro que é  $-56,6^\circ\text{C}$ . Com base nestes dados e em análises por espectrometria micro- Raman conclui-se que se trata de CO<sub>2</sub> quase puro, com apenas traços de N<sub>2</sub>.

### 5.3.1.3 – Temperatura de Homogeneização de CO<sub>2</sub>

A homogeneização de CO<sub>2</sub> ( $T_{hCO_2}$ ) em todas as amostras estudadas, ocorreu no estado gasoso. As temperaturas obtidas permitiram estimar a densidade deste componente em  $0,05$  a  $0,20\text{ g/cm}^3$ .

### 5.3.1.4 – Temperatura de Homogeneização Total

Os testes de aquecimento mostraram que é impossível obter a temperatura de homogeneização total ( $T_{tot}$ ) destas IF. A crepitação entre  $300^\circ$  e  $400^\circ\text{C}$  dificultou a visualização da homogeneização, principalmente nas IF de maior tamanho. Este fenômeno (crepitação) é comum em amostras com fluidos aquo - carbônico salinos devido ao aumento da pressão interna das IF que podem atingir vários Kbar, ultrapassando a resistência do mineral hospedeiro (Shepherd et al. 1985). No entanto, com base no tamanho da bolha de vapor estimou-se que a temperatura de homogeneização total devia se situar entre  $550$  e  $600^\circ\text{C}$ .

As condições acima definidas permitem inferir uma pressão de formação da ordem de  $200$  a  $400$  bars, projetando a temperatura de homogeneização total de  $550 - 600^\circ\text{C}$  sobre a isócora de  $0,2\text{ g/cm}^3$  de CO<sub>2</sub> (Roedder, 1984). Tal estimativa é, no entanto, muito aproximado pois o sistema presente é mais complexo do que o sistema NaCl – KCl – H<sub>2</sub>O, fato apontado pela existência de duas fases sólidas desconhecidas e pela presença de CO<sub>2</sub>.

Mesmo não sendo possível observar a homogeneização total foi constatado que, durante o aquecimento, a homogeneização ocorre de dois modos diferentes. No primeiro caso a homogeneização começa pela dissolução do cristal de KCl a  $+60^\circ\text{C}$  e/ou NaCl entre  $+353$  e  $+376^\circ\text{C}$ , permanecendo nas IF, até a crepitação, as fases gasosa, líquida, as vezes uma fase sólida arredondada e o pequeno sólido opaco. No segundo caso, a homogeneização se inicia com o desaparecimento da fase vapor entre  $+318$  e  $+340^\circ\text{C}$  restando as fases líquidas e sólidas.

### 5.3.2 – Inclusões Aquosas

Inclusões aquosas foram identificadas em todas as amostras estudadas (GLA – 14, GLA – 02, GLA –15 e GLA- 05). A temperatura ambiente tratam-se sobretudo de IF bifásicas e monofásicas, sendo as trifásicas muito mais raras.

#### 5.3.2.1 – Inclusões aquosas trifásicas

Estas IF apresentam morfologia de cristais negativos a irregular, tamanho de 9 a 30  $\mu\text{m}$  e grau de preenchimento (fase gasosa + fase sólida) em torno de 20 a 70% do volume total da inclusão. Distribuem-se segundo planos de fraturas cicatrizadas, com características similar às das IF secundárias. A fase sólida é representada por um cristal cúbico de halita.

As inclusões aquosas trifásicas revelaram salinidade elevada (30 a 40% em peso de NaCl) e uma temperatura mínima de aprisionamento do fluido de cerca de + 182 a + 321° C.

#### 5.3.2.2 – Inclusões aquosas bifásicas

Dois tipos de IF aquosas bifásicas foram identificados no veio do Garimpo da Lagoa: 1) inclusões de salinidade elevada e 2) inclusões de salinidade baixa

##### 1) Inclusões aquosas bifásicas de salinidade elevada

As IF aquosas bifásicas de salinidade elevada (20 a 25% em peso de NaCl ) foram divididas em dois subtipos conforme sua morfologia e temperatura de fusão do gelo (T<sub>fg</sub>). As inclusões do subtipo (a), de morfologia em cristais negativos a irregular, com tamanho de 5 a 21 $\mu\text{m}$ , e com a fase de vapor ocupando cerca de 20% do volume da inclusão, estão dispostas ao longo de trilhas e são de caráter secundário. Por sua vez, as inclusões do subtipo (b), apresentam morfologia alongada e mais irregular e tamanho de 7 a 140  $\mu\text{m}$ . Essas inclusões nas quais a fase vapor ocupa cerca de 10% do volume total são de natureza secundária.

As (T<sub>htot</sub>) se distribuem igualmente em duas faixas de valores, que sublinham a existência dos dois já citados subtipos. O subtipo (a) revelou temperatura mínima de aprisionamento entre +130 e + 210° C com uma frequência maior em +160° C, enquanto que as IF do subtipo (b) mostraram valores entre + 65 e + 115° C, com maior frequência em + 70° C.

##### 2) Inclusões aquosas bifásicas de salinidade baixa

Estas IF exibem morfologia irregular e tamanho de 7 a 49 $\mu\text{m}$  enquanto a fase vapor ocupa de 20 a 60 % do volume da inclusão. Estas inclusões dispõem-se em largas trilhas, em meio as IF monofásicas e de origem secundária.

As inclusões aquosas bifásicas de salinidade baixa (1,23 a 11,81% em peso de NaCl) mostraram temperaturas mínimas de aprisionamento entre + 123,8 e + 150,9° C.

### 5.3.2.3 – Inclusões aquosas monofásicas

As IF monofásicas são composta exclusivamente de uma fase líquida. Apresentam morfologia irregular, tamanho de 3 a 15µm e distribuem-se desordenadamente em largas trilhas, sendo de natureza secundária.

A sua salinidade varia de 1,91% a 18,22% em peso de NaCl .

### 5.3.3 – Inclusões Sólidas

Localmente foram encontradas algumas fases sólidas tais como: oólito de calcita ou de clorita (?), hematita e outros minerais opacos não identificados.

Tabela 05 - Dados microtermométricos referentes as IF presentes no veio de quartzo a cristal de rocha do Garimpo da Lagoa

	Inclusões fluidas aquo carbônicas	Inclusões fluidas aquosas				
		trifásica	bifásica			monofásica
			(a)	(b)	(c)*	
<b>F</b>	70 – 80%	20 – 70%	20%	10%	20 – 60%	-
<b>Tf<sub>CO2</sub></b>	-55,9 à -56,9°C	-	-	-	-	-
<b>Tfg</b>	-	-	-21,2 – -21,7°C	-17,4 – -23,6°C	+0,7 – -8,1°C	-14,5 – -1,1°C
<b>TH<sub>CO2</sub></b>	+1,5 à + 14,8°C	-	-	-	-	-
<b>D<sub>CO2</sub></b>	0.05 – 0.20 g/cm <sup>3</sup>	-	-	-	-	-
<b>TH<sub>tot</sub></b>	-	+182 – + 321°C	+130 – + 208,5°C	+65,5 – + 114,5°C	+123,8 – +150,9°C	-
<b>Salinidade</b>	38 – 45%	30 – 40%	23%	20-25%	1.23 – 11.8%	1.91– 18.22%

(c)\* IF aquosas bifásicas de salinidade baixa.

#### 5.4 - INTERPRETAÇÃO GENÉTICA DOS VEIOS A CRISTAL DE ROCHA

O veio do Garimpo da Lagoa é bem representativo dos veios de quartzo a cristal de rocha da região de Xambioá. Apresenta uma orientação submeridiana e uma espessura de até 5 m. Trata-se de um veio maciço que não exhibe zoneamento claramente expresso. É constituído de quartzo leitoso contendo, preferencialmente nas suas porções mais internas, porém nem sempre, bolsões irregulares de quartzo hialino dito cristal de rocha.

O contato entre o quartzo leitoso e o cristal de rocha é relativamente brusco a difuso, enquanto que o do veio com a rocha encaixante (biotita - xisto) é bem nítido. Na zona de contato, não foram detectados sinais de milonitização ou de outro tipo de deformação e nenhum indício significativo de alteração hidrotermal foi encontrado. O grau de alteração intempélica do xisto encaixante dificulta a observação, porém Collyer (1999), estudando outros veios da região de Xambioá, notou o caráter incipiente das transformações mineralógicas ao contato com os filões. Estes fatos sugerem fortemente que o fraturamento que deu lugar à formação do veio foi de natureza essencialmente distensiva.

As feições macroscópicas internas observadas mais comumente no veio do Garimpo da Lagoa são fissuras cicatrizadas.

As denominações quartzo leitoso e cristal de rocha são apenas descritivas e não têm caráter científico nem correspondem a uma classificação mineralógica. Referem-se essencialmente à quantidade de impurezas, sobretudo de inclusões fluidas, contidas no quartzo, não implicando aspectos genéticos. Embora, macroscopicamente seja possível caracterizar e distinguir os dois tipos de quartzo, utilizando a classificação dos garimpeiros e negociantes de cristal de rocha (Abreu, 1973) ou a nomenclatura comum usada pelos geólogos no campo, microscopicamente o quadro aparece muito mais complexo. Com efeito, são observados dois casos extremos, ou seja, por um lado, o quartzo hialino com poucas IF, exclusivamente aquo - carbônicas supersaturadas, que correspondem normalmente ao cristal de rocha de boa qualidade, e por outro, o quartzo leitoso contendo exclusivamente e geralmente em quantidade significativa, IF aquosas bifásicas e monofásicas. Tal fato nunca se observa no chamado cristal de rocha.

Entre esses termos extremos pode ser observada a associação, em diferentes proporções, de IF de salinidade e temperatura altas com IF de salinidade elevada a baixa e temperatura média a baixa.

Quando contém relativamente poucas IF, o quartzo mantém o seu caráter hialino e pode ser definido como cristal de rocha. No entanto, neste caso, sempre estão presentes, mesmo que discretamente, IF aquo - carbônicas supersaturadas de alta temperatura. Nas porções do veio onde, em presença ou não de IF aquo- carbônicas, ocorrem abundantes IF aquosas supersaturadas ou não de temperatura alta a baixa, o quartzo é apenas translúcido e exibe o carácter dito leitoso.

Macroscopicamente, apesar da ausência de um verdadeiro zoneamento, percebem-se facilmente as diferenças entre os dois tipos de quartzo, porém trata-se de uma avaliação apenas grosseira, à escala da amostra de mão ou do afloramento. O exame ao microscópio mostra, por sua vez, um quadro de tal complexidade que a distribuição dos diversos tipos de quartzo e as relações entre eles não podem ser determinadas com precisão. Observa-se apenas que o veio é um sistema comportando múltiplas gerações de quartzo, preenchendo fissuras e fraturas no quartzo original e distinguíveis sobretudo pela natureza e a abundância das IF.

O quadro geral apresentado pelos dados microtermométricos, sintetizados na Tabela 5, e pela distribuição das IF sugere que o processo hidrotermal responsável pela formação do veio consistiu em várias etapas bem definidas, embora seja efetivamente impossível determinar com precisão o número de pulsos. Em ausência de argumentos contrários e considerando o caráter pseudo- secundário (primário ?) das IF multifásicas e de alta salinidade, bem como a natureza francamente secundária das IF aquosas supersaturadas ou não saturadas, de temperatura e, na maioria dos casos, de salinidade mais baixas que as primeiras; pode-se afirmar que o processo iniciou-se com a injeção de soluções de alta temperatura (entre aproximadamente + 550° e + 600° C). A natureza aquo - carbônica das IF desses fluidos precoces sugere fortemente tratar-se de soluções de origem metamórfica profunda, podendo o carbono provir de rochas carbonáticas existentes na área ou, mais provavelmente, xistos grafitosos, abundantes na região (Crawford & Hollister, 1996). A alta temperatura marcaria o auge do evento metamórfico. A alta salinidade, no entanto, indica ter havido, já nesta fase inicial, forte influência de fluidos de origem magmática (granítica).

As IF aquosas saturadas acusando uma temperatura mais baixa (+ 180° a +320° C) porém uma salinidade ainda muito elevada, corresponderiam a soluções algo mais tardias, de origem exclusivamente magmática já em processo de resfriamento.

Por sua vez, as IF aquosas secundárias não saturadas de salinidade elevada a baixa e de temperatura média a baixa (de 210°C até bem abaixo de 100°C), correspondem a fluidos injetados

posteriormente e indicam dois caminhos na evolução dos fluidos hidrotermais. Por um lado, fluidos com salinidade possivelmente constante (entre 20 e 25% em peso de NaCl), porém mostrando uma progressiva diminuição de temperatura, de 210° C a 65° C, sugerem apenas um resfriamento gradativo do sistema original, provavelmente dominado por fluidos de origem magmática e contando com fraca contribuição de outras soluções. Por outro, fluidos de salinidade média/alta a baixa (18,11 a 1,23% em peso de NaCl) e temperaturas baixas, com tendência mal definido, indicam que, ao contrário do caso anterior, houve eventual injeção de soluções hidrotermais altamente modificadas composicionalmente em relação às mais precoces devido à participação mais ou menos significativa de águas mais rasas (meteóricas, conatas ou metamórfica de pouca profundidade) no processo. Embora não se possa reconstituir com total segurança a sucessão de formação das IF secundárias, é mais provável que o resfriamento e a diminuição da salinidade tenham ocorrido na seguinte ordem:

**(1) de cerca de + 550° a + 600° C**

**Soluções aquo - carbônicas (38 - 45 % em peso de NaCl)**

**De origem metamórfica**



**(2) + 180° a + 320° C**

**Soluções aquosas supersaturadas (30 - 40 % em peso de NaCl)**

**De origem magmática**



**(3)**

**Soluções aquosas não saturadas (bifásicas)**

**Resfriamento progressivo**

**Com nenhuma ou pouca contaminação.**

**Com mistura de fluidos de baixa salinidade.**



**(3a)**

**(3c)**

**+ 130° a + 210° C**

**+ 120° a + 150° C**

**(cerca de 23 % em peso de NaCl)**

**(1,23 a 11,81% em peso de NaCl)**

<p>↓</p> <p><b>(3b)</b></p> <p><b>+ 115° a + 65° C</b></p> <p><b>(20 - 25 % em peso de NaCl)</b></p>	<p>↓</p> <p><b>(4)</b></p> <p><b>Solução aquosa monofásica</b></p> <p><b>(1,91 – 18,22 % em peso de NaCl)</b></p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Em termos gerais, de acordo com o esquema acima, teria havido portanto um resfriamento progressivo e uma diminuição da salinidade, a medida que a influência das soluções mais superficiais ia aumentando.

A integração dos dados microtermométricos com os relativos às variações composicionais do veio de quartzo leva à constatação de que o quartzo hialino, caracterizado fundamentalmente pela presença restrita de IF aquo - carbônicas supersaturadas e de alta temperatura, foi o primeiro a precipitar, formando, naquela fase precoce, um corpo filoniano de dimensões próximas das atuais.

Acredita-se, portanto, que o veio foi basicamente produto de hidrotermalismo de origem metamórfica profunda e magmática, fato sublinhado pelos altos teores de Na e K nos fluidos. As etapas subsequentes da sua evolução, consistiram em fraturamentos e fissuramentos sucessivos, provocados por reativações tectônicas tardias, que favoreceram a mobilização e percolação de soluções mais rasas, de temperatura e salinidade mais baixas.

Consequentemente, durante toda esta segunda parte do processo hidrotermal, em várias fases, o veio de quartzo hialino original sofreu transformações mais ou menos acentuadas devido à injeção de fluidos tardios em inúmeras fissuras e fraturas, à cicatrização dessas e à deformação das IF geradas em fases anteriores, etc. Assim, nas zonas que sofreram maior obliteração das feições originais, o quartzo perdeu o seu caracter hialino, transformando-se em quartzo leitoso de grau variável de translucidez.

As zonas, que foram pouco ou não afetadas pelas transformações supracitadas permaneceram hialinas, sendo essas porções reliquiares do veio original volumetricamente subordinadas, denominadas cristal de rocha. No entanto, mesmo assim, a própria nomenclatura comercial deste produto mostra claramente que trata-se de um material apresentando variações marcantes.

Diante do quadro exposto acima, propõe-se para o veio do Garimpo da Lagoa uma evolução coerente com o modelo apresentado por Collyer (1999) para outros sistemas de veios presentes na área de Xambioá - São Geraldo do Araguaia.

Durante o ciclo Brasileiro, a evolução do Cinturão Araguaia foi marcada por três fases principais. Na primeira fase formou-se uma bacia alongada de tipo rift, enquanto que a segunda caracterizou-se por movimentos compressivos e deslocamento de massas rochosas. Nesta segunda fase, as rochas sedimentares e vulcânicas depositadas na bacia foram submetidas a metamorfismo na facies xisto verde alta a anfibólito (Dall'Agnol et al. 1988). A fusão parcial do embasamento e/ou das rochas supracrustais levou a geração de corpos granitóides intrusivos na porção oriental do Cinturão Araguaia (Dall'Agnol et al. 1988).

A terceira fase, dominada por movimentos distensivos de alívio de pressão, manifestou-se sob a forma de intenso fraturamento e reativação de fraturas preexistentes, e resultou em formação de feixes de veios submeridianos, marcando assim o final da evolução do Cinturão Araguaia (Collyer, 1999). Foi provavelmente durante esta última fase da evolução pré - cambriana do cinturão que o veio de quartzo a cristal de rocha do Garimpo da Lagoa se formou, concomitantemente com demais veios hidrotermais contendo cristal de rocha ou não (Collyer, 1999).

## 6.0 -ESTUDO GEMOLÓGICO

### 6.1 – GENERALIDADES

O quartzo não é simplesmente um mineral formador de rochas, como também, é amplamente difundido como gema e pedra ornamental (Schumann, 1985).

Faz parte do grupo do quartzo o cristal de rocha (quartzo hialino) que vem recebendo esta denominação desde a antigüidade quando se acreditava que o cristal de rocha era um gelo eterno.

O cristal de rocha goza de propriedades piezo-életrica<sup>1</sup> e piro-életrica<sup>2</sup>, o que o torna de grande interesse para a indústria. A propriedade piezo-életrica, observada por Haüy, no final do século XVIII permaneceu no domínio teórico até que P. Langevin, durante a I Guerra Mundial, em Paris, usou placas de quartzo para emissão e detecção de ondas sonoras dentro do mar, em aparelhos para assinalar a presença de submarinos (Abreu,1973). Outra aplicação prática desta propriedade é o controle e a estabilização da frequência nos aparelhos de transmissão e recepção de rádio. Esta utilização foi de prima importância durante a II Guerra Mundial quando houve uma enorme demanda de receptores e transmissores para navios, aviões, tanques e postos de observação.

As diversas aplicações do cristal de rocha na eletrônica levaram A. E. Miller a afirmar o seguinte: “ atualmente vivemos num mundo controlado por cristais de quartzo” (Abreu,1973). Esta afirmação, no entanto, não faz muito sentido hoje, uma vez que, com o avanço tecnológico, devido à substituição do quartzo por peças eletrônicas e por cristais artificiais, o cristal de rocha encontra-se em uma situação pouco privilegiada .

Para servir na indústria das telecomunicações é indispensável que o cristal tenha um grau de pureza elevado, seja livre de quaisquer inclusões ou geminações e que se possa localizar o seu eixo óptico.

### 6.2 – CLASSIFICAÇÃO E USO DO CRISTAL DE ROCHA DA REGIÃO DE XAMBIOÁ.

Embora existam classificações mais detalhadas para o cristal de rocha na literatura (Tabela 06), os garimpeiros e negociantes que atuam na região enfocada utilizam a seguinte nomenclatura:

- Cristal limpo a olho nu ou cristal de primeira;

---

1 - Piezo - eletricidade: consiste na geração de cargas elétricas através de esforço mecânico

2 - Piro – elétrica: consiste na geração de cargas elétricas através de aquecimento.

- Cristal semi – limpo ou cristal china (nome mais conhecido pelos compradores desse tipo de cristal no Rio de Janeiro);
- Cristal transparente, que se subdivide em: fraco, bom e extra e
- Lasca de 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup>.

Tabela (06): Classificação do cristal de rocha segundo a literatura (Abreu, 1973).

Tipos de cristais	Descrição
<b>A_</b>	Cristal límpido que encerra 65 a 100% de material aproveitável para fins piezo-elétricos
<b>B</b>	Cristal hialino ou levemente colorido com 60% de material aproveitável, e tolerância de algumas bolhas, agulhas e fantasmas
<b>C</b>	Cristal hialino incolor ou colorido com mais de 40% geminados
<b>lascas_</b>	São fragmentos de cristais irregulares, pesando menos de 200 gr; classificados em lasca de 1 <sup>a</sup> , 2 <sup>a</sup> e mista *, de acordo com o grau de pureza do cristal que as constituem

\*As lascas mistas são constituídas de partes de lascas de 1<sup>a</sup> e de 2<sup>a</sup>.

O cristal limpo a olho nu ou cristal de primeira corresponderia ao tipo A da tabela anterior. É límpido, aproveitável para fins piezo-elétricos e gemológicos. O cristal semi – limpo ou cristal china, apesar de ser hialino, apresenta algumas inclusões sólidas/fluidas visíveis. O mesmo corresponderia ao tipo B descrito na tabela anterior.

O cristal transparente é semi – hialino e se destina ao artesanato mineral. Corresponde ao tipo C da tabela (06).

### 6.3 – VALOR COMERCIALIZADO

Os preços do cristal de rocha comercializado na região de Xambioá foram obtidos através de informações verbais dadas por alguns comerciantes que se dispuseram a ajudar a determinar com maior precisão possível os valores reais de mercado. Com efeito, o levantamento de tais dados se depara com certos obstáculos como a relutância de alguns comerciantes e/ou garimpeiros em fornecer informações mais seguras; impedindo que se obtenha uma visão mais precisa do mercado.

Para simplificar, montou-se uma tabela de preços do cristal de rocha para peças a partir de 200 gr (Tabela 07). Preços de fragmentos de peso inferior a 200 g não foram obtidos, uma vez que os mesmos oscilam muito. O valor do cristal de rocha comercializado em Xambioá está acima do valor estipulado pelo guia de preços do DNPM. Entretanto, o preço da lasca sugerido pelo DNPM é superior ao praticado nesta região.

O material denominado “lasca” serve de matéria – prima na fabricação do quartzo sintético e consiste em fragmentos de cristal de rocha exibindo grau variável de imperfeições e impureza. Este material atinge o valor de 3,00 dólares o quilo quando se trata de lasca de primeira.

Referente ao cristal de tipo semi – limpo, tanto o valor de compra como o de venda, equívalem a 1/3 do valor estimado para o cristal do tipo “limpo a olho nu”, mostrado na tabela anterior.

Quanto ao cristal de tipo transparente, que é geralmente destinado ao artesanato mineral como confecção de bolas, pirâmides e pontas (facetas do cristal polidas), seu valor no mercado varia conforme sua classificação e seu peso (Tabela 08).

O preço das bolas semi – limpas, ou seja, sem polimento, que são produzidas pelo artesão local, é R\$ 40, 00 / quilo não sendo considerado o custo da mão de obra que é de R\$ 25,00/ quilo (Figura 33).

É preciso levar em conta que os preços fornecidos neste trabalho sofrem variações significativas, pois dependem de uma série de fatores que determinam o seu grau de aproveitamento como, por exemplo, o tamanho e a pureza do cristal de rocha.

#### 6.4 – APROVEITAMENTO DO CRISTAL DE ROCHA

Neste trabalho procurou-se definir melhor as maneiras de aproveitar economicamente o cristal de rocha nesta região do Estado de Tocantins, onde se encontram muitas ocorrências deste bem mineral e atividade garimpeira.

Na região, apesar da extração de cristal de rocha ser antiga, praticamente não existe mão de obra local especializada para o aproveitamento econômico deste produto. Pôde-se constatar a presença de apenas um único artesão na região de Xambioá, este já em via de mudança para Palmas, utilizando cristais de quartzo hialino para a fabricação de bolas de cristais, chaveiros, pedras lapidadas e pirâmides. Este artesão vende sua produção para alguns comerciantes locais,

bem como em Belo Horizonte, São Paulo e Goiânia. A única loja que comercializa pedras brutas e lapidadas existentes em Xambioá atende a alguns poucos negociantes locais, turistas de passagem pela região e compradores de cristais de outros estados da Federação (Figura 34).

Um outro tipo de aproveitamento do cristal de rocha consiste na sua utilização para a fabricação do cristal sintético. Fábricas brasileiras como a ABC X TAL compram boa parte da produção da lasca de terceira e do quartzo leitoso para extração de Si metal, e pagam R\$ 45,00 reais pela tonelada do produto aos comerciantes locais. Vale ressaltar que a lasca de primeira da região de Xambioá, segundo alguns compradores, não serve para a fabricação do cristal sintético, devido à presença de óxido de Fe.



Figura 33- Bolas de cristal de rocha, antes do polimento produzidas pelo artesão de Xambioá.

Os compradores de cristal de rocha percorrem a região periodicamente, geralmente a cada seis meses e compram quase toda a produção, de preferência cristais brutos que em seguida serão lapidados nos grandes centros de compra e venda de gemas, como Governador Valadares em Minas Gerais.

Tabela (07): Tabela de preço para o cristal de rocha em peças de peso superior a 200 gr.

Cristal de rocha		Preço de Compra (em Dólar)	Preço de Venda (em Dólar)
Tipo	Peso		
Cristal limpo a olho nu	200 a 300 gr	3,00	5,00
Cristal limpo a olho nu	300 a 500 gr	5,00	9,00
Cristal limpo a olho nu	500 a 700 gr	10,00	15,00
Cristal limpo a olho nu	700 gr a 1 kg	15,00	22,00
Cristal limpo a olho nu	1 a 2 kg	40,00	60,00
Cristal limpo a olho nu	2 a 3 kg	50,00	70,00
Cristal limpo a olho nu	3 a 5 kg	100,00	150,00
Cristal limpo a olho nu	5 a 7 kg	150,00 o preço do kg	250,00 o preço do kg
Cristal limpo a olho nu	7 a 10 kg	250,00 o preço do kg	400,00 o preço do kg
Cristal limpo a olho nu	10 a 20 kg	400,00 o preço do kg	600,00 o preço do kg

Tabela 08 – Tabela de preço para o cristal transparente.

<b>Cristal transparente</b>	<b>Valor em Dólar / quilo</b>
Fraco	1,00 a 1,50
Bom	3,00
Extra	5,00

Atualmente, os grandes cristaleiros de todo o Brasil estão comprando cristais brasileiros vendidos previamente a países como os E.U.A e a Alemanha, sob a alegação de que o preço desses cristais no mercado exterior, é mais baixo que o preço do produto comercializado no Brasil. Esses cristais, segundo informações verbais, são lapidados no exterior por equipes de profissionais brasileiros, que os vendem em países como a China (Hong – Kong), Japão e a França.



Figura 34 - Cristal de rocha na forma de cristais brutos, de bolas, de pedras lapidadas, etc. a venda no comércio de Xambioá.

## 6.5 – MÉTODOS DE LAVRA

A lavra do quartzo na região de Xambioá é feita em catas a céu aberto que chegam a atingir 10 metros de profundidade, com acesso por meio de escada e/ou degraus (Figura 35 e 36). Os métodos são os mais rudimentares, não existindo nenhum processo de mecanização para o desmonte do minério que é manual.

O transporte do minério, principalmente da lasca de terceira e do quartzo leitoso, para os grandes centros industriais é feito por caminhões e/ou caminhonetes particulares, o que aumenta os custos de produção. Tal fato resultaria em preços mais elevados, não fosse a mão de obra barata.

Em todos os depósitos de cristal de rocha na região de Xambioá, observa-se que a proporção de material aproveitável em relação ao quartzo presente é pequena. Mesmo não sendo possível quantificar esta proporção a grande quantidade de rejeitos aponta este fato. Na área do antigo Garimpo da Lagoa, constata-se a presença de pequenos morrotes, já encobertos pela vegetação, constituídos em sua totalidade por rejeitos deixados durante o período de maior atividade garimpeira em busca de cristal de rocha.

Paul Kerr calculou que a relação do quartzo utilizável para fins piezo-elétricos era de 4.000 cristais rejeitados para 1 aproveitável (Abreu, 1973).



Figura 35 – Cata a céu aberto à margem da rodovia TO – 386, próximo ao Garimpo da Lagoa.



Figura 36 – Ferramentas utilizadas pelos garimpeiros na extração do cristal de rocha.

#### 6.6 – ASPECTOS SOCIAIS

Durante o desenvolvimento deste trabalho não foi possível obter maiores informações no que tange ao aspecto social dos cristaleiros da região de Xambioá. No entanto, em conversas com garimpeiros de regiões próximas de Xambioá (por exemplo, em Araguaci) foi possível constatar a precariedade em que vive a maioria desses trabalhadores e os métodos empregados na lavra do quartzo.

Alguns se isolam durante meses em locais quase inacessíveis no meio da mata, retrabalhando rejeitos de antigas catas, na procura da lasca de 1<sup>a</sup>. A produção é, na maioria das vezes, vendida para algum intermediário a preço irrisório e/ou trocada por alimentos. A própria população da Vila de Araguaci, (município de Araguañã) vive em parte da coleta de fragmentos de cristais hialinos encontrados na própria Vila de Araguaci e nos seus arredores.

Para exemplificar, um garimpeiro depois de seis meses de trabalho árduo ganhou R\$10,00 com a venda de uma peça de cristal de quartzo hialino.

Outros trabalham em grupo, usando o sistema de percentagem. O percentual equivalente a 5% sobre o apurado em cada dispesca, realizada na frente de lavra, é dividido entre os membros do grupo. Sendo-lhe cedidos apenas os maquinários por parte do proprietário do garimpo. Os gastos com alimentação e combustível ficam por conta dos próprios garimpeiros.

Os poucos garimpeiros encontrados na região de Xambioá não têm moradia no local de trabalho, pois as catas se situam nas proximidades da cidade, onde possuem residência fixa.

Chegam apenas a construir um pequeno abrigo feito de palha para breve descanso e/ou para guardar seus objetos de uso pessoal.

Contam os antigos garimpeiros que com “uma pedra de cristal de rocha de 1 kg do tipo A (passada no polaróide) dava para comprar 5 vacas, enquanto hoje, precisaria de 5 pedras de 1 kg cada para comprar uma vaca”.

## 7.0 - CONCLUSÃO

1- O veio a cristal de rocha do Garimpo da Lagoa encontra-se hospedado em biotitaxistos da Formação Xambioá, Grupo Estrondo, apresentando orientação submeridiana e até 5 m de espessura. É maciço e não exhibe zoneamento. Compõe-se de quartzo leitoso a translúcido acinzentado e contém bolsões irregulares de quartzo hialino ou cristal de rocha preferencialmente em suas porções mais internas.

2 - Acredita-se que, de mesmo modo que muitos veios hidrotermais da região de Xambioá - São Geraldo do Araguaia, o veio do Garimpo da Lagoa formou-se no Proterozóico Superior durante a fase final do ciclo Brasileiro, em regime distensivo de alívio de pressão e intenso fraturamento que sucedeu à fase compressiva responsável pelo metamorfismo regional e o magmatismo granítico que afetaram o Cinturão Araguaia.

3 - De acordo com os estudos petrográfico e microtermométrico, os primeiros fluidos geradores do veio foram soluções de composição aquo - carbônica com salinidade e temperatura elevadas, provavelmente originadas pelo metamorfismo profundo, porém já mostrando forte influência de fluidos de origem magmática.

4 - Foram injetados, subsequentemente, soluções hidrotermais aquosas de salinidade elevada a baixa e de temperatura média (+210°C) a baixa. Após forte predominância da contribuição magmática na geração dos fluidos, a influência de águas mais superficiais (meteóricas, conatas ou metamórficas rasas) foi aumentando, enquanto o sistema hidrotermal, como um todo, sofria resfriamento. Assim, o final do processo foi marcado pela injeção de soluções via de regra de baixa temperatura, porém de salinidade ainda bastante elevada a muito baixa.

5 - No Garimpo da Lagoa, ter-se-ia formado inicialmente um veio de quartzo hialino, produto do hidrotermalismo de alta temperatura resultante do metamorfismo regional no seu paroxismo e do conseqüente magmatismo granítico. Durante as etapas seguintes da sua evolução, o veio sofreu transformações mais ou menos acentuadas, causadas por fraturamentos sucessivos e injeção de soluções mostrando uma progressiva diminuição da temperatura e, eventualmente, da salinidade. Assim, nas zonas que sofreram maiores transformações tardias houve obliteração das feições originais e o quartzo perdeu sua natureza hialina, adquirindo as características do quartzo

leitoso. As zonas não ou muito pouco afetadas por essas modificações permaneceram no seu estado original e aparecem hoje na forma de bolsões de cristal de rocha.

6 - A exploração do cristal de rocha na região de Xambioá encontra-se semi- paralisada não por esgotamento de suas reservas, e sim, devido às dificuldades de colocação do produto no mercado externo e a concorrência do cristal sintético, sucedâneo do produto natural em inúmeras aplicações.

7 - Mesmo diante de tais fatos, a população local, empregando métodos rudimentares, ainda vive da coleta e da comercialização de pequenas lascas.

8 - Parte desta produção (cristais brutos) ainda é comercializada para grandes centros de compra e venda de gemas para ser posteriormente lapidada.

9 - Um estudo detalhado por microscopia eletrônica de varredura (MEV) ajudaria na identificação mais completa dos cristais de saturação das IF do Tipo 1, na identificação das inclusões sólidas e, conseqüentemente na reconstituição da composição dos fluidos hidrotermais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, F. A. M. - 1978 a - **Estratigrafia e Evolução Estrutural do Segmento Setentrional da Faixa de Dobramentos Paraguaia - Araguaia**. Belém. UFPA. CG 90 p. (Tese de Mestrado).
- ABREU, F. A. M. - 1978 b - O Supergrupo Baixo Araguaia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30. Recife. **Anais**. Recife. SBG. v. 2 p. 539 - 545.
- ABREU, S.F. - 1973 - Recursos Minerais do Brasil. Rio de Janeiro, Edgard Blucher, Instituto Nacional de Tecnologia. Cap. 10: Materiais para a indústria elétrica e eletrônica. p. 255 - 266.
- BARBOSA, O.; RAMOS, J.R.A.; GOMES, F.A.; HELMBOLD, R. -1966 - **Geologia Estratigráfica, Estrutural e Econômica da área do Projeto Araguaia**. DNPM / Divisão de Geologia e Mineralogia. 95 p. (Monogr. 19).
- BODNAR, R.J. & VITYK, M. - 1994 - Interpretation of microthermometric data for H<sub>2</sub>O - NaCl fluid inclusions. In: DE VIVO, B. & FREZZOTTI, M.L (eds). **Fluid inclusions in minerals: Methods and Applications - short course of the working group (IMA) "inclusions in minerals"**. Pontignano.
- BULHÕES, E. M. & DALL'AGNOL, R. -1985 - Mapeamento Geológico e Petrografia do Granodiorito Presidente Kennedy - Faixa de Dobramento Araguaia (GO). In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 2, Belém. **Anais**. SBG. v. 1, p. 59-76.
- COLLINS, P.F.L. - 1979 - Gas hydrates in CO<sub>2</sub> bearing fluid inclusions and the use of freezing data for estimation of salinity. **Econ. Geol.** 74 : 1435 -1444.

- COLLYER, T. A. – 1999 – **Mineralizações de caráter gemológico (opala, ametista, quartzo tricolor, quartzo rutilado e a clorita) da região de São Geraldo do Araguaia (PA), e Xambioá (TO); caracterização e gênese.** Belém, UFPA. CPGG 216 p. (Tese de Doutorado).
- COLLYER, T.A; KOTSCHOUBEY, B.; RODRIGUES, E. G.- 1994 – A opala do Município de São Geraldo do Araguaia. Estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., Balneário Camboriú. **Anais.** Balneário Camboriú, Sociedade Brasileira de Geologia. v (1), p. 200 – 201.
- COSTA, J. B. S. - 1980 - **Evolução Geológica da Região de Colméia - Goiás.** Belém. UFPA. CG. 78 p.(Tese de Mestrado).
- COSTA, J.B.S.; GORAYEB, P. S. S. de; BEMERGUY, R. C.; GAMA JR. T.; KOTSCHOUBEY, B.; LEMOS, R. L. – 1983 – **Projeto Paraíso do Norte; Relatório Final.** Belém, CVRD/UFPA.125p.
- COSTA, J. B. S.; LEMOS, R. L.; MARTINS, J. P. A. ; BELTRÃO, J. F.; GÓES, A. H.; HASUI, Y. – 1984 – Geologia da região de Porto Nacional – Go. **Revista Brasileira de Geologia**, 14 (1) 3 – 11.
- COSTA, J.B.S.; BORGES, M.S.; IGREJA, H.L.S.; HASUI, Y. – 1991a –Aspectos da evolução tectônica da Bacia do Parnaíba e sua relação com o arcabouço pré – cambriano. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 3, Rio Claro. **Boletim.** Rio Claro, Sociedade Brasileira de Geologia, p. 96 – 98.
- COSTA, J. B. S.; IGREJA, H. L. S.; BORGES, M. S.; HASUI, Y. – 1991b – O Quadro Tectônico Regional do Mesozóico na Região Norte. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 3, Belém. **Anais.** Belém, Sociedade Brasileira de Geologia. Não paginado.

- CRAWFORD, M.L. – 1981- Phase equilibria in aqueous fluids inclusions. In: HOLLISTER, L.S. & CRAWFORD, M.L. (eds.) **Fluid Inclusions: Applications to petrology** – Mineral. Assoc. Canada, p. 75 – 97. (Short Course Mineral, 6).
- CRAWFORD, M.L. & HOLLISTER, L.S. – 1986 – **Metamorphic Fluids: The evidence from fluid inclusions**. In: WALTHER, J.V. & WOOD, B. J. (ed) **Fluid – rock interactions during metamorphism**. New York, Springer – Verlag, p. 1 – 35.
- DALL'AGNOL, R.; TEIXEIRA, N.P.; MACAMBIRA, J.B.; KOTSCHOUBEY, B.; GORAYEB, P.S.S.; SANTOS, M. D. – 1988 – **Petrologia dos gnaisses e micaxistos da porção norte da Faixa de Dobramentos Araguaia – Goiás – Brasil**. In: CONGRESSO LATINO – AMERICANO DE GEOLOGIA, 7., Belém, **Anais**. Belém, Sociedade Brasileira de Geologia. v.1, p. 1 – 19.
- FIGUEIREDO, A. J. A.; SOUZA, J. P. O.; OLIVATTI, O. - 1994 - **Estratigrafia**. In: BRASIL. DNPM. **Folha SC.22-X-B Estado Tocantins**. Brasília, DNPM. cap. 2. p.19-48.
- FREITAS, A. S. de.- 1973- **Perfil Analítico do Quartzito**. Rio de Janeiro: D.N.P.M. 14 p. (Boletim, 20).
- FUZIKAWA, K. – 1985 – **Inclusões Fluidas: Métodos usuais de estudo e aplicação**. Belo Horizonte, CBMM (Núcleo de Minas Gerais, SBG, Boletim Especial) . p. 29 – 44: **Contribuição à Geologia e à Petrologia**.
- GUERREIRO, M. G. S. & SILVA, J. M. R. - 1976 - **Projeto Guarai - Conceição**. Belém, DNPM/UFPa. 50 p.
- GORAYEB, P. S. S. - 1981 - **Evolução Geológica da Região de Araguacema-Pequizeiro. Goiás - Brasil**. Belém, UFPA. CG.100 p. (Tese de Mestrado).

- GORAYEB, P. S. S. – 1989 – **Corpos serpentiniticos da Faixa Araguaia na Região de Araguacema – Pequizeiro- Conceição do Araguaia (Goiás – Pará).** **Rev. Bras. Geoc.**, 19 (1): 51 –62.
- HASUI, Y & COSTA, J. B. S. – 1990 – **O Cinturão Araguaia: Um novo enfoque estrutural – estratigráfico.** In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., Natal. Anais.** Natal, Sociedade Brasileira de Geologia. v.6, p. 2535 – 25549.
- HASUI, Y.; ABREU, F. A. M.; COSTA, J. B. S.; SILVA, J. M. R. - 1981 - **A Faixa de Dobramentos Araguaia - Estado de conhecimento.** In: **Simpósio de Geologia do Centro-Oeste, 1. Goiânia. Anais.** Goiânia, SBG. p. 177-194.
- HASUI, Y; COSTA, J.B.S.; ABREU, F. A .M. de – 1984 - **Província Tocantins – Setor Setentrional.** In: **ALMEIDA, F.F.M. & HASUI, Y. Pré – Cambriano do Brasil.** São Paulo, Edgard Blücher. 932 p.
- HASUI, Y.; ABREU, F. A. M.; SILVA, J. M. R. - 1977 - **Estratigrafia da Faixa de Dobramentos Paraguai-Araguaia no Centro-Norte do Brasil.** **Bol. IG.** 8: 107-118.
- HASUI, Y.; HENNIES, W. T.; IWANUCH, W. - 1975 - **Idades Potássio - Argônio do Pré - Cambriano da Região Centro Norte do Brasil.** **Bol. IG.** 6: 77 - 83.
- LAMARÃO, C. N. – 1996 – **Estudo petrológico e das mineralizações de granitóides Santa Luzia na região de Paraíso do Tocantins, (TO).** Belém, UFPA. CG 117 p. (Tese de Mestrado).
- LAMARÃO, C. N. & KOTSCHOUBEY, B. – 1994 – **Mineralização a berilo e turmalina do corpo pegmatítico do Catingueiro, Suíte Santa Luzia; Região do Paraíso do Tocantins (TO).** In: **SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 4.,** Belém.

**Boletim de Resumos Expandidos.** Belém, Sociedade Brasileira de Geologia – Núcleo Norte. p 88 –90.

LEAL, J.M – 1998 – **Estudo das inclusões fluidas em esmeralda e quartzo associados do garimpo de Capoeirana, Nova Era, MG.** Belo Horizonte, Instituto de Geociências/UFMG. 96 p. (Tese de Mestrado).

MACAMBIRA, J. B. 1983. **Geologia e Ocorrências Minerais da Braquianticlinal do Lontra - Goiás.** Belém, UFPA.CG. 107 p. (Tese de Mestrado).

MAURITY, C. W. - 1986 - **Estudo do Corpo Intrusivo Ácido de Araguaci - Go.** Belém, UFPA.DGP. 26 p. (Trabalho de Conclusão de Curso).

MIYASHIRO, A. - 1973 - **Metamorphism and metamorphic belts.** Londres, George Allen & Unwin Ltda. 492 p.

MONTALVÃO, R. M. G. - 1978 - **Litoestratigrafia do Grupo Araxá (Grupo Estrondo) e Grupo Tocantins.** In: CONG. BRAS. GEOL., 30. Recife. **Anais.** Recife. SBG. v. 2. p. 649-657.

MORAES RÊGO, L. F. - 1933 - **Notas geográficas e geológicas sobre o Rio Tocantins.** **Bol. Museu Paraense Emílio Goeldi.** 9: 272 - 288.

MOURA, C. A.V & GAUDETTE, H. E. – 1994 – **Uma discussão sobre a origem dos ortognaisses do embasamento do Cinturão Araguaia com base nos isótopos do Sr e Nd.** In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 4., Belém. **Boletim de Resumos Expandidos.** Belém, Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo Norte. P. 223 –226.

OLIVATTI, O. & FIGUEIREDO, A. J. A. - 1994 - **Metalogenia.** In: BRASIL. DNPM. **Folha SC.22-X-B Estado Tocantins.** Brasília, DNPM. cap. 7. p. 63-68.

- OLIVATTI, O.; FIGUEIREDO, A. J. A.; ARTHAUD, M. H. - 1994 - Geologia Estrutural. In: BRASIL. DNPM. **Folha SC.22-X-B Estado Tocantins...** Brasília, DNPM. cap. 3. p. 49-50.
- PUTY, C. O. F. ; MARTINS, R. C. ; MONTALVÃO, R. M. G. ; CARREIRA, J. M.; SILVA, G. H.; NEVES, A. P.; GIFFONI, L. E.; LOURENÇO, R. S.; FRIZZO, S. J. - 1972 - **Projeto Marabá. Folha Xambioá.** Belém, DNPN / CPRM. v. III.
- ROEDDER, E. - 1984 - **Fluid inclusions.** Mineralogical Society of America. 644 p. Reviews in Mineralogy, 12)
- SANTOS, M. D. 1983. Geologia e Ocorrências Minerais da Braquianticlinal de Xambioá - Goiás. Belém, 124 p. (Tese de Mestrado. NCGG/UFPA.)
- SANTOS, M. D.; MACAMBIRA, J. B.; KOTSCHOUBEY, B. - 1982 - Veios mineralizados relacionados ao magmatismo ácido na região de Xambioá - Lontra - GO. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA., 32., Salvador. **Anais.** Salvador, Sociedade Brasileira de Geologia. V. 3, p. 937 -944.
- SCHUMANN, W. - 1995 - **Gemas do Mundo.** Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico. 254 p.
- SHEPPERD, T. J.; RANKIN, A.H.; ALDERTON, D. H. M. - 1985 - **A practical guide to fluid inclusions studies.** Blakied, Glasgow. 237 p.
- SILVA, G. G.; LIMA, M. L. C.; ANDRADE, A. R. F.; ISSLER, R. S.; GUIMARÃES, G. - 1974 - Geologia. In: Brasil. Projeto Radam, **Folhas SB - 22, Araguaia e parte da SC - 22, Tocantins** Rio de Janeiro, DNPM. (Levantamento de Recursos Minerais, 4).

- SILVA, J.M.R – 1980 – **Metamorfismo das rochas pelíticas do segmento setentrional da faixa Paraguaia – Araguaia**. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 121 p. (Tese de Mestrado em Geologia).
- SORBY, H. C. - 1858 – **On the microscopic structure of crystals, indicating the origin of minerals and rocks**. Quart. Jour. Geol. Soc. London, 14 (1): 453 – 500.
- SOUZA, A . C.C.; DALL'AGNOL, R.; TEIXEIRA, N.P. – 1985 – **Petrologia do gnaiss Cantão: implicações na evolução da Faixa de Dobramentos Araguaia, Serra do Estrondo (GO)**. *Rev. Bras. Geoc.*, 15 (4): 300 – 310.
- SOUZA, J. O. & MORETON, L. C. 1994. **Xambioá, Folha SB-22-Z-B, Estado do Pará e Tocantins**. Brasília, CPRM. 70 p.
- TEIXEIRA, N. P.; SOUZA, A .C.C; DALL'AGNOL, R. – 1988 – **Petrologia dos micaxistos feldspáticos da Formação Xambioá (Faixa Araguaia/ Go): Controle Composicional em Paragêneses de Micaxistos**. *Rev. Bras. Geoc.*, 18 (2): 109 – 121.
- TROUW, R. A. J.; VAZ, L. F.; SLONGO, T. T.; NAKASATO, N. - 1976 - **Geologia da Região de Tucuruí; Baixo Tocantins, Pará**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29. 1976. Belo Horizonte. **Resumos**. Belo Horizonte, SBG. p. 18.
- TURNER, F. J. - 1968 - **Metamorphic Petrology; Mineral and Field aspects**. New York, Rinehart & Winston. 78 p.