



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Pós-Graduação em Geociências

Área de Metalogênese

EMERSON DE RESENDE CARVALHO

A imiscibilidade de fluidos em mineralizações auríferas do tipo *lode* na Bacia Paleoproterozóica de Jacobina, BA.

Dissertação apresentada ao Instituto de Geociências
como parte dos requisitos para obtenção do título de
Mestre em Geociências.

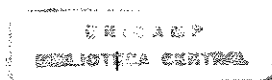
Orientador: Prof. Dr. Roberto Perez Xavier

Co-orientador: Prof. Dr. João Batista Guimarães Teixeira

Este exemplar corresponde a
redação final da tese defendida
por Emerson R. Carvalho
e aprovada pelo(a) orientador(a)
em 10/05/2001
Roberto Perez Xavier
ORIENTADOR

CAMPINAS - SÃO PAULO

Abril – 2001



UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

UNIDADE BC
 N.º CHAMADA: T/UNICAMP
C253i
 V. Ex
 TOMBO DC/ 46247
 PROC. 16.392/01
 C ☐ D ☒
 PREÇO R\$11,00
 DATA 13/09/01
 N.º CPD

FICHA CATALOGRAFICA ELABORADA PELA
 BIBLIOTECA DO IG - UNICAMP - IG

CM00159795-5

Carvalho, Emerson de Resende
 C253i A imiscibilidade de fluidos em mineralizações auríferas do tipo lode
 na Bacia Paleoproterozóica de Jacobina, BA / Emerson de Resende
 Carvalho.- Campinas, SP.: [s.n.], 2001.

Orientadores: Roberto Perez Xavier, João Batista Guimarães Teixeira
 Dissertação (mestrado) Universidade Estadual de Campinas, Instituto
 de Geociências.

1. Ouro – Jacobina, BA. 2. Inclusões fluídas. I. Xavier, Roberto
 Perez. II. Teixeira, João Batista Guimarães. III. Universidade Estadual
 de Campinas, Instituto de Geociências IV. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
ÁREA DE METALOGÊNESE

EMERSON DE RESENDE CARVALHO

ORIENTADOR: Prof. Dr. Roberto Perez Xavier

Aprovada em: ____/____/____

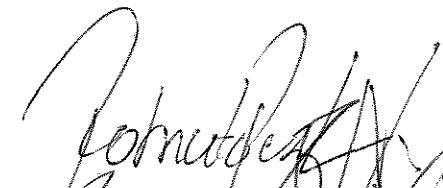
PRESIDENTE: Prof. Dr. Roberto Perez Xavier

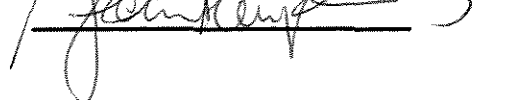
EXAMINADORES:

Prof. Dr. Roberto Perez Xavier

Prof. Dr. Kazuo Fuzikawa

Profª Drª Jacinta Enzweiler

 - Presidente



Campinas, de de 2001

Aos meus pais, Francisco e Edite,
por gratidão e pela indelével
persistência em busca do
aprimoramento.
À Ivonete e Igor, que me
incentivam e acompanham
nesta jornada

Agradecimentos

Em primeira instância, expresso meus agradecimentos à Ivonete e a meu filho, Igor, pelo apoio e incentivo durante a execução desta pesquisa, assim como pelos momentos de paciência e compreensão ao me ver dedicado à leitura, estudos ou redação desta dissertação e ficarem relegados a segundo plano.

Agradeço ao Prof. Roberto Xavier pelas discussões e aprendizado propiciados durante a evolução deste estudo.

Ao Prof. João Batista (UFBA) pelo apoio e colaboração quando da viagem de campo à Jacobina e região, assim como pelo conhecimento compartilhado.

Ao Dailto (laboratório de IF-IG) pelo auxílio durante a execução do estudo de inclusões por microtermometria e microespectroscopia Raman.

Ao BRGM (Orléans – França), na pessoa do Prof. Dr. Patrick Ledru, que realizou estudos geológicos/metalogenéticos na Bacia de Jacobina e financiou parcialmente, por meio de parceria com o IG/UNICAMP, a execução desta pesquisa.

Também sou grato pelo apoio institucional oferecido pelo Instituto de Geociências-UNICAMP, bem como por parte de seus funcionários e docentes. Ao CNPQ pelo suporte financeiro necessário à execução desta pesquisa.

ÍNDICE

	Pág.
Agradecimentos _____	v
Relação de Figuras _____	viii
Relação de Tabelas e Anexos _____	x
Lista de Abreviaturas _____	xi
Resumo _____	xii
Abstract _____	xiv
 CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO E OBJETIVOS _____	 1
 CAPÍTULO II – A IMISCIBILIDADE DE FLUIDOS HIDROTERMAIS _____	 3
 1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS _____	 3
1.1 Definição _____	3
1.2 Relevância e Objetivos _____	3
1.3 Topologia dos Principais Sistemas de Fluidos: Geometria e Equilíbrio de Fases	4
1.3.1 Sistema H ₂ O-NaCl _____	5
1.3.2 Sistema H ₂ O-CO ₂ ±NaCl _____	6
1.3.3 Relação entre Isócoras e Limite de Fases _____	9
1.3.4 Curva de <i>Solvus</i> para o Sistema H ₂ O-CO ₂ ±NaCl _____	11
 2 O PAPEL DA IMISCIBILIDADE DE FLUIDOS NA SOLUBILIDADE E DEPOSIÇÃO DO OURO _____	 13
 CAPÍTULO III – A IMISCIBILIDADE DE FLUIDOS EM MINERALIZAÇÕES AURÍFERAS DO TIPO LODE NA BACIA PALEOPROTEROZÓICA DE JACOBINA, BA _____	 18
1 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL _____	18
2 AS MINERALIZAÇÕES AURÍFERAS DO GRUPO JACOBINA _____	23
3 INCLUSÕES FLUIDAS _____	30
3.1 Amostragem e Técnicas Analíticas _____	30
3.2 Petrografia das Inclusões Fluidas _____	32
3.2.1 Inclusões Aquo-Carbônicas _____	35
3.2.2 Inclusões ricas em CO ₂ _____	36

3.2.3	Inclusões Aquosas	36
3.3	Microtermometria	39
3.3.1	Inclusões Aquo-carbônicas: razão H_2O/CO_2 variável	39
3.3.2	Inclusões ricas em CO_2	43
3.3.3	Inclusões Aquosas	46
3.3.4	Propriedades V-X	47
3.3.5	Identificação e Caracterização da Imiscibilidade de fluidos no Sistema $H_2O-NaCl-CO_2\pm CH_4$	51
3.3.6	Condições P-T de Formação	54
4	ANÁLISE GLOBAL DE GASES	57
4.1	Método e Dificuldades Analíticas	57
4.2	Resultados Obtidos	59
4.3	Modificações Químicas Induzidas pela Imiscibilidade	61
	CAPÍTULO IV – CONCLUSÕES	66
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
	ANEXO 1	76
	ANEXO 2	87

RELAÇÃO DE FIGURAS

- Figura 2.1 - Geometria e equilíbrio de fases no sistema H_2O -NaCl em projeção no plano P-T (modificado de Pichavant *et al.* 1982). _____ 6
- Figura 2.2 - Projeção P-T para o sistema H_2O -CO₂, exibindo o equilíbrio de fases em baixas pressões (extraído de Pichavant *et al.* 1982). _____ 7
- Figura 2.3 - Diagrama P-T para o sistema H_2O -CO₂-NaCl, mostrando o efeito da adição de NaCl e CO₂ sobre a extensão da região de duas fases para os sistemas binários (extraído de Pichavant *et al.* 1982). _____ 8
- Figura 2.4 - Diagrama T-X_{CO₂} ilustrando a evolução de um fluido aquo-carbônico durante seu esfriamento através da curva de *solvus* (modificado de Shepherd *et al.* 1985). _____ 13
- Figura 2.5 - (A) Solubilidade do ouro em função da T e a_{O_2} para solução aquosa contendo 6% em peso de NaCl e 0,01 m de S e com pH=6 (extraído de Romberger, 1990). (B) Solubilidade do ouro como Au(HS)₂ em função do pH e f_{O_2} , para solução com 0,05 m de S e T=300°C (extraído de Roberts, 1988). _____ 15
- Figura 3.1 - Localização da área de estudo (A) e posicionamento da Bacia de Jacobina (B), em relação às principais unidades arqueanas e paleoproterozóicas, na porção NE do Cráton do São Francisco (CSF). _____ 19
- Figura 3.2 - Mapa geológico da região da Serra de Jacobina (modificado de Mascarenhas *et al.* 1998). _____ 20
- Figura 3.3 - Mapa geológico da parte central da Serra de Jacobina (modificado de Couto *et al.* 1978; Mascarenhas *et al.* 1998). _____ 21
- Figura 3.4 – Mineralizações auríferas epigenéticas no interior de metaconglomerado da Formação Serra do Corrego, Nível 630 da Mina Itapicuru (Main Reef). _____ 27
- Figura 3.5 - Diagrama esquemático dos tipos de mineralizações auríferas encontrados na Bacia de Jacobina, de acordo com classificação elaborada por Teixeira *et al.* (no prelo), com base no caráter da rocha hospedeira. _____ 29
- Figura 3.6 - Fotomicrografias de inclusões fluidas presentes em brecha hidráulica e veios de quartzo auríferos, nos domínios I e II, do Grupo Jacobina. _____ 33
- Figura 3.7 - Histogramas com a distribuição de frequência para a temperatura de fusão do CO₂ (T_{fcO₂}), temperatura de homogeneização do CO₂ (T_{hCO₂}) e temperatura de fusão do clatrato (T_{fcH}), em inclusões aquo-carbônicas (IFs H_2O -CO₂) e inclusões ricas em CO₂ (IFs CO₂) submetidas à microtermometria no domínio I (DI – cinza claro) e domínio II (DII – linha horizontal). _____ 41

Figura 3.8 - Histograma para a temperatura de homogeneização total (T_H) de inclusões aquo-carbônicas encontradas no domínio I (A) e domínio II (B). _____ 44

Figura 3.9 - Histograma para a temperatura de homogeneização total para o estado vapor (T_{HV}) de inclusões ricas em CO_2 encontradas no domínio I (barra cinza) e domínio II (barra com linha horizontal). _____ 45

Figura 3.10 - Diagrama da temperatura de fusão do gelo (T_{fg}) em função da temperatura de homogeneização (T_H) para inclusões aquosas do tipo 1 e 2 analisadas em amostras dos domínios I (D-I) e II (D-II). _____ 46

Figura 3.11 - Diagramas T-X (curva de solvus) para as inclusões aquo-carbônicas e as inclusões ricas em CO_2 do domínio I (A) e domínio II (B). _____ 53

Figura 3.12 - Isócoras representativas dos fluidos imiscíveis com composições próximas a dos membros extremos, nos domínios I (A) e II (B). _____ 56

Figura 3.13 - Diagrama esquemático do sistema analítico utilizado para extração e medição das espécies voláteis contidas nas inclusões, segundo o método desenvolvido por Norman e Sawkins (1987). _____ 58

Figura 3.14 - Diagramas CO_2 - CH_4 - H_2O (A) e CO_2 - N_2 - H_2O (B) mostrando a composição global das principais espécies voláteis nas inclusões presentes em mineralizações auríferas dos domínios I (R23B e R25) e II (R35, R38 e JB2221). _____ 61

Figura 3.15 - Diagrama da concentração global de CO_2 em função da razão CO_2/CH_4 , com base na análise global de voláteis para inclusões encontradas em mineralizações auríferas dos domínios I (R23B e R25) e II (R35, R38 e JB2221). _____ 64

RELAÇÃO DE TABELAS

Tabela 3.1 - Características principais de mineralizações auríferas epigenéticas hospedadas por unidades sobrepostas à Formação Serra do Córrego e onde se desenvolveram explorações garimpeiras (segundo Teixeira *et al.* no prelo). _____ 28

Tabela 3.2 - Relação de amostras representativas das mineralizações auríferas epigenéticas e respectivos tipos de inclusões fluidas. _____ 38

Tabela 3.3 - Análise por microespectroscopia Raman de inclusões aquo-carbônicas (AC) e inclusões ricas em CO₂ (C), presentes em veios de quartzo auríferos do domínio II. _____ 42

Tabela 3.4 - Propriedades V-X de inclusões aquo-carbônicas e inclusões ricas em CO₂, em brecha hidráulica e veios de quartzo auríferos do domínio I, calculadas pelo programa MacFlinCor e estimadas pelo Diagrama V-X (Bakker e Diamond, 2000). ____ 50

RELAÇÃO DE ANEXOS

Anexo 1 - Propriedades das inclusões fluidas submetidas a microtermometria. _____ 76

Anexo 2 - Análise global de voláteis com espectrômetro de massa quadrupólo, por meio do esmagamento das amostras de quartzo. _____ 87

LISTA DE ABREVIATURAS

Parâmetros ou Variáveis:

P – pressão

T – temperatura

V – volume molar

X – fração molar (composição)

X_i – fração molar do componente i no sistema de fluido

V_i – fração volumétrica do componente i em uma inclusão fluida

d_i – densidade do componente i em uma inclusão fluida

Elementos (fases) em um sistema de fluidos:

F – fluido

L – líquido

V – vapor

S – sólido

G – gelo

H – halita

h – hidrohalita

C – clatrato

T_i – ponto triplo (L+V+S) de uma substância pura i

C_i – ponto crítico de uma substância pura i

Inclusões Fluidas:

T_{fCO_2} – temperatura de fusão do CO_2

T_{hCO_2} – temperatura de homogeneização do CO_2

T_{fclt} – temperatura de fusão do clatrato

T_{fg} – temperatura de fusão do gelo

T_H – temperatura de homogeneização total



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS/
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS/
DEPTO DE METALOGÊNESE E GEOQUÍMICA

PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
ÁREA DE METALOGÊNESE

**A IMISCIBILIDADE DE FLUIDOS EM MINERALIZAÇÕES AURÍFERAS DO TIPO
LODE NA BACIA PALEOPROTEROZÓICA DE JACOBINA, BA.**

RESUMO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Emerson de Resende Carvalho

A Bacia Paleoproterozóica de Jacobina contém metaconglomerados auríferos do tipo *Witwatersrand* que são economicamente importantes e, subordinadamente, mineralizações auríferas epigenéticas sub-econômicas, representadas por brechas hidráulicas e sistemas de veios de quartzo hospedados em metaconglomerados (domínio I) e no contato entre quartzito e rochas máficas/ultramáficas intrusivas (domínio II).

Estudos petrográfico, microtermométrico e por microespectrometria Raman de inclusões fluidas contidas em quartzo associado aos domínios I e II revelaram três tipos composicionais de inclusões primárias/pseudosecundárias: inclusões (AC) constituídas por $H_2O-CO_2(\pm CH_4)$, de baixa salinidade (média de 2% em peso eq. NaCl) e com razão CO_2/H_2O variável ($0,1 \leq V_{CO_2} \leq 0,8$); inclusões (C) ricas em $CO_2(\pm CH_4)$ com $V_{CO_2} \geq 0,8$; e inclusões aquosas (A) de baixa salinidade, contendo pequenas quantidades de CO_2 . As inclusões AC predominam no domínio I, enquanto as inclusões C prevalecem no domínio II. O pequeno conteúdo em CH_4 (≤ 4 mol%) está restrito ao domínio II. Inclusões aquosas secundárias de salinidade variável interceptam todos os outros tipos de inclusões e são interpretadas como decorrentes de um regime de fluido ativo durante o soerguimento, posterior à formação da mineralização.

Feições texturais fornecem fortes evidências da associação temporal e espacial das inclusões AC, C e A. Em ambos os domínios, a homogeneização da fase carbônica indicou uma variação na densidade do CO₂ de 0,47 a 0,98 g/cm³ para as inclusões AC e de 0,61 a 1,02 g/cm³ para as inclusões C. As inclusões AC com $X_{CO_2} \leq 33$ mol% e $22 \leq V \leq 35$ cm³/mol mostraram homogeneização total para a fase aquosa no intervalo de 215°C a 340°C, enquanto as inclusões AC com $X_{CO_2} \geq 34$ mol% e $V \geq 31$ cm³/mol homogeneizaram para a fase carbônica no intervalo de 210°C a 360°C.

Os dados obtidos através da análise global de gases por espectrômetro de massa quadrupólo mostraram um nítido fracionamento de voláteis (CH₄, N₂, CO₂, H₂S e SO₂) em direção à fase carbônica.

Os dados obtidos a partir das inclusões fluidas, tais como: (a) a presença de assembléias de inclusões com X_{CO_2} variável, atribuído ao aprisionamento heterogêneo; (b) a existência de inclusões ricas em H₂O e ricas em CO₂ contemporâneas em uma assembléia, interpretadas como os membros extremos de um fluido aquo-carbônico imiscível; (c) a homogeneização total tanto para a fase aquosa como para a fase carbônica no mesmo intervalo de temperatura; e (d) o fracionamento de voláteis para a fase vapor durante sua separação da solução, satisfazem os requerimentos da imiscibilidade. A adequação dos dados X_{CO_2} - T_H à curva de *solvus* experimental assegura a ocorrência da separação de fases no sistema H₂O-NaCl-CO₂-(±CH₄).

Conforme a análise global de voláteis, o comportamento da razão CO₂/CH₄ sugere que o fluido aquo-carbônico homogêneo foi submetido a um estágio avançado de imiscibilidade. O alto grau de imiscibilidade provocou uma separação física quase completa entre as fases aquosa e carbônica e pode explicar o predomínio de inclusões ricas em CO₂ no domínio II.

A imiscibilidade de fluidos é um processo episódico produzido pela flutuação cíclica da pressão do fluido durante a ascensão da solução hidrotermal ao longo de descontinuidades estruturais e a formação da brecha e veios de quartzo. Com base nestas evidências, combinado com a natureza das litologias hospedeiras (e.g. quartzo não reativo é o mineral dominante nos metaconglomerados e quartzitos), a imiscibilidade foi o principal mecanismo responsável pela deposição do ouro, que, neste contexto, ocorreu entre 200°C e 350°C e de 1,0 a 2,5 kbar.



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS/
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS/
DEPTO DE METALOGÊNESE E GEOQUÍMICA

PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
ÁREA DE METALOGÊNESE

**FLUID IMMISCIBILITY IN LODE GOLD MINERALIZATIONS IN THE
PALEOPROTEROZOIC JACOBINA BASIN, BA.**

ABSTRACT

MASTER DISSERTATION

Emerson de Resende Carvalho

The Paleoproterozoic Jacobina Basin is characterized by containing economically important Witwatersrand-type gold quartz-pebble metaconglomerates and, more subordinately, sub-economical epigenetic gold mineralizations represented by hydraulic breccia and quartz vein systems hosted by metaconglomerate (domain I) and at the contact between quartzite and intrusive mafic/ultramafic rocks (domain II).

Petrographic, microthermometric and laser Raman microspectroscopic studies of fluid inclusions in auriferous quartz associated with domains I and II revealed three compositional types of primary/pseudosecondary inclusions: (AC) $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2(\pm\text{CH}_4)$ inclusions of low salinity (mean of 2 wt % eq. NaCl) and variable $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ volume ratios ($0,1 \leq V_{\text{CO}_2} \leq 0,8$); (C) $\text{CO}_2(\pm\text{CH}_4)$ -rich inclusions with $V_{\text{CO}_2} \geq 0,8$; and (A) low salinity H_2O inclusions containing small amounts of CO_2 . The AC inclusions predominates in domain I while C inclusions prevails in domain II. The low content in CH_4 (≤ 4 mol%) is restricted to domain II. Secondary H_2O inclusions of variable salinity transects all the others types of inclusions and are interpreted as a fluid regime active during uplift, after the formation of the mineralization.

Textural features provides strong evidence of temporal and spatial association of

the AC, C and A inclusions. In both domains, the homogenization of the carbonic phase indicated a variation in the CO₂ density of 0,47 to 0,98 g/cm³ for AC inclusions and of 0,61 to 1,02 g/cm³ for C inclusions. The AC inclusions with $X_{\text{CO}_2} \leq 33$ mol% and $22 \leq V \leq 35$ cm³/mol showed total homogenization to the H₂O phase in the range of 215°C to 340°C, whereas AC inclusions with $X_{\text{CO}_2} \geq 34$ mol% and $V \geq 31$ cm³/mol and C inclusions homogenized to the CO₂ phase in the range of 210°C to 360°C.

Data obtained from bulk gas analysis in fluid inclusions by quadrupole mass spectrometry showed a clear fractionation of the volatile phases (CH₄, N₂, CO₂, H₂S and SO₂) towards the carbonic phase.

Fluid inclusion constraints: (a) the presence of variable X_{CO_2} inclusions assemblages which was attributed to heterogeneous entrapment; (b) the existence of contemporaneous H₂O-rich and CO₂-rich inclusions in an assemblage, interpreted as end-members of immiscible aqueous carbonic fluid; (c) total homogenization to the H₂O and CO₂ phases in the same range of temperatures; and (d) fractionation of volatiles to vapor phase during its separation of the solution, satisfy the requirement of immiscibility. The conformation of X_{CO_2} -T_H data to experimental solvus curve assures the H₂O-NaCl-CO₂-(±CH₄) system phase separation.

According to bulk volatile analysis the CO₂/CH₄ ratio trends suggests that the homogeneous aqueous carbonic fluid was submitted to an advanced stage of immiscibility. The high grade of immiscibility caused an almost entire separation of the H₂O and CO₂ phases and can explain the prevalence of CO₂-rich inclusion in domain II.

Fluid immiscibility is a episodic process produced by cyclic fluctuation of fluid pressure during ascension of hydrothermal solutions along structural discontinuities and hydraulic breccia and quartz vein formation. Based on these evidences, combined with the nature of the host lithologies (e.g. non-reactive quartz is the dominant mineral in metaconglomerate and quartzites), the immiscibility was the principal mechanism responsible for gold deposition that, in this context, occurred between 200°C and 350°C and 1,0 to 2,5 kbar.

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Estudos de inclusões fluidas têm demonstrado que a imiscibilidade é um processo de ocorrência relativamente freqüente em fluidos hidrotermais responsáveis pela deposição do ouro em depósitos do tipo *lode* ou orogênico de idades pré-cambriana e fanerozóica (Robert e Kelly, 1987; Walsh *et al.* 1988; Diamond, 1990; Craw *et al.* 1993; Boer *et al.* 1995; Jia *et al.* 2000). Neste tipo de depósito, o ouro é transportado, na forma de um bissulfeto auroso, por um fluido aquo-carbônico de baixa salinidade ($\leq 6\%$ em peso equivalente de NaCl) e que contém 5 a 30 mol% de CO₂.

A documentação da atuação da imiscibilidade na deposição do ouro produz uma condição particular com respeito à definição das propriedades P-V-T-X do fluido aquo-carbônico mineralizante, na medida em que o seu aprisionamento ocorre na curva de *solvus* ou *subsolvus* (Roedder e Bodnar, 1980; Ramboz *et al.* 1982; Pichavant *et al.* 1982; Diamond, 2001; Wilkinson, 2001). A imiscibilidade modifica os mecanismos de fluxo e os parâmetros físico-químicos (pH, f_{O2} e mΣS) do fluido, tendo sido interpretada como um eficiente mecanismo que conduz à precipitação do ouro (Mikucki, 1998; McCuaig e Kerrich, 1998).

No trabalho desenvolvido na Bacia de Jacobina, durante o estudo de inclusões fluidas em cristais de quartzo associados às mineralizações auríferas epigenético-hidrotermais inseridas no Grupo Jacobina, também foram identificadas evidências da imiscibilidade de fluidos no sistema H₂O-NaCl-CO₂±CH₄. Em função destas evidências, a investigação sistemática de inclusões fluidas, por meio do estudo de petrografia, microtermometria, microespectroscopia Raman e análise global de gases por espectrômetro de massa quadrupólo, foi desenvolvida com os seguintes objetivos:

(1) definir as propriedades P-V-T-X dos fluidos responsáveis pela formação das mineralizações auríferas contidas em brechas e veios de quartzo hospedados pelo Grupo Jacobina.

(2) determinar a evolução química do fluido hidrotermal e as condições P-T de formação das mineralizações auríferas.

(3) caracterizar a imiscibilidade e avaliar a sua atuação como principal mecanismo responsável pela precipitação do ouro.

Uma segunda parte do estudo de inclusões fluidas visava a análise dos seixos de quartzo dos horizontes metaconglomeráticos auríferos tipo *Witwatersrand*, contidos na Formação Serra do Córrego. O objetivo era contribuir para o entendimento da gênese destas mineralizações através da definição da composição e propriedades dos fluidos encontrados e comparação com os fluidos identificados nas brechas e veios de quartzo, assim como tentar inferir possíveis áreas-fonte para os seixos de quartzo. Contudo, as dimensões e qualidade óptica das inclusões, e a predominância de inclusões aquosas de várias gerações, impediram que este estudo fosse executado.

Esta dissertação foi dividida em dois blocos, onde no primeiro, que corresponde ao capítulo II, relata-se os fundamentos teóricos da imiscibilidade de fluidos hidrotermais e o papel desempenhado por esse processo na solubilidade e deposição do ouro em mineralizações do tipo *lode*. O segundo bloco, capítulos III e IV, refere-se ao estudo de caso da Bacia Paleoproterozóica de Jacobina, que está estruturado na forma de um artigo expandido.

CAPÍTULO II – A IMISCIBILIDADE DE FLUIDOS HIDROTERMAIS

1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1 Definição

A imiscibilidade é o processo físico-químico de segregação de fluidos hidrotermais ou magmas em duas ou mais fases (líquido, gás e sólido), que passam a coexistir em equilíbrio no sistema, provocado por alterações composicionais e/ou nas condições P-T durante seu percurso de ascensão na crosta.

Em sistemas hidrotermais, a imiscibilidade refere-se à coexistência de duas fases fluidas – uma rica em líquido e a outra, em vapor – que mostram propriedades e composições distintas. Quando a composição da fase predominantemente gasosa é essencialmente a mesma da fase líquida da qual se separa, o processo é denominado ebulição (*boiling*). O termo imiscibilidade possui diversos sinônimos, como efervescência, separação de fases, ‘desmistura’ (*unmixing*) e exsolução.

A assunção de condições de equilíbrio significa que as fases imiscíveis estão no mesmo intervalo de P-T e possuem composições e volumes molares (densidades) relacionados entre si por princípios de equilíbrio químico (Pichavant *et al.* 1982).

1.2 Relevância e Objetivos

A ocorrência da imiscibilidade representa uma situação particular na evolução de fluidos hidrotermais, com implicações diretas na determinação das condições P-T de formação de depósitos minerais e na definição do mecanismo responsável pela precipitação de metais (Mikucki, 1998; McCuaig e Kerrich, 1998; Diamond, 2001; Wilkinson, 2001). A imiscibilidade em sistemas magmáticos fornece informações importantes sobre a composição e evolução do magma e de voláteis associados (Frezzotti, 2001).

Em sistemas hidrotermais, a imiscibilidade ocorre no momento em que as modificações composicionais e/ou nas condições P-T fazem com que o fluido adquira

propriedades P-T-X que o posicionem na curva de *solvus* (específica para sua composição química), ou no seu interior (região no espaço P-T-X onde coexistem duas fases fluidas).

A imiscibilidade é considerada um mecanismo eficiente na deposição de metais durante a interação fluido-rocha em sistemas hidrotermais, particularmente ouro associado a sistemas de veios de quartzo e brechas hidráulicas em depósitos do tipo *lode* (Mikucki, 1998; McCuaig e Kerrich, 1998). A exsolução de uma fase rica em gás promove a retirada de componentes voláteis, como CO₂, CH₄, N₂ e H₂S, do fluido que transporta metais em solução na forma de complexos iônicos. O fracionamento destas espécies químicas preferencialmente para a fase gasosa altera os parâmetros de pH, fO₂ e mΣS do fluido residual, induz a desestabilização dos complexos e, consequentemente, provoca a deposição de metais.

1.3 Topologia dos Principais Sistemas de Fluidos: Geometria e Equilíbrio de Fases

Os fluidos hidrotermais em diversos ambientes geológicos são considerados como pertencentes a sistemas binários e ternários cujos compostos podem ser definidos pela combinação dos componentes C-O-H-NaCl.

A geometria e o equilíbrio de fases destes sistemas são descritos por modelos P-V-T-X, construídos a partir de cálculos teóricos e dados experimentais. A análise das relações de fases nestes modelos permite compreender o comportamento de fluidos de inclusões durante estudos de aquecimento-resfriamento e calcular e interpretar as propriedades P-V-T-X de fluidos que circulam na litosfera e participam da formação de rochas e depósitos minerais (Diamond, 2001).

A seguir são descritas as relações de fases para os sistemas H₂O-NaCl e H₂O-CO₂±NaCl, enfatizando as condições necessárias para que dois tipos de fluidos com composições e densidades (volume molar) contrastantes coexistam em equilíbrio, nas mesmas condições P-T, e representem os membros extremos de um fluido em imiscibilidade.

1.3.1 Sistema H₂O-NaCl

A relação de fases em sistemas binários como H₂O-NaCl (Figura 2.1) envolve a delimitação das seguintes curvas no espaço P-T (Pichavant *et al.* 1982):

(1) curva crítica univariante unindo os pontos críticos dos membros extremos puros.

(2) curva de saturação univariante (L+V+H) que liga os pontos triplos dos dois membros puros. No sistema H₂O-NaCl, a existência de um composto intermediário (hidrohalita) resulta na formação de um ponto peritético (halita + hidrohalita + L + V) e na substituição do eutético metaestável (gelo + halita + L + V) por outro estável (gelo + hidrohalita + L + V). Estes pontos invariantes segmentam a curva de saturação em três porções: halita + L + V, gelo + L + V e hidrohalita + L + V.

(3) curva de transição para a fase líquida (*Bubble Point Curve* - BPC: L + V ↔ L) e curva de transição para a fase vapor (*Dew Point Curve* - DPC: L + V ↔ V) que se originam na curva de saturação e se encontram no ponto crítico. A área compreendida entre as curvas BPC e DPC e a curva de saturação define um domínio de equilíbrio entre as fases L e V, ou seja, de imiscibilidade para uma determinada composição do fluido. A região acima da BPC é constituída pela fase líquida e a região abaixo da DPC, pela fase vapor.

A junção dos pontos críticos correspondente ao encontro das curvas BPC e DPC, ao longo do intervalo de composição entre os dois membros extremos, configura a curva crítica. Para os membros extremos puros, as duas superfícies se sobrepõem e coincidem com a curva de pressão de vapor.

Na região delimitada pela curva crítica e pela curva de saturação, como exemplificado na Figura 2.1 para o sistema H₂O-NaCl, há o cruzamento, em um ponto P-T (700°C; 1060 bar), de uma curva DPC (composição 5% em peso NaCl) com uma curva BPC (composição 50% em peso NaCl). Somente neste ponto estes dois fluidos podem coexistir em equilíbrio e, se aprisionados simultaneamente, representariam a fase líquida (inclusões aquosas com 50% em peso NaCl) e a fase vapor (inclusões aquosas com 5% em peso NaCl) de um fluido aquoso em imiscibilidade (*boiling*).

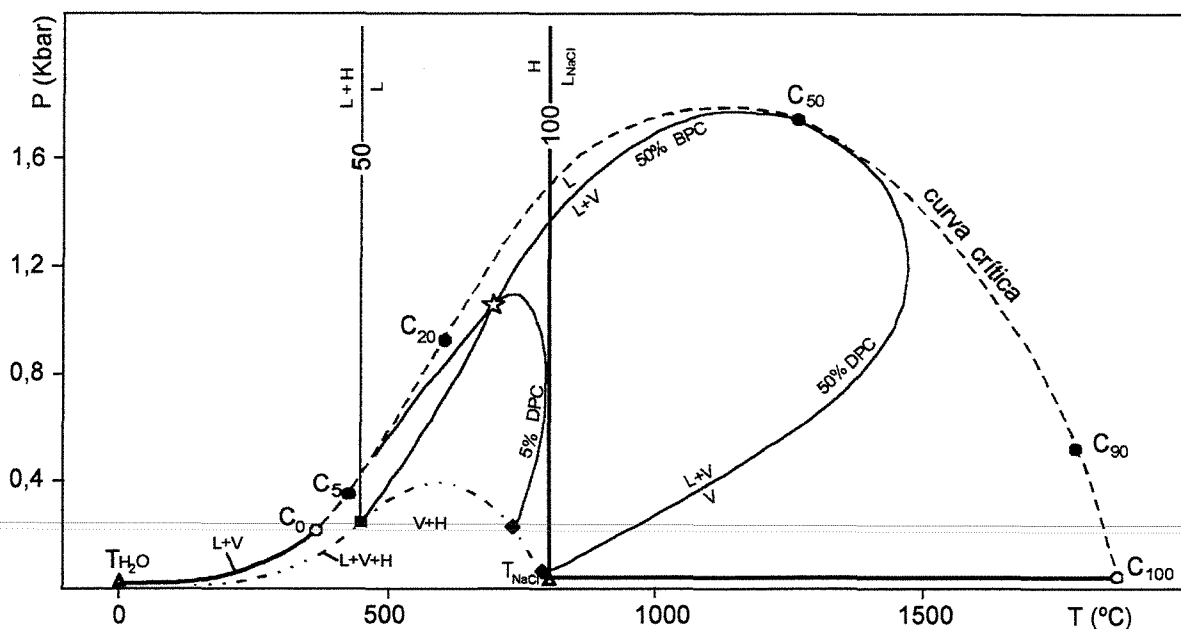


Figura 2.1 - Geometria e equilíbrio de fases no sistema $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$ em projeção no plano P-T (modificado de Pichavant *et al.* 1982). As linhas contínuas espessas são os limites de fase para os membros puros. As linhas contínuas finas são superfícies de imiscibilidade (isopletas) para sistemas com composições constantes de 5% e 50% em peso NaCl. A linha tracejada representa a curva crítica univariante. A linha com tracejada-pontilhada é a curva de saturação (L+V+H). Símbolos: triângulos vazios são os pontos triplos (T) da H_2O e NaCl puros; círculos vazios são os pontos críticos (C) da H_2O (C_0) e do NaCl (C_{100}) puros; círculos cheios são os pontos críticos de fluidos com composições intermediárias (C_5 , C_{20} , C_{50} , C_{90}); quadrado e losango cheios representam os pontos onde o fluido está saturado em L e V, respectivamente. L = $\text{H}_2\text{O}_{(l)}$; V = $\text{H}_2\text{O}_{(v)}$; H = halita. A estrela constitui o ponto onde as condições P-T são adequadas para uma fase fluida líquida contendo 50% em peso NaCl coexistir com uma fase fluida vapor com 5% em peso NaCl. Acima de 700°C , o formato da superfície de imiscibilidade e a localização dos pontos críticos e de saturação são estimados. A região do ponto tripo da H_2O está simplificada, não sendo representados os pontos eutético e peritético, nem as respectivas curvas de saturação (G + L + V e h + L + V).

1.3.2 Sistema $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2\pm\text{NaCl}$

O equilíbrio de fases no sistema $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ é mais complexo que no sistema $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$, sendo caracterizado pela presença dos seguintes elementos (Figura 2.2) (Pichavant *et al.* 1982):

- (1) um composto intermediário denominado clatrato ($\text{CO}_2 \cdot 5,75 \text{H}_2\text{O}$).
- (2) um domínio de imiscibilidade ($\text{H}_2\text{O}_{(l)} + \text{CO}_{2(l)}$) que intercepta a curva de saturação do clatrato e a curva crítica.
- (3) uma curva crítica inferior (CCI) e outra, superior (CCS), separadas pela região de imiscibilidade entre H_2O e CO_2 (curva $\text{L}_1\text{L}_2\text{V}$).

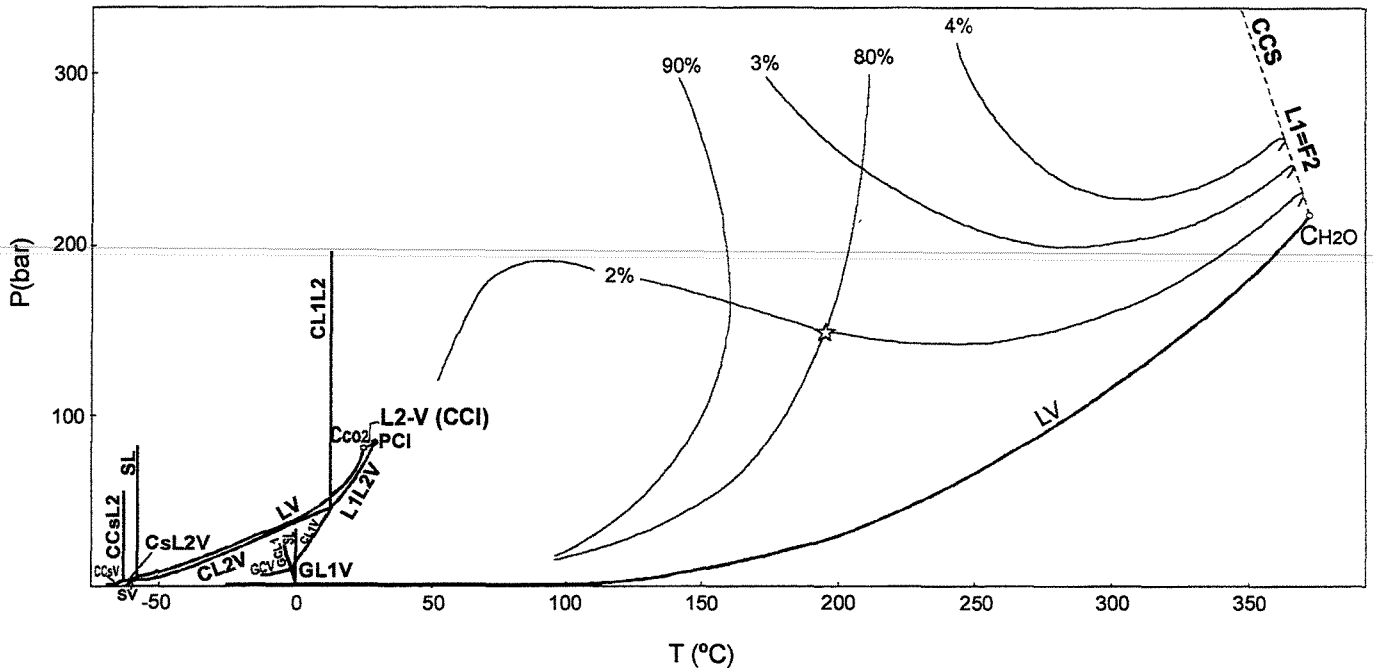


Figura 2.2 - Projecção P-T para o sistema $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$, exibindo o equilíbrio de fases em baixas pressões (extraído de Pichavant *et al.* 1982). As linhas contínuas espessas são os limites univariantes de fases para os sistemas binários e unitários. As linhas contínuas finas são isopletras da região de duas fases. As isopletras de 2, 3, e 4 mol% CO_2 representam a fase líquida rica em H_2O (L_1) em equilíbrio com um fluido rico em CO_2 . As isócoras de 80 e 90 mol% CO_2 representam um fluido rico em CO_2 (F_2) em equilíbrio com um líquido rico em H_2O . A estrela, intersecção das isopletras de 2 e 80 mol% CO_2 , determina as condições P-T de homogeneização de um par de fluidos imiscíveis: um, rico em H_2O e com 2 mol% CO_2 ; e outro, rico em CO_2 e com 20 mol% H_2O . C = clatrato; Cs = $\text{CO}_{2(s)}$; $\text{L}_1 = \text{H}_2\text{O}_{(l)}$; $\text{L}_2 = \text{CO}_{2(l)}$; F_2 = fluido carbônico; G = gelo. CCI = curva crítica inferior; CCS = curva crítica superior; PCI = ponto da curva crítica inferior.

No estado líquido, à baixa T, a solubilidade (miscibilidade) entre H_2O (molécula pequena e bipolar) e CO_2 (molécula grande e apolar) é extremamente reduzida. Com a elevação da T há o aumento da solubilidade entre estes dois componentes até 265°C e

220 MPa, acima do qual estes se tornam completamente miscíveis (Diamond, 2001).

A curva CCI estende-se do C_{CO_2} até a intersecção com a curva L_1L_2V , no ponto crítico inferior (PCI). Por causa do pequeno trecho da CCI e da proximidade com o C_{CO_2} , a quantidade de água dissolvida no fluido carbônico é muito pequena. A curva CCS origina-se no C_{H_2O} e, provavelmente, termina no ponto crítico superior (PCS), intersecção com a curva L_1L_2C (domínio da imiscibilidade $H_2O_{(l)}$ e $CO_{2(v)}$) (Pichavant *et al.* 1982).

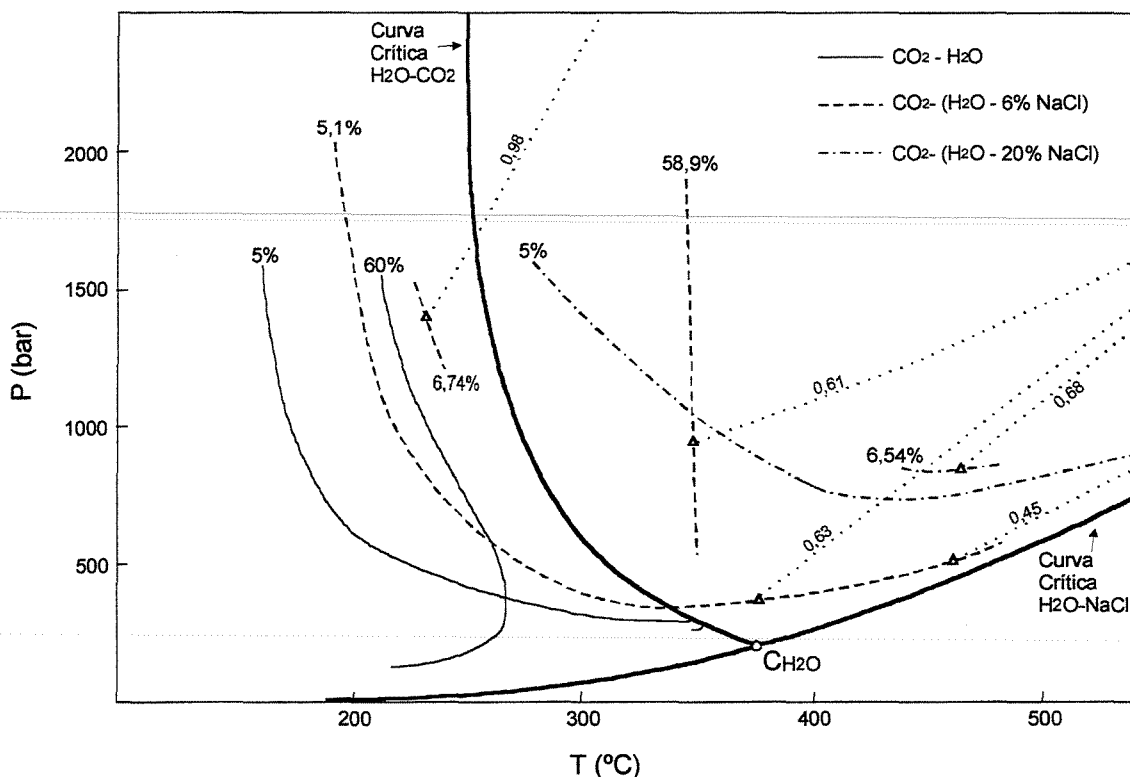


Figura 2.3 - Diagrama P-T para o sistema H_2O-CO_2-NaCl , mostrando o efeito da adição de NaCl e CO_2 sobre a extensão da região de duas fases para os sistemas binários (extraído de Pichavant *et al.* 1982). As linhas contínuas espessas são as curvas críticas (L+V) para os sistemas binários H_2O-CO_2 e $H_2O-NaCl$. As linhas curvas finas (contínuas, tracejada e tracejada-pontilhada) representam os limites de imiscibilidade: à direita das curvas está a região do fluido homogêneo (1 fase). Os números percentuais em cada curva referem-se a concentração de CO_2 (mol%). As linhas pontilhadas são isócoras para o sistema H_2O-CO_2 com 6% e 20% em peso NaCl. Os números ao longo das isócoras são valores de densidade das misturas ternárias.

Na Figura 2.2 são traçadas isopletras na superfície de imiscibilidade superior, que

é constituída pelas curvas de imiscibilidade e pelos pontos críticos correspondentes na CCS. O ponto de intersecção das isopletras de 2 e 80 mol% CO₂ define as condições P-T da homogeneização de dois fluidos imiscíveis: um, rico em H₂O e com 2 mol% CO₂; outro, rico em CO₂ e com 20 mol% H₂O.

Em função da reduzida solubilidade entre CO₂ e NaCl, há uma expansão do domínio de imiscibilidade no sistema H₂O-CO₂-NaCl em relação aos sistemas H₂O-CO₂ e H₂O-NaCl (Pichavant et al. 1982).

De acordo com a Figura 2.3, o aumento da concentração de NaCl no sistema H₂O-CO₂ desloca as curvas de imiscibilidade para temperaturas mais altas; enquanto o aumento da quantidade de CO₂ no sistema H₂O-NaCl desloca os limites de fase para pressões maiores (Pichavant et al. 1982).

1.3.3 Relação entre Isócoras e Limite de Fases

As inclusões fluidas são consideradas como sistemas que mantêm o seu volume total e a sua composição global constantes após o aprisionamento do fluido. A adoção deste modelo termodinâmico ideal significa que o fluido presente nas inclusões segue um percurso isocórico-isoplético na natureza, durante seu esfriamento, até as condições ambientes. Este percurso isocórico-isoplético é representado por linhas univariantes no plano P-T, independentemente do número de fases presentes no sistema.

Em sistemas puros e homogêneos, por exemplo, constituídos por H₂O ou CO₂, as isócoras originam-se em um ponto da curva de pressão de vapor, estendendo-se para o campo de uma das duas fases fluidas, L ou V, a depender somente do volume molar (ou densidade) do fluido. Portanto, as isócoras não cruzam nenhum outro limite de fases.

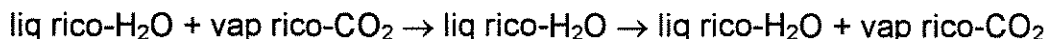
Nos sistemas binários (H₂O-NaCl, CO₂-CH₄ e H₂O-CO₂) e ternários (H₂O-CO₂-NaCl), para uma determinada composição, as isócoras emanam da superfície de imiscibilidade correspondente (Figura 2.3), em uma temperatura diretamente relacionada à densidade do fluido. Seu posicionamento no trecho BPC ou DPC da curva depende se o volume molar do fluido é maior ou menor, respectivamente, do que o valor do ponto crítico, o que está vinculado ao seu tipo de homogeneização (L ou V,

nesta ordem).

Para estes sistemas, há opiniões distintas quanto ao número de vezes que uma isócora pode interceptar um limite de fases. Com base na aplicação da regra de fases, Pichavant *et al.* (1982) afirmam que as isócoras interceptam somente uma vez qualquer limite de fases, incluindo as superfícies de imiscibilidade, visto que estas curvas descrevem trajetórias lineares no espaço P-T.

Diamond (1996) e Frantz *et al.* (1992), fundamentados em considerações teóricas e/ou em experimentos com inclusões fluidas sintéticas, mostram que, em determinados sistemas, pode haver duas ou mais intersecções entre isócoras e limites de fase.

No sistema $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$, as transições de fase resultantes da dupla intersecção entre isócoras e curvas de imiscibilidade são expressas por:



e marcam a heterogeneização (separação de fases) de um fluido que já havia se homogeneizado, ou seja, após o desaparecimento da bolha, ocorre o reaparecimento inusual da fase vapor em alta temperatura.

Estas transições de fase atípicas podem ser explicadas de duas formas:

(a) as inclusões não obedecem ao modelo isocórico-isoplético e seu comportamento é atribuído à ocorrência de expansão do volume de sua cavidade (*stretching*) ou ao vazamento de parte do seu conteúdo fluido (*leakage*). Este vazamento parcial provoca a diminuição da densidade da inclusão, e portanto da sua pressão interna, o que produz a imiscibilidade (Pichavant *et al.* 1982).

(b) as inclusões seguem o modelo termodinâmico ideal e seu comportamento indica a existência de campos de imiscibilidade a alta temperatura e pressão (Diamond, 1996). A ocorrência de *stretching* é descartada em função da reversibilidade e reprodutibilidade das observações realizadas nas inclusões fluidas. As mudanças de fase são consideradas incomuns pois é prática rotineira encerrar o aquecimento da inclusão no momento em que se atinge a primeira homogeneização total do fluido. Em segundo lugar há o fator limitante da crepitação natural das inclusões, devido ao aumento acentuado da pressão interna, antes que se atinja a exsolução de outra fase fluida.

Uma maior quantidade de dados experimentais em inclusões fluidas, no que se

refere à observação da heterogeneização de um fluido previamente homogeneizado, sob aquecimento progressivo, permitirá a definição da extensão e geometria dos domínios de imiscibilidade, em alta P e T, assim como a caracterização da natureza dos percursos isocóricos.

Se os resultados assegurarem a possibilidade de múltiplas intersecções, as inclusões que mostrarem as transições de fase descritas acima não poderão ser interpretadas da maneira convencional. A primeira temperatura de homogeneização (menor valor) pode não fornecer uma boa aproximação da temperatura de formação das inclusões (Diamond, 1996; Schmidt e Bodnar, 2000).

1.4 Curva de *Solvus* para o Sistema $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2\pm\text{NaCl}$

O diagrama T-X representa as relações entre a composição global do fluido e o seu tipo de aprisionamento e modo de homogeneização. Estas relações são estabelecidas com base no posicionamento da trajetória de evolução do fluido na superfície de miscibilidade ou curva de *solvus*, que delimita os domínios de uma e duas fases para uma determinada pressão.

Se o fluido for aprisionado acima da curva de *solvus*, na região de uma fase, o aprisionamento é denominado homogêneo e a temperatura de aprisionamento (T_A) é maior que a temperatura de homogeneização total (T_H) (Shepherd *et al.* 1985; Roedder e Bodnar, 1980; Pichavant *et al.* 1982; Diamond, 2001). Neste contexto, a assembléia de inclusões apresentará proporção volumétrica entre as fases (grau de preenchimento), composição e densidade constantes (Ramboz *et al.* 1982; Van den Kerkhof e Hein, 2001).

Se o fluido for aprisionado na curva de *solvus*, ou no seu interior, no domínio de duas fases imiscíveis, o aprisionamento resultante é heterogêneo e a temperatura de aprisionamento é igual à temperatura de homogeneização total. Como consequência, as populações de inclusões mostrarão proporção volumétrica entre as fases, composição e densidade variáveis.

No sistema $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$, as inclusões formadas tanto por aprisionamento homogêneo como por aprisionamento heterogêneo contêm duas fases fluidas imiscíveis

à temperatura ambiente: uma fase rica em H_2O e outra, em CO_2 . Para ilustrar este fenômeno, a Figura 2.4 retrata a evolução de um fluido aquo-carbônico durante seu esfriamento através da curva de solvus.

Consideremos um fluido original homogêneo que contém X mol % de CO_2 . Se o fluido for aprisionado no ponto A, onde H_2O e CO_2 são miscíveis, a inclusão, com o rebaixamento da temperatura, seguirá um percurso até interceptar a curva de *solvus* no ponto A'. Neste ponto, a mistura homogênea exsolve para originar duas fases imiscíveis no interior da inclusão: uma fase líquida aquosa e uma fase gasosa carbônica. Em condições ambientes, a inclusão será composta por $\text{H}_2\text{O}_{(l)}$ e $\text{CO}_{2(l)}$; adicionalmente poderá conter uma bolha de vapor rica em CO_2 no interior do $\text{CO}_{2(l)}$. A população de inclusões terá composição constante de $\text{H}_2\text{O}_{(1-X)}\text{CO}_{2(X)}$ (em mol %) e homogeneizará no ponto A', que fornece apenas uma estimativa mínima da temperatura de aprisionamento ($T_{H1} < T_A$).

Por outro lado, durante o esfriamento a partir do ponto A, quando este fluido atingir a curva de *solvus*, a mistura separar-se-á em dois fluidos imiscíveis de composições contrastantes (pontos A' e B). Estes dois fluidos coexistentes podem ser aprisionados separadamente em um par de inclusões cogenéticas, caracterizando a ocorrência da imiscibilidade de fluidos. À temperatura ambiente, as duas inclusões também serão compostas por $\text{H}_2\text{O}_{(l)}$ e $\text{CO}_{2(l)}$, porém com diferentes proporções volumétricas dessas duas substâncias. A inclusão contendo fluido rico em CO_2 (ponto A') apresentará $V_{\text{CO}_2} > V_{\text{H}_2\text{O}}$, ao passo que, a inclusão com fluido rico em H_2O (ponto B) mostrará $V_{\text{CO}_2} < V_{\text{H}_2\text{O}}$. As duas inclusões homogeneizarão na mesma temperatura, que corresponderá à temperatura de aprisionamento ($T_{H1} = T_{A'}$), sendo uma no estado gasoso e outra no estado líquido, respectivamente.

Com o decréscimo da temperatura, o fluido que não foi aprisionado continua a sofrer separação de fases (pontos C e D) e tende a produzir fases fluidas imiscíveis cada vez mais puras (pontos E e F). A separação física completa dos dois membros extremos, H_2O e CO_2 puros, pode ou não ocorrer.

Outra característica importante da imiscibilidade é a grande probabilidade do aprisionamento de uma mistura mecânica estável deste par de fluidos imiscíveis. Este aprisionamento heterogêneo resulta em inclusões com grau de preenchimento

extremamente variável, compreendendo composições que podem abranger todo o intervalo entre os dois membros extremos.

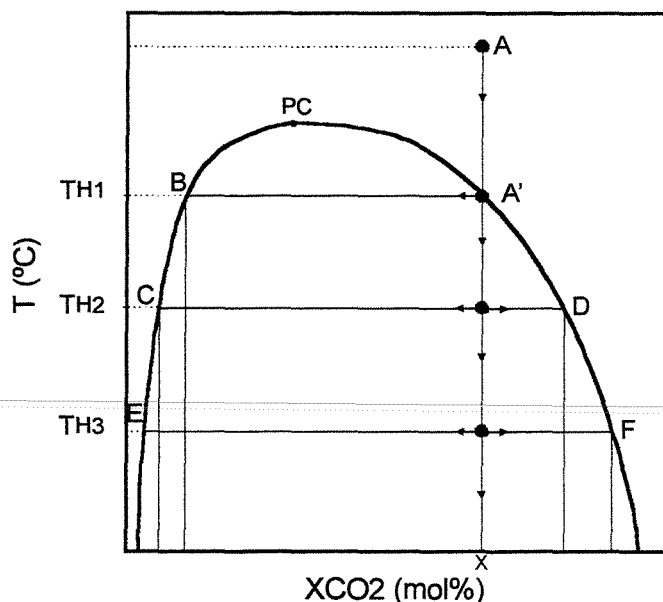


Figura 2.4 - Diagrama T - X_{CO_2} ilustrando a evolução de um fluido aquo-carbônico durante seu esfriamento através da curva de *solvus* (modificado de Shepherd *et al.* 1985). Na região de uma fase (ponto A), o aprisionamento é homogêneo. A partir do ponto A', o fluido homogêneo original exsolve em duas fases imiscíveis, e o aprisionamento neste momento é heterogêneo. As inclusões contendo estas duas fases fluidas em imiscibilidade homogeneizam-se na mesma temperatura. PC = ponto crítico; X_{CO_2} = fração molar de CO_2 .

A posição da curva de *solvus* é influenciada por alterações na composição e/ou na pressão do fluido homogêneo. A adição de solutos e/ou voláteis, assim como a queda na P no momento do aprisionamento, deslocam a curva de *solvus* para temperaturas mais altas, facilitando a entrada do fluido em estado de imiscibilidade.

2 O PAPEL DA IMISCIBILIDADE DE FLUIDOS NA SOLUBILIDADE E DEPOSIÇÃO DO OURO

De acordo com dados termodinâmicos obtidos experimentalmente, em condições mesotermiais, o ouro é transportado em soluções hidrotermais como um bissulfeto

auroso (Ridley *et al.* 1996; Mikucki, 1998). Em soluções ricas em H_2S , com pH aproximadamente neutro ou levemente alcalino, o complexo $\text{Au}(\text{HS})_2^-$ é a espécie dominante (Seward, 1973; Bening e Seward, 1996). Para soluções com baixa concentração de S reduzido e pH ácido, a espécie neutra $\text{Au}(\text{HS})^0$ será o principal complexo no transporte do ouro (Bening e Seward, 1996).

O ouro atinge solubilidade significativa no fluido mineralizante quando é transportado como $\text{Au}(\text{HS})_2^-$ em condições moderadamente redutoras, com pH neutro a levemente alcalino e conteúdo total de S ($m_{\Sigma\text{S}}$) moderado a alto. No intervalo de 400°C a 500°C, sob condições típicas para um fluido formador de depósitos auríferos do tipo *lode* arqueanos, a solubilidade do ouro pode alcançar 10 ppm (Mikucki, 1998).

A precipitação do ouro ocorre quando há desestabilização do bissulfeto auroso, provocada por modificações nas condições físico-químicas do fluido no sítio de deposição. A mudança na química, P e T do fluido mineralizante resultam de vários processos geológicos (Mikucki, 1998; McCuaig e Kerrich, 1998), entre eles: (1) interação fluido-rocha encaixante; (2) mudança de P e T; (3) imiscibilidade de fluidos; (4) mistura de fluidos; e (5) quimisorção.

A interação metassomática entre o fluido mineralizante e as rochas hospedeiras é o processo responsável pela ocorrência de ouro disseminado nas zonas de alteração hidrotermal em torno dos veios de quartzo. Em vários depósitos, a ocorrência de ouro livre e em altos teores, no interior de sistemas de veios de quartzo e brechas hidráulicas, é atribuída à atuação da imiscibilidade de fluidos (Robert e Kelly, 1987; Walsh *et al.* 1988; Guha *et al.* 1991). Contudo, nem sempre, a imiscibilidade é o único ou principal mecanismo responsável pela formação de veios de quartzo auríferos (Xavier e Foster, 1999).

A imiscibilidade acontece quando, ao longo de sua trajetória de ascensão na crosta, o fluido sofre alteração das condições de P e T que o coloque abaixo da curva de *solvus* específica para a sua composição química (Mikucki, 1998). A alteração destas condições está vinculada à: (1) intermitentes e rápidas quedas de P_{fluido} durante a formação dos veios e brechas de quartzo (*fault-valve mechanism* – Sibson *et al.* 1988; Cox *et al.* 1995); (2) diminuição de T; e (3) expansão da curva de *solvus* para T mais altas em função da adição de sais ou voláteis, através da interação com as rochas

encaixantes ou por mistura com fluidos externos.

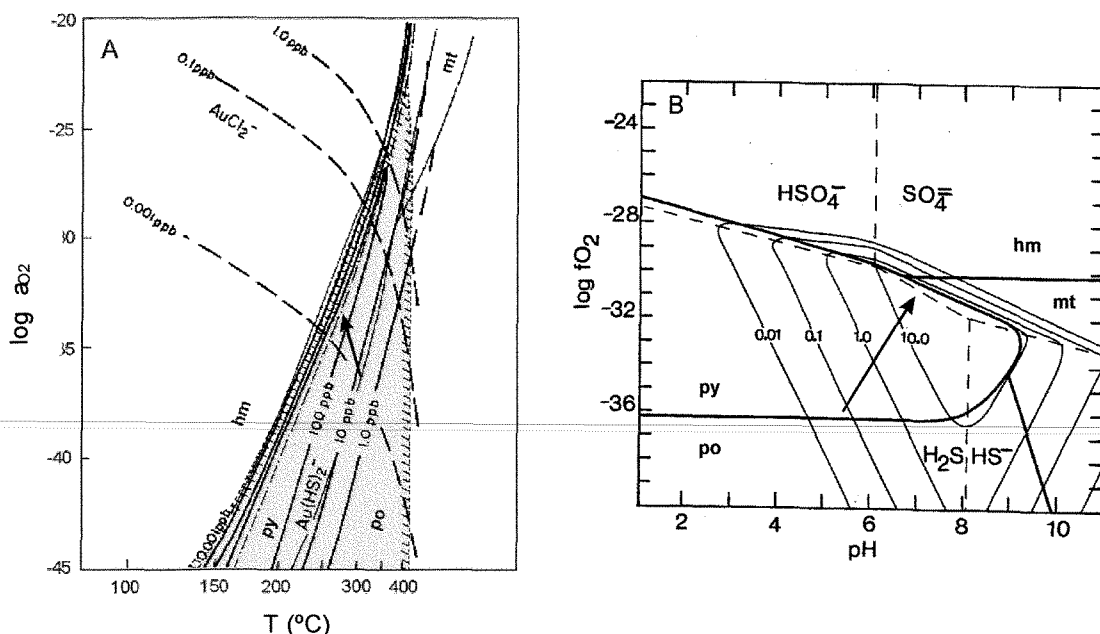


Figura 2.5 - **(A)** Solubilidade do ouro em função da T e a_{O_2} para solução aquosa contendo 6% em peso de NaCl e 0,01 m de S e com pH=6 (extraído de Romberger, 1990). As linhas espessas contínuas são para $Au(HS)_2^-$ e as tracejadas para $AuCl_2^-$. Os campos de estabilidade de óxidos e sulfetos de ferro são delimitados por linhas contínuas finas. O limite entre os campos de estabilidade das espécies aquosas sulfeto e sulfato é mostrado como uma linha tracejada-pontilhada fina. A área em cinza representa o campo onde dominam os complexos bissulfetos. **(B)** Solubilidade do ouro como $Au(HS)_2^-$ em função do pH e f_{O_2} , para solução com 0,05 m de S e $T=300^\circ\text{C}$ (extraído de Roberts, 1988). As linhas contínuas espessas separam os campos de estabilidade dos sulfetos e óxidos de Fe. As linhas contínuas finas representam contornos de solubilidade em ppm. As linhas tracejadas separam os campos de estabilidade das espécies aquosas. As setas ilustram um possível percurso onde pode haver acréscimo da solubilidade do ouro, motivado pela diminuição da T e pelo aumento da f_{O_2} e pH, durante o princípio da separação de fases. Minerais: py = pirita; po = pirrotita; hm = hematita; mt = magnetita.

Os efeitos no pH, f_{O_2} , e $m_{\Sigma S}$ do fluido, produzidos pela separação de fases, são estabelecidos fundamentalmente em depósitos epitermais e em sistemas geotermiais (Giggenbach, 1980; Drummond e Ohmoto, 1985; Hedenquist *et al.* 1992). Estas modificações são estendidas para sistemas mesotermiais, considerando-se as condições de P e T mais elevadas e a exsolução de uma fase vapor rica em CO_2 e

outros voláteis.

A imiscibilidade promove a partição dos voláteis para fase vapor e, conseqüentemente, altera os principais parâmetros do fluido residual (Drummond e Ohmoto, 1985; Bowers, 1991; Mikucki, 1998; McCuaig e Kerrich, 1998):

(1) os gases reduzidos (H_2 , CH_4 , H_2S), em função de sua maior volatilidade, exsolvem primeiro para a fase vapor, levando ao aumento da fO_2 do fluido aquoso residual.

(2) os gases ácidos (CO_2 , H_2S , SO_2) desprendem-se em direção à fase carbônica, ocasionando o aumento do pH do fluido.

(3) a perda de H_2S diminui a concentração total de S ($m\Sigma_S$) no fluido residual e pode provocar a desestabilização do bissulfeto auroso.

A variação destes parâmetros no fluido residual, pelo menos no início da separação de fases, não necessariamente conduz à deposição imediata do ouro. A precipitação do ouro é favorecida se a magnitude relativa da perda de S supera o aumento da fO_2 e do pH, conforme evidenciado pela reação (Bowers, 1991):



O aumento da fO_2 (perda de H_2) e do pH (consumo de H^+) deslocam a reação para a direita, sugerindo o aumento da solubilidade do ouro. Por outro lado, a perda de H_2S desloca a reação para a esquerda, levando à deposição do ouro.

De acordo com a composição, condições redox e pH iniciais do fluido, e conforme a magnitude e taxas relativas de variação da fO_2 , do pH e da temperatura, durante o princípio da separação de fases pode haver aumento da solubilidade do ouro no fluido mineralizante (Drummond e Ohmoto, 1985; Mikucki, 1998; McCuaig e Kerrich, 1998). A elevação na solubilidade do ouro como $Au(HS)_2^-$ atinge seu ápice no limite entre os campos de S reduzido e oxidado (Figuras 2.5A e B). Em condições mais oxidantes, o sulfato é a espécie dominante, de forma que a solubilidade do ouro como complexo bissulfeto diminui acentuadamente, acarretando a precipitação do ouro em grande quantidade (Roberts, 1988; Romberger, 1990).

Bowers (1991), em seu estudo sobre a deposição de metais a partir de um fluido submetido à separação de fases, mostra que a perda de voláteis pode não conduzir ao aumento linear do pH e da fO_2 no fluido residual. O comportamento destas variáveis é

dependente da especiação do fluido, da capacidade de tamponamento da solução, dos minerais que se precipitarão e de possíveis reações com as rochas encaixantes.

CAPÍTULO III – A IMISCIBILIDADE DE FLUIDOS EM MINERALIZAÇÕES AURÍFERAS DO TIPO *LODE* NA BACIA PALEOPROTEROZÓICA DE JACOBINA, BA

1 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A Bacia de Jacobina está localizada na parte NE do cráton do São Francisco, Estado da Bahia, posicionando-se na borda leste do Bloco Gavião (3,4 Ga), próximo ao contato com o Bloco Jequié e Cinturão Salvador-Curaçá (2,6 a 2,8 Ga) (Figuras 3.1 e 3.2). A leste faz contato tectônico com o *Greenstone Belt* de Mundo Novo através da falha reversa de Pindobaçu. Esta bacia está assentada sobre um embasamento dominado por gnaisses migmatíticos de composição TTG e é intrudida por rochas ultramáficas e máficas (Figura 3.2).

As rochas metassedimentares desta bacia foram agrupadas por Leo et al. (1964) no Grupo Jacobina. Mascarenhas *et al.* (1989, 1992, 1998) dividem o Grupo Jacobina em cinco formações (Figura 3.3), da base para o topo: (a) Formação Serra do Córrego - quartzitos, xistos e metaconglomerados; (b) Formação Rio do Ouro - arenitos com estratificação cruzada e intercalações descontínuas de metapelitos negros contendo material carbonoso e andaluzita; (c) Formação Cruz das Almas - metapelitos contendo aluminossilicatos e quartzitos; (d) Formação Serra do Meio - quartzitos e metaconglomerados com níveis de xistos portando aluminossilicatos; e (e) Formação Serra da Paciência - filitos, quartzitos e metaconglomerados. A associação de xistos, filitos, formações ferríferas e manganesíferas, cherts e quartzitos da Formação Água Branca são retiradas da sequência deposicional do Grupo Jacobina e, conjuntamente com a Formação Bananeiras, são consideradas como parte do *Greenstone Belt* de Mundo Novo (Mascarenhas e Silva, 1994).

A evolução tectônica da Bacia de Jacobina está relacionada à colisão continental (Orogênese Transamazônica) ocorrida durante o Paleoproterozóico e que consolidou a porção NE do cráton do São Francisco ao longo do cinturão Itabuna-Salvador-Curaçá (Ledru *et al.* 1994).

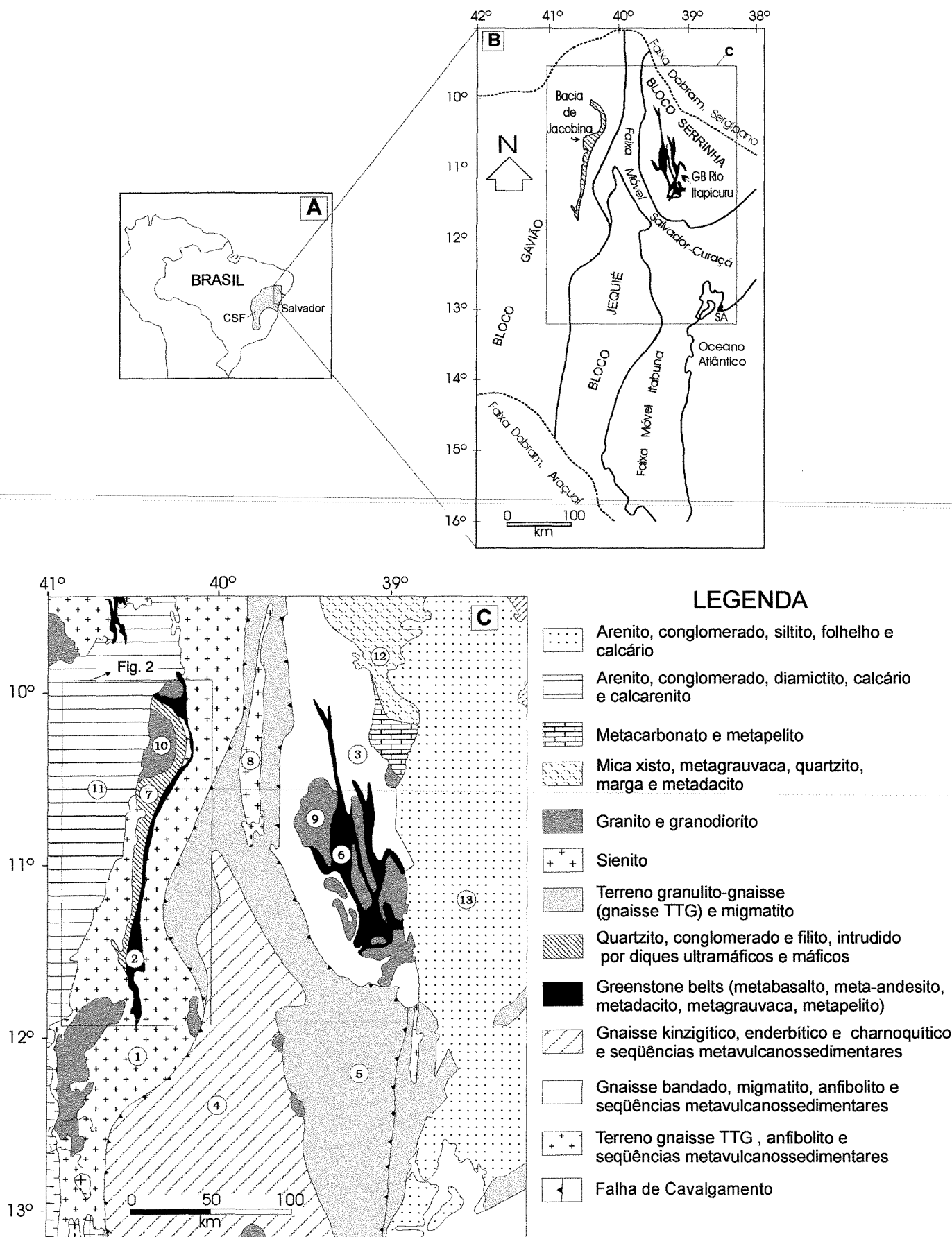


Figura 3.1- Localização da área de estudo (A) e posicionamento da Bacia de Jacobina (B), em relação às principais unidades arqueanas e paleoproterozóicas, na porção NE do Cráton do São Francisco (CSF). (C) Mapa geológico regional da parte NE do Estado da Bahia (modificado de Barbosa e Dominguez, 1996). Unidades Geológicas: 1- Embasamento do Bloco Gavião; 2- Greenstone Belt de Mundo Novo; 3- Embasamento do Bloco Serrinha; 4- Bloco Jequié; 5- Cinturão Móvel Salvador - Curaçá; 6- Greenstone Belt do Rio Itapicuru; 7- Grupo Jacobina; 8- Sienito Itiúba; 9- Granito Nordestina; 10- Granito Campo Formoso; 11- Cobertura Sedimentar Meso- a Neo-proterozóica (Grupo Chapada Diamantina e Supergupo Espinhaço); 12- Faixa de Dobramentos Sergipano; 13- Sedimentos cretácicos (Bacia Tucano).

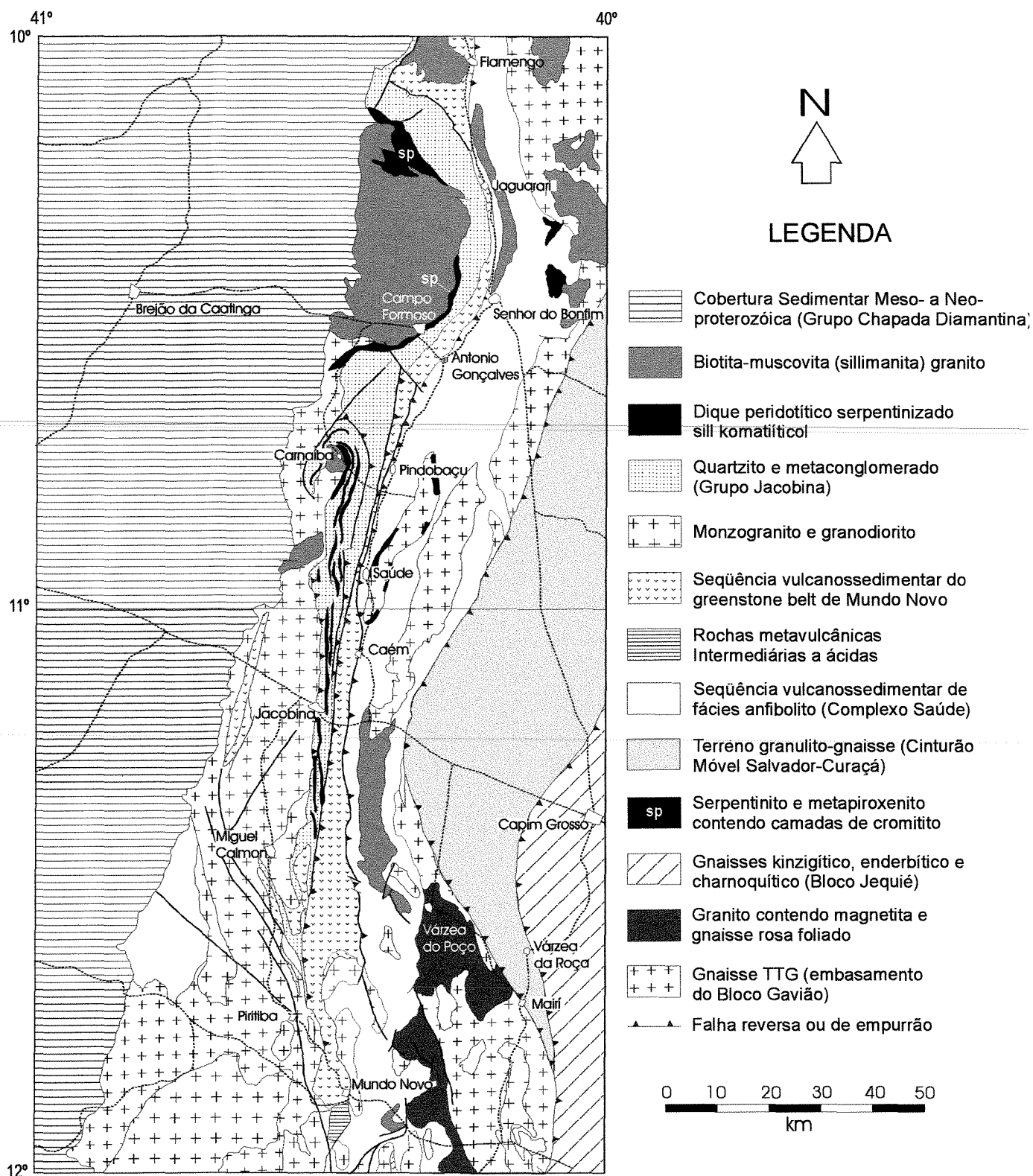


Figura 3.2 - Mapa geológico da região da Serra de Jacobina (modificado de Mascarenhas *et al.* 1998).

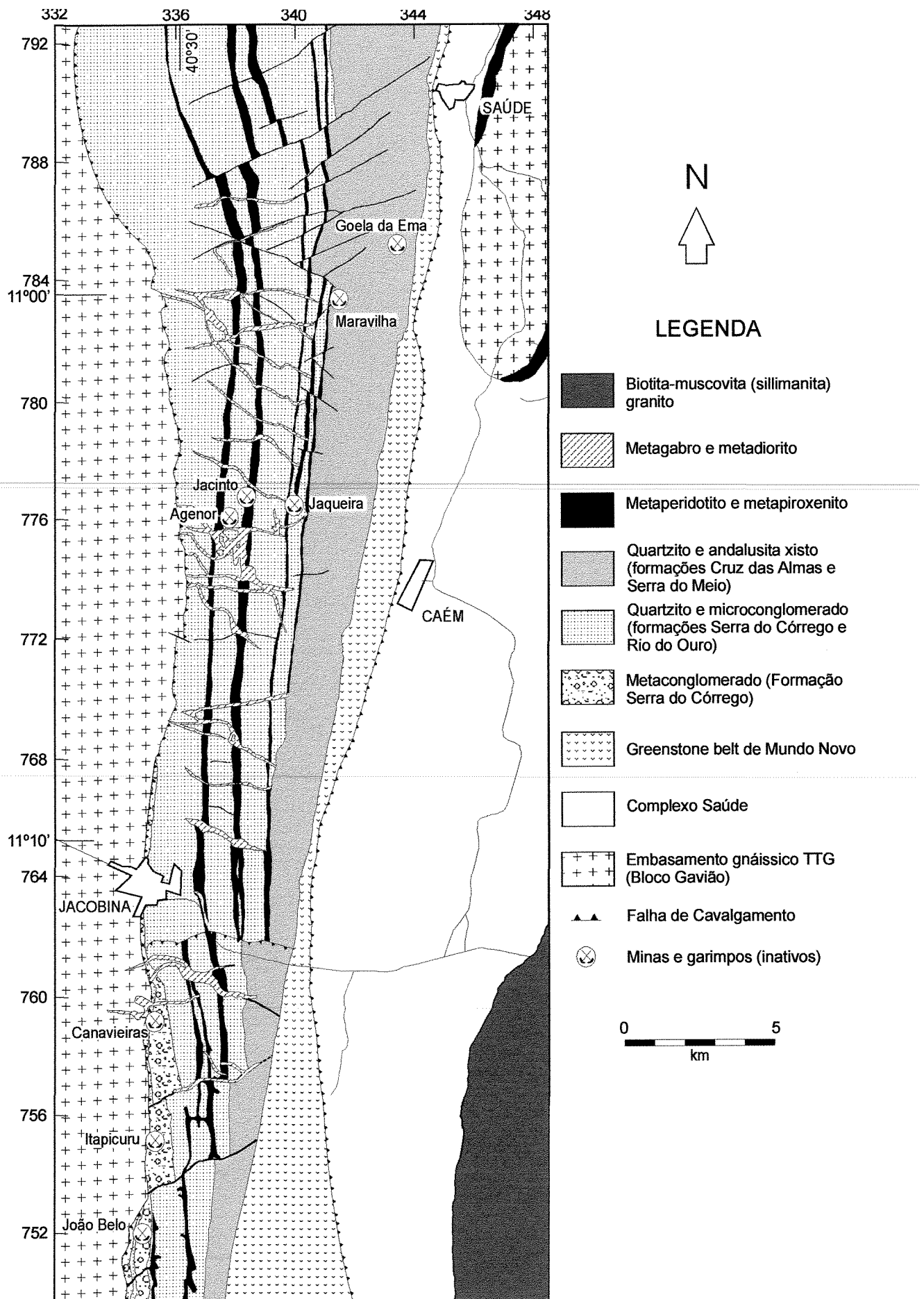


Figura 3.3 - Mapa geológico da parte central da Serra de Jacobina (modificado de Couto *et al.*, 1978; Mascarenhas *et al.*, 1998).

Este processo de acreção provocou um encurtamento crustal de direção aproximadamente E-W e está registrado na região da Bacia de Jacobina por meio de um evento de cavalgamento e dobramento progressivo, paralelo ao acamamento das formações do Grupo Jacobina e com vergência para W, que, posteriormente, evoluiu para zonas de cisalhamento regionais de direção N-S, com desenvolvimento de transpurrões sinistrais ao longo de planos subverticais (Mascarenhas *et al.* 1992; Mascarenhas e Silva, 1994; Ledru *et al.* 1997).

Os empurrões de E para W promoveram o empilhamento das rochas com diferentes graus metamórficos em escamas tectônicas, colocando o Grupo Jacobina sobre o embasamento do Bloco Gavião a W e levando unidades mais antigas a E da bacia a se sobreporem aos metassedimentos. As zonas de transcorrência sinistral tardias, associadas ao aumento do grau metamórfico por espessamento crustal, ocasionaram a fusão parcial destas rochas e controlaram o posicionamento de magmas peraluminosos.

Na porção central, o Grupo Jacobina está disposto em uma estrutura homoclinal, com direção N-S, mergulhando para leste (55° a 65°) e encontra-se segmentado em blocos, separados por falhas resultantes de esforços compressivos provenientes do SE (Molinari e Scarpelli, 1988).

O grau metamórfico dos metassedimentos do Grupo Jacobina é característico de fácies xisto verde, embora o metamorfismo apresente um caráter progressivo documentado pela presença de polimorfos de Al_2SiO_5 (andaluzita-sillimanita e cianita-andaluzita) predominantemente em zonas de cisalhamento e fissuras nas unidades a W (Ledru *et al.* 1997).

A origem e formação da Bacia de Jacobina é explicada através de dois modelos tectono-estratigráficos:

(a) De acordo com Mascarenhas *et al.* (1989, 1992), o Grupo Jacobina representa uma seqüência siliciclástica transgressiva e sem contribuição vulcânica significativa, que se desenvolveu, possivelmente, em uma bacia do tipo *rift* posicionada em margem continental ativa e com alta taxa de subsidência. A transição do ambiente deposicional, de sistema de leques e planícies aluviais (Formação Serra do Córrego) para o de mar aberto (Formações Cruz das Almas, Serra do Meio e Serra da

Paciência), está relacionada à evolução do *rift* e ao aprofundamento e subsidência termal da bacia.

(b) Segundo Ledru *et al.* (1997), a Bacia de Jacobina é uma bacia do tipo *foreland*, situada na frente do cinturão orogênico colisional desenvolvido a ~2,0 Ga (Orogênese Transamazônica). A subsidência é atribuída à flexura da litosfera em resposta ao espessamento crustal periférico. As unidades sedimentares desta bacia são produto da erosão do cinturão de colisão e possuem caráter tardi-tectônico, registrando os estágios finais da orogenia paleoproterozóica. Durante a progradação da bacia para oeste são identificados pelo menos cinco estágios sucessivos de evolução, ligados por falhas de cavalgamento caracterizadas por rochas dúcteis como talco xisto e quartzo-muscovita xisto. Seguindo este modelo, a Bacia de Jacobina, conforme Mougéot *et al.* (1996a), formou-se entre 2086 Ma (idade U/Pb de zircão detrítico mais jovem em gnaisses pelíticos) e 1883 Ma (idade Rb/Sr de granitos pós-tectônicos). As datações Ar/Ar da época de esfriamento de micas sin-cinemáticas indicam que os eventos de cavalgamento e transcorrência ocorreram entre 1940 e 1910 Ma, quando se deu a inversão da bacia.

2 AS MINERALIZAÇÕES AURÍFERAS DO GRUPO JACOBINA

As mineralizações auríferas abordadas neste estudo encontram-se hospedadas principalmente pela seqüência de rochas metassiliciclásticas pertencentes ao Grupo Jacobina, que se dispõe em um cinturão alongado de direção NNE-SSW e dá conformação à unidade geomorfológica denominada Serra de Jacobina, com cerca de 200 km de extensão por 6 a 12 km de largura e altitude de até 1000 m.

Os maiores corpos de minério estão concentrados nos horizontes metaconglomeráticos da Formação Serra do Córrego, na base da bacia. Estes metaconglomerados auríferos da Bacia de Jacobina foram classificados por Bateman (1958) como mineralizações do tipo Witwatersrand e, a exemplo da bacia sul-africana, sua gênese é explicada pelos modelos de paleoplacer *sensu strictu*, paleoplacer modificado e hidrotermal.

Os modelos paleoplacer *sensu strictu* (Petrorius, 1981) e paleoplacer modificado

(Cox, 1967; Gross, 1968; Molinari e Scarpelli, 1988) indicam que a maior parte da mineralização é singenética, tendo sido adotados pelas companhias mineradoras como guia para prospecção geológica e exploração do minério ao longo deste século.

A área fonte do ouro, com base na característica proximal dos conglomerados da Formação Serra do Córrego em um sistema de leques e planícies aluviais com sentido de paleocorrentes para oeste, situa-se a leste da Serra de Jacobina (Molinari e Scarpelli, 1988; Horscroft et al. 1989; Mascarenhas et al. 1992) e, conforme Mascarenhas e Silva (1994), poderia ser representada pelas rochas que constituem o recém-definido *Greenstone Belt* de Mundo Novo. Desta forma, segundo estes mesmos autores, o ouro contido nos horizontes conglomeráticos seria trazido na forma detrítica, através da erosão das rochas do *greenstone*, ou lixiviado por hidrotermalismo subsequente.

De acordo com White (1961) e Leo et al. (1965), as mineralizações auríferas foram formadas a partir de soluções hidrotermais introduzidas ao longo de zonas de fraturas norte-sul, aparentemente paralelas ao acamamento sedimentar, como atestam as zonas mineralizadas discordantes do acamamento dos metaconglomerados e quartzitos, assim como os sistemas de veios e vênulas de quartzo, associados à extensa sericitização e cloritização.

Em trabalhos recentes, Ledru et al. (1997), Milési et al. (1996) e Mougeot et al. (1996b) propuseram o modelo epigenético-hidrotermal para as mineralizações auríferas, com base em: (a) evidências de re-sedimentação dos estágios iniciais de formação da bacia e presença de alteração hidrotermal; (b) extensa atividade hidrotermal, pelo menos parcialmente em conexão com magmatismo fissural básico a ácido; e (c) alto gradiente geotermal (40°C/km) detectado pela coexistência de polimorfos de Al_2SiO_5 .

A análise petrográfica indica que os metaconglomerados são rochas predominantemente clasto-suportadas, oligomíticos, com seixos de quartzo policristalinos bem arredondados e selecionados (até 5 cm); subordinadamente há clastos de chert e quartzito fino com fuchcita e rutilo. A matriz é composta por quartzo, pirita, mica branca (muscovita e sericita), fuchcita, clorita, rutilo, zircão, turmalina cromífera, ouro e monazita.

Os grãos de quartzo apresentam recristalização, mostram contatos serrilhados e pequena incidência de extinção ondulante e por setores. Em porções localizadas ocorrem evidências de migração dos limites dos grãos e formação de subgrãos. Em vários locais é difícil distinguir os limites dos clastos de quartzo em relação à matriz, denotando um processo de silicificação da rocha.

A cor dos metaconglomerados mineralizados varia de cinza a verde claro ou verde escuro, devido à presença de fuchsitita, até marron avermelhado, em função da oxidação da pirita. Existem outros níveis conglomeráticos com matriz fina e de cor branca que são praticamente desprovidos de fuchsitita e pirita e, portanto, fracamente mineralizados (White, 1957).

A pirita é o sulfeto dominante e ocorre principalmente na matriz dos conglomerados, onde perfaz até 30% em volume da assembléia mineral. Às vezes, a pirita está presente ao longo de fraturas nos seixos de quartzo juntamente com quartzo, fuchsitita e rutilo. Os cristais de pirita apresentam formas irregulares, subédricas a euédricas (neoformados) e, secundariamente, possuem feições arredondadas (possivelmente de origem detrítica). Suas dimensões variam de < 0,1 mm a 2 mm e seus grãos estão fraturados, fragmentados ou parcialmente corroídos/substituídos.

A pirita está quase sempre associada com fuchsitita (cloritita) e rutilo e mostra feições texturais de substituição, na medida em que contém reentrâncias – incipiente textura em cárie – preenchidas por quartzo ou fuchsitita, ou, pontualmente, ocorrem como relictos alongados seguindo a clivagem dos filossilicatos. O sulfeto contém inclusões milimétricas de quartzo, fuchsitita, rutilo e zircão, como também inclusões submicroscópicas (2 μ m a 50 μ m) de pirrotita, calcopirita, galena, esfalerita, pentlandita, monazita, óxido de U (uraninita e/ou pitchblenda).

A pirita foi submetida a um ataque oxidativo (*etching*) com uma solução de KMnO_4 em 1:1 H_2SO_4 , conforme Ramdohr (1980) e Fleet et al. (1989), porém não revelou nenhum zoneamento ou diferenças composicionais ou texturais.

O ouro ocorre na forma de pequenos grãos irregulares (2 a 20 μ m) presentes como inclusões na pirita ou em contato direto com esta. Subordinadamente foi observado como grãos livres dispersos na matriz, associado a quartzo ou fuchsitita, e nas fraturas de um grão de zircão. O ouro encontra-se como elemento nativo e contém

2-2,8% Ag em sua composição, de acordo com análise no microscópio eletrônico de varredura.

Pelo menos uma parcela das mineralizações auríferas nos horizontes conglomeráticos é de natureza hidrotermal. De acordo com Milési et al. (1996), os horizontes ricos em ouro (5 a 6 g/t) estão associados com pirita e mostram um controle por fraturas ou zonas de cisalhamento, que cortam o acamamento dos conglomerados na Mina João Belo. Sistemas locais de vênulas de sulfetos são observados no contato de níveis metaconglomeráticos com quartzitos estéreis. Estes sistemas de vênulas sulfetadas, e nos quais o ouro alcança seus mais altos teores, são circundados por um envelope de sulfetos disseminados com baixo teor de ouro que, por sua vez, encontra-se envolvido por um halo de fuchcita. Observações texturais mostram que estas vênulas estão localmente cortando os seixos de quartzo (Milési et al. 1996).

Os horizontes metaconglomeráticos das minas João Belo (nível 605) e Itapicuru (nível 630) possuem mineralizações auríferas claramente epigenéticas, representadas por brechas silícicas (Figura 3.4A) e massas e veios de quartzo subhorizontais a inclinados (Fig 3.4B) que cortam os metaconglomerados e quartzitos, inclusive englobando porções destas rochas em clastos angulosos. Os veios de quartzo apresentam ramificações e ligam-se às brechas. A brecha silícica da Mina Itapicuru possui 50-60 m de extensão, apresentando feições de fraturamento hidráulico e crítico por ação de fluido hidrotermal (conforme conceito de Jébrak, 1997) e contém teores elevados de ouro.

A assembléia mineral dos veios de quartzo e da brecha silícica é composta por quartzo, pirita, fuchcita (muscovita), rutilo, zircão, turmalina, ouro e monazita. Contudo, em vários pontos há uma diminuição, ou até ausência, da pirita e fuchcita quando comparada às porcentagens existentes na matriz dos conglomerados. Aqui, o quartzo representa mais de 95% da rocha e nem sempre é possível identificar os limites destes veios e brechas em relação ao metaconglomerado (Fig 3.4A e C). O quartzo e a pirita apresentam formas, dimensões e feições texturais similares àquelas encontradas nos níveis de metaconglomerados.

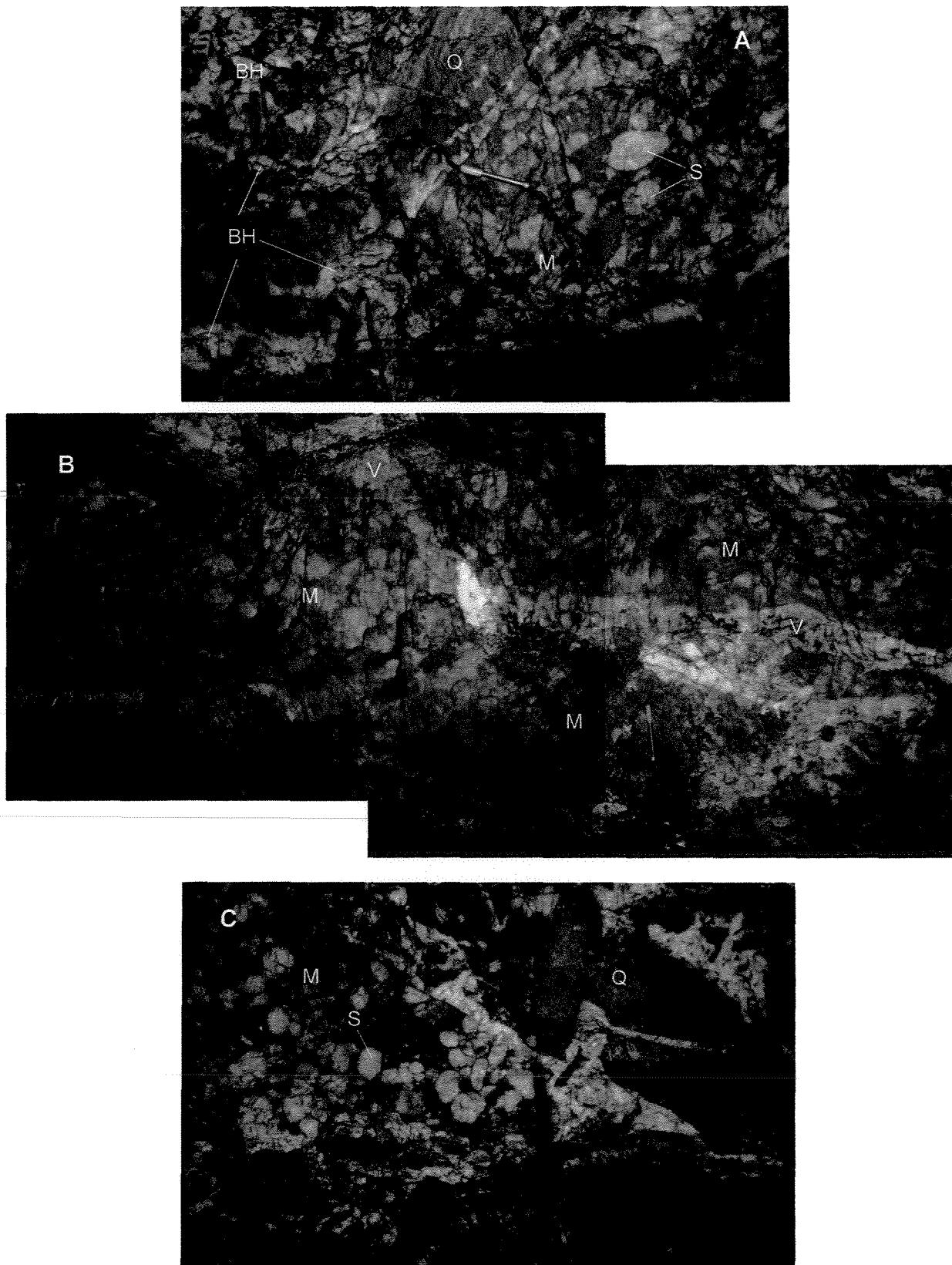


Figura 3.4 - Mineralizações auríferas epigenéticas no interior de metaconglomerados da Formação Serra do Corrego, Nível 630 da Mina Itapicuru (Main Reef). **(A)** Brecha hidráulica (BH) encaixada nos metaconglomerados (M). Os quartzitos (Q) são menos afetados pelo fraturamento e pelo brechamento hidráulico. Em vários pontos não é possível identificar o limite entre a brecha e o metaconglomerado. **(B)** Veios (V) e massas irregulares de quartzo que cortam os metaconglomerados. **(C)** Zona de contato entre massa irregular de quartzo e metaconglomerado. Os seixos de quartzo (S) do metaconglomerado são seccionados bruscamente.

Tabela 3.1 - Características principais de mineralizações auríferas epigenéticas hospedadas por unidades sobrepostas à Formação Serra do Córrego e onde se desenvolveram explorações garimpeiras (segundo Teixeira *et al.* no prelo).

GARIMPO	DESCRIÇÃO	ESTRUTURA	TEOR (g Au/t)
Jaqueira	Dique diorítico com 0,8-1,8 m de espessura inserido na Formação Rio do Ouro. O ouro é muito fino e ocorre disseminado na rocha básica, associado a pirita e quartzo. Os maiores teores encontram-se próximos a veios extensionais. Secundariamente, o ouro está presente em veios e vênulas de quartzo com pirita.	O dique preenche uma fratura de tensão que possui mergulho de 45°SW.	-
Maravilha	Quatro veios de quartzo com até 3 m de espessura alojados em quartzitos da Formação Cruz das Almas.	Os veios estão relacionados à zonas de cisalhamento, possuem direção variável (N30W-NS) e mergulho irregular (10°-50° W-SW), e dispõem-se subparalelamente à foliação milonítica.	6,0
Goela da EMA	Veios de quartzo alojados em quartzitos ricos em sericita da Formação Serra do Meio. O ouro ocorre associado a pirita e calcopirita no veio de quartzo, na zona de alteração e no quartzito encaixante. Au livre é encontrado em microfraturas nos veios.	O veio principal exibe textura cataclástica e situa-se no interior de uma zona "milonítica" com até 5 m de espessura. O veio mostra direção N-S e mergulha 85° para E.	8,0
Coxo de Dentro	Veio de quartzo encaixado no contato de rocha ultrabásica retrometamorfizada com quartzito da Formação Rio do Ouro.	Veio com direção NE-SW.	9,0-10,0

Mineralizações auríferas epigenético-hidrotermais também são encontradas em unidades superiores do Grupo Jacobina. Seguindo a classificação de Teixeira *et al.* (no prelo), adicionalmente aos horizontes metaconglomeráticos (mineralizações auríferas

do tipo 1), porém em proporções secundárias, o ouro ocorre livre ou disseminado em sistemas de veios de quartzo hospedados em quartzitos das formações Cruz das Almas e Serra do Meio (mineralizações do tipo 4), assim como no interior ou margens de corpos ultrabásicos (mineralizações do tipo 3) e básicos (mineralizações do tipo 2) intrudidos em quartzitos da Formação Rio do Ouro (Figura 3.5 e Tabela 3.1).

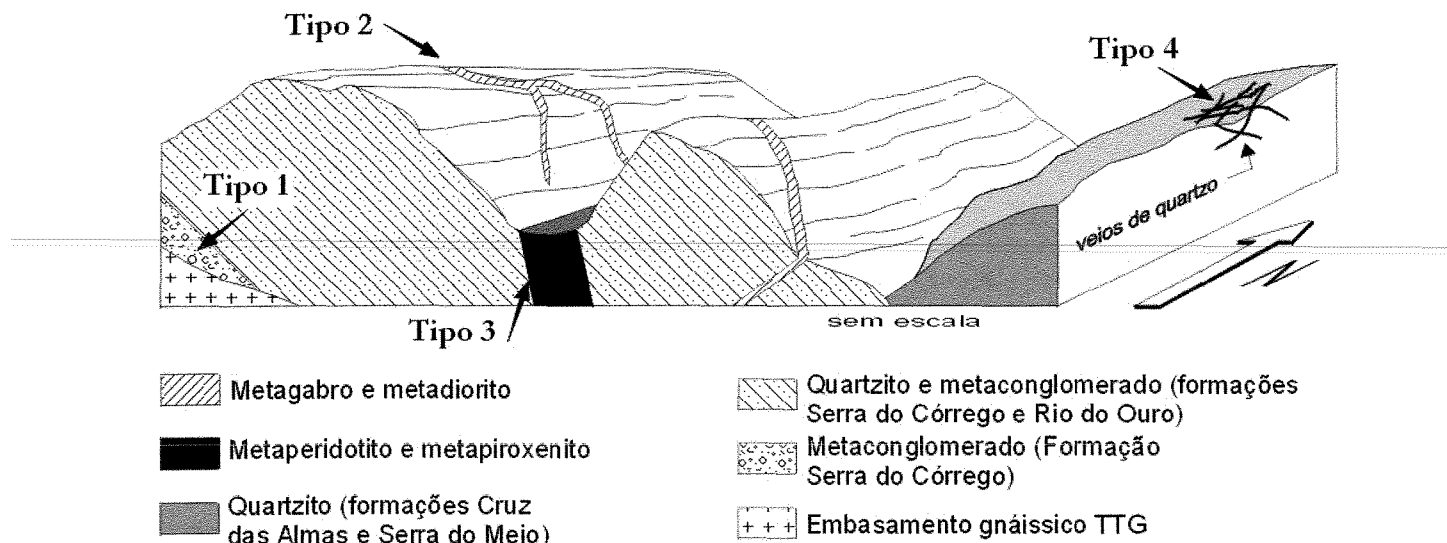


Figura 3.5 – Diagrama esquemático dos tipos de mineralizações auríferas encontrados na Bacia de Jacobina, de acordo com classificação elaborada por Teixeira *et al.* (no prelo), com base no caráter da rocha hospedeira. As mineralizações auríferas do tipo 1 ocorrem disseminadas na matriz dos metaconglomerados e quartzitos. Os demais tipos referem-se a sistemas de veios e vênulas de quartzo auríferos hospedados em metagabro e metadiorito (tipo 2), em metaperidotito e metapiroxenito (tipo 3) e em quartzitos (tipo 4).

Estes veios são constituídos por quartzo e pirita, (sericita, turmalina e zircão). Observa-se ocorrência subordinada de galena no garimpo Maravilha, magnetita/hematita no garimpo Coxo de Dentro e calcopirita no garimpo Goela da Ema. Os sulfetos e óxidos representam menos de 5% em volume dos veios e ocorrem como grãos disseminados na massa quartzosa ou ao longo de microfraturas. Calcopirita, esfalerita e arsenopirita aparecem como acessórios. O ouro possui dimensões de até 60 μm e ocorre livre na matriz quartzosa, geralmente próximo a agregados de pirita.

Uma característica marcante das mineralizações epigenéticas é a ausência de

carbonatos e feldspato na constituição mineralógica dos veios. A alteração hidrotermal, quando presente, está restrita a uma zona rica em pirita e fuchcita. Afastando-se dos veios auríferos diminui a quantidade de pirita e fuchcita. Nos metaconglomerados não mineralizados e sem veios de quartzo, a pirita desaparece e a fuchcita ocorre em proporções reduzidas.

3 INCLUSÕES FLUIDAS

3.1 Amostragem e Técnicas Analíticas

O estudo de inclusões fluidas concentrou-se exclusivamente nas mineralizações auríferas epigenético-hidrotermais, que foram agrupadas em dois domínios distintos, de acordo com seu contexto geológico:

Domínio I – brechas hidráulicas e massas irregulares e veios de quartzo que cortam os metaconglomerados e quartzitos da Formação Serra do Córrego (mineralizações auríferas tipo 1, de Teixeira *et al.* no prelo - minas Itapicuru, João Belo e Canavieiras).

Domínio II – sistemas de veios e vênulas de quartzo inseridos em seqüências quartzíticas das formações Cruz das Almas e Serra do Meio (mineralizações tipo 4 – garimpos Maravilha, Goela da Ema e Grota do Coxo); ou que se encontram no interior e/ou no contato de diques dioríticos (mineralizações tipo 2 – Garimpo Jaqueira) ou intrusões de rochas ultrabásicas (mineralizações tipo 3 – Garimpo Coxo de Dentro e do Pindobaçu) com quartzitos da Formação Rio do Ouro.

A caracterização da composição e propriedades dos fluidos mineralizantes foi efetuada através da microtermometria e microespectroscopia Raman em inclusões fluidas contidas em cristais de quartzo, dispostos em seções polidas em ambas as faces com espessura em torno de 100-200 μm .

Para as medidas microtermométricas em inclusões fluidas utilizou-se uma platina de aquecimento/resfriamento LINKAM THMSG600 adaptada a um microscópio petrográfico convencional. Esta platina está conectada a uma unidade controladora de temperatura LINKAM TMS92 que permite programar a taxa de aquecimento e

resfriamento para valores de 0,1° a 90°C/min, possibilitando que a temperatura em seu interior, por meio da combinação de um sistema de circulação de nitrogênio líquido (LINKAN LNP2) e um resistência elétrica, atinja valores, respectivamente, entre -196°C e 600°C. Inclusões sintéticas SYN FLINC foram usadas para calibrar o ponto triplo do CO₂ (T_{fcO2} = -56,6°C). A precisão da temperatura medida é de ± 0,1°C ao longo do intervalo alcançado pela platina e a exatidão é de ± 0,2°C (T = -100°C a -20°C) ± 1,0°C (T = -20°C a 30°C) e 5-10°C (T > 100°C).

As temperaturas de transições de fase registradas foram: (a) fusão do CO₂ (T_{fcO2}), homogeneização do CO₂ (T_{hCO2}), fusão do clatrato (T_{fcclt}) ou do gelo (T_{fg}) e homogeneização total (T_H). Estas temperaturas fornecem informações diretas sobre a composição, densidade da fase carbônica, salinidade da fase aquosa e condições P-T de aprisionamento do fluido, respectivamente.

A microespectroscopia Raman é um método não destrutivo que permite a análise qualitativa e semi-quantitativa de espécies gasosas como CO₂, CH₄ e N₂, em inclusões individuais. As inclusões são submetidas a irradiação de um feixe de laser e emitem uma radiação retroespalhada, característica das espécies voláteis presentes. O espectro Raman foi obtido com o equipamento JOBIN YVON T64000, que está acoplado a um detector CCD resfriado com N₂ líquido. O feixe de laser de Ar, excitado com uma linha de 514,5 nm, foi irradiado nas inclusões a uma potência de saída na fonte de 500-600 mW. O tempo de integração adotado durante a análise de cada espécie volátil é composto de 5 ciclos de 60 s cada. As análises foram realizadas no Laboratório de Inclusões Fluidas do IG/UNICAMP.

O cálculo da concentração relativa (n) dos gases na fase carbônica envolve a ponderação entre duas variáveis, a área (A) dos picos registrados pela emissão da radiação Raman para cada componente encontrado e o coeficiente relativo de espalhamento Raman (σ), determinado experimentalmente para os principais voláteis, segundo a fórmula de Placzek (1934):

$$n_a = [(A_a \times \sigma_b) / (A_b \times \sigma_a)] n_b,$$

onde a e b são duas espécies voláteis, com n_a+n_b=100; σ_{N2}=1,0; σ_{CO2}=1,5 (pico 1388) e

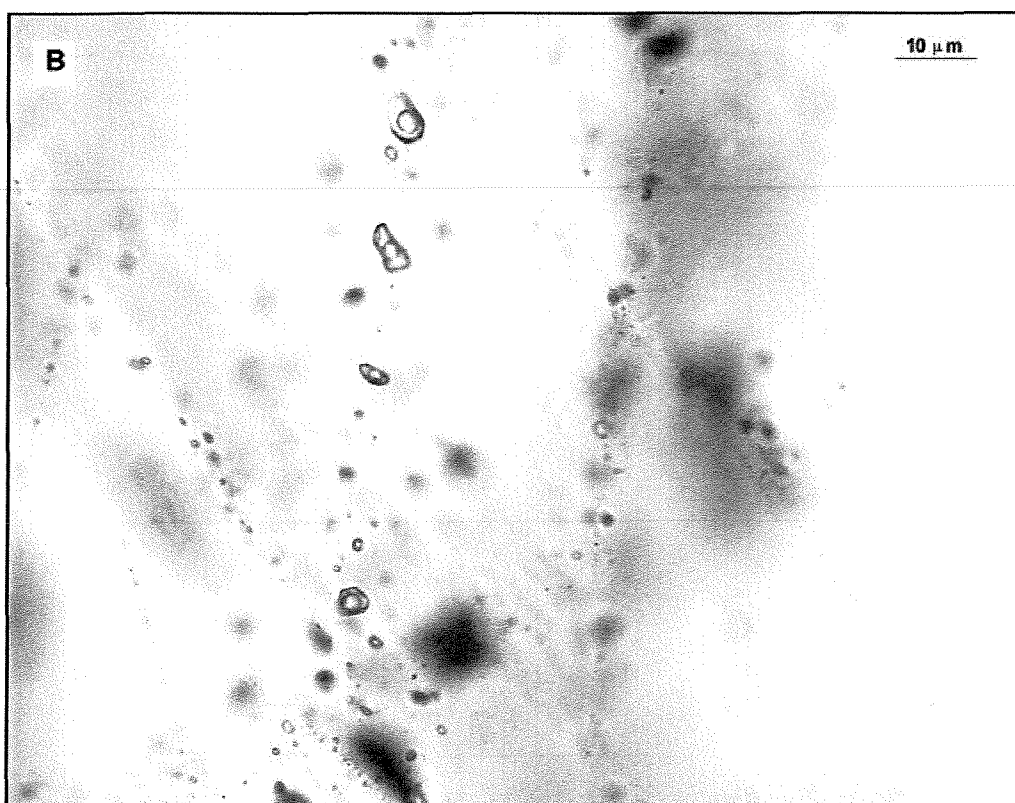
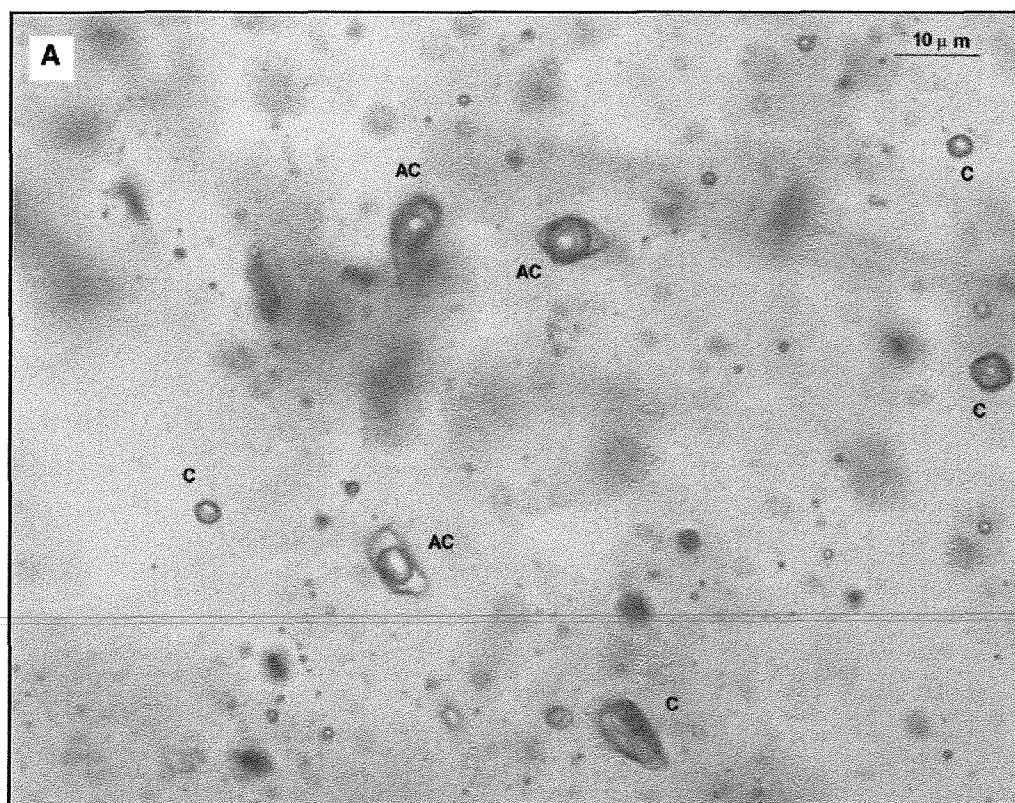
1,0 (pico 1285); $\sigma_{\text{CH}_4}=7,57$. Para o espectro do CO_2 emprega-se, adicionalmente, um fator de correção instrumental (F): $n_{\text{CO}_2} = A_{\text{CO}_2} / (\sigma_{\text{CO}_2} \times F)$, onde $F=0,75$ para o equipamento utilizado.

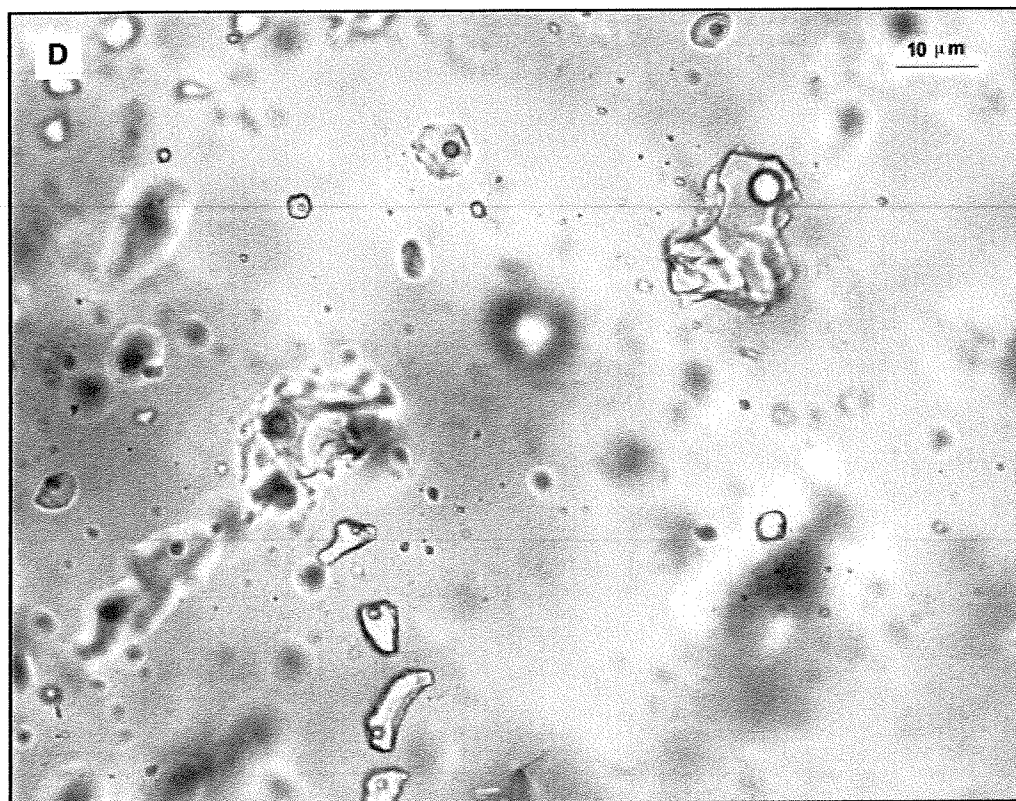
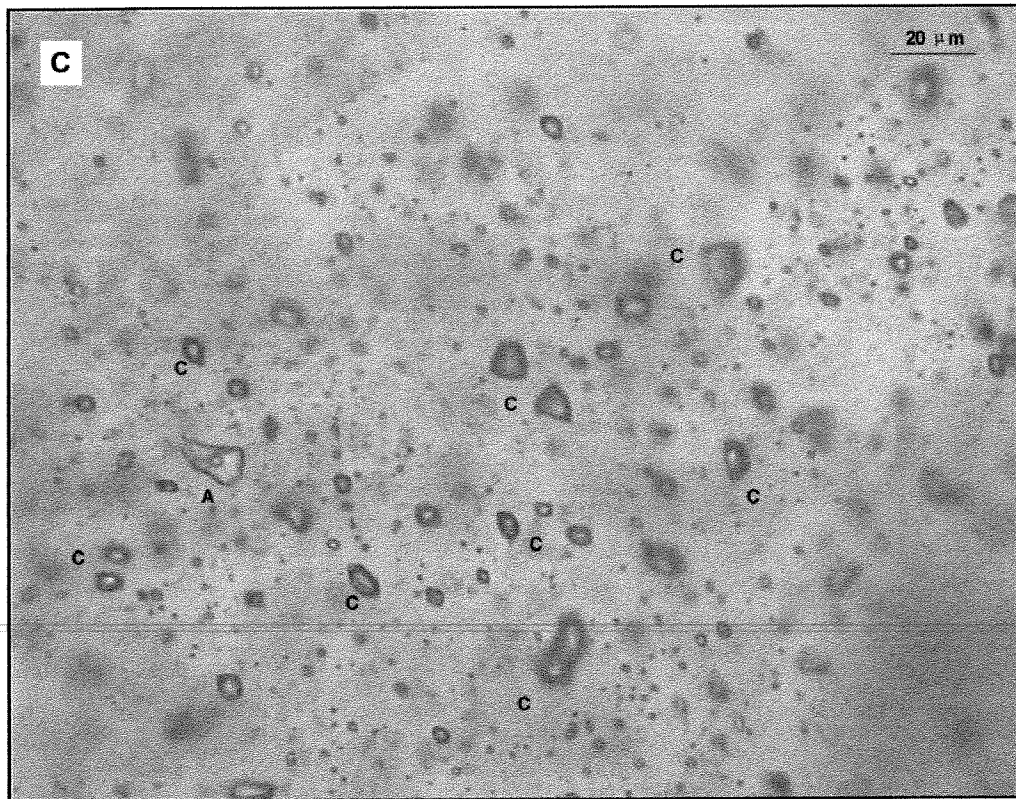
3.2 Petrografia das Inclusões Fluidas

A análise petrográfica das brechas hidráulicas e veios de quartzo auríferos nos dois domínios investigados, combinada com os resultados microtermométricos e de microespectroscopia Raman, revelaram a existência de três tipos composicionais de inclusões fluidas: (a) aquo-carbônicas, (b) ricas em CO_2 , e (c) aquosas.

Em termos gerais, as inclusões aquosas constituem a população mais numerosa em quase todas as amostras analisadas. O veio de quartzo do garimpo Maravilha (amostra R35) é caracterizado pelo predomínio de inclusões ricas em CO_2 e contém quantidade inferior de inclusões aquosas (< 40% em volume). As inclusões aquo-carbônicas e as ricas em CO_2 ocorrem como relictos preservados em microdomínios no interior das populações de inclusões aquosas, ou como grupos dominantes em cristais de quartzo que são circundados por outros grãos contendo inclusões aquosas. É comum grupos, planos e trilhas de inclusões aquo-carbônicas serem cortados por populações de inclusões aquosas que ocorrem em planos e trilhas, ao longo de microfraturas cicatrizadas. Em outros locais, não há relação de contato entre estas populações de inclusões.

Os domínios I e II contêm os mesmos tipos de inclusões, porém mostram diferenças com relação à abundância de inclusões aquo-carbônicas e inclusões ricas em CO_2 . As inclusões aquo-carbônicas e inclusões ricas em CO_2 , assim como parte das inclusões aquosas, são consideradas como de origem primária/pseudosecundária, e constituem os representantes mais próximos dos fluidos que percolaram as seqüências metassedimentares da Bacia de Jacobina e, em condições especiais, precipitaram veios de quartzo com sulfetos e ouro.





3.2.1 Inclusões Aquo-Carbônicas

As inclusões aquo-carbônicas são facilmente reconhecidas quando apresentam, à temperatura ambiente (25°C), três fases fluidas: $\text{H}_2\text{O}_{(l)}$, $\text{CO}_{2(l)}$ e $\text{CO}_{2(v)}$. Quando as inclusões são bifásicas (H_2O e CO_2 líquidos), somente com resfriamento é possível identificar a fase vapor rica em CO_2 (repentino aparecimento de uma pequena bolha de gás, na transição líquido/vapor). Morfologicamente, possuem formas irregulares, arredondadas ou alongadas e em cristal negativo subeudral a eudral bipiramidal. Suas dimensões variam de $< 3 \mu\text{m}$ a $15 \mu\text{m}$, com tamanho médio de $6-8 \mu\text{m}$.

As inclusões aquo-carbônicas são caracterizadas por uma marcante variação na proporção do volume das fases fluidas compostas por H_2O e CO_2 . A proporção volumétrica da fase carbônica compreende valores entre 10% e 80%, com a fase aquosa ocupando o volume complementar.

No domínio I, estas inclusões ocorrem individualmente e em grupos isolados, distribuídos aleatoriamente e confinados no interior dos cristais de quartzo. Elas também formam arranjos planares e trilhas retilíneas que não ultrapassam os limites intergranulares. No domínio II, as inclusões aquo-carbônicas estão presentes, em menor número, no interior das populações de inclusões ricas em CO_2 (Figura 3.6A).

Na brecha hidráulica (amostra R25), em um único cristal de quartzo é possível observar trilhas e planos contendo somente inclusões aquo-carbônicas com grau de preenchimento variável, assim como trilhas e planos exclusivamente com inclusões aquosas. Neste mesmo cristal também se identificam trilhas e planos onde inclusões aquo-carbônicas e inclusões aquosas ocorrem conjuntamente.

Figura 3.6 - Fotomicrografias de inclusões fluidas presentes em brecha hidráulica e veios de quartzo auríferos, nos domínios I e II, do Grupo Jacobina. **A:** Inclusões aquo-carbônicas (AC) com grau de preenchimento variável coexistindo, em um grupo isolado, com inclusões ricas em $\text{CO}_2 \pm \text{CH}_4$ (C), em veio de quartzo do Garimpo Maravilha (amostra R35). **B:** Trilha de inclusões aquo-carbônicas com proporção do volume das fase aquosa e carbônica relativamente constante, encontrada na brecha hidráulica (amostra R25) que corta os metaconglomerados da Mina Itapicuru. **C:** Inclusões ricas em $\text{CO}_2 \pm \text{CH}_4$ (C) coexistindo, em um arranjo tridimensional, com inclusões aquosas do tipo 1 (A), em veio de quartzo do Garimpo Maravilha (amostra R35). **D:** Arranjo planar de inclusões aquosas do tipo 2 que ocorre em veio de quartzo da Mina Itapicuru (amostra R27B).

No veio de quartzo (R23B) e na brecha hidráulica (R25) encontram-se trilhas de inclusões $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ com grau de preenchimento relativamente constante ($\text{GP}=0,6-0,8$) (Figura 3.6 B).

3.2.2 Inclusões ricas em CO_2

As inclusões ricas em CO_2 são compostas por uma fase carbônica que ocupa mais de 80% em volume relativo da cavidade das inclusões. A fase aquosa, nem sempre presente, pode ser reconhecida como um filme delgado margeando e umedecendo as paredes da inclusão.

À temperatura ambiente, estas inclusões são principalmente monofásicas ($\text{CO}_{2(l)}$) ou bifásicas ($\text{H}_2\text{O}_{(l)}$ e $\text{CO}_{2(l)}$) e têm uma cor mais escura (limites grossos), quando comparadas às inclusões aquo-carbônicas. Exibem formas arredondadas, alongadas ou em cristal negativo subeudral a eudral bipiramidal, e dimensões que variam de $< 5 \mu\text{m}$ a $18 \mu\text{m}$, com tamanhos médios de $8-10 \mu\text{m}$.

No domínio I, as inclusões ricas em CO_2 ocorrem, em menor proporção, associadas às inclusões aquo-carbônicas. No domínio II estão reunidas em nuvens que formam arranjos tridimensionais irregulares e ocupam, em vários locais, grande parte do interior dos cristais de quartzo (Figura 3.6C). Subordinadamente dispõem-se em grupos isolados, arranjos planares e trilhas que também estão restritos ao domínio intracristal.

3.2.3 Inclusões Aquosas

As inclusões aquosas são predominantemente bifásicas ($\text{L} + \text{V}$) e exibem um grau de preenchimento constante, onde a fase vapor ocupa um volume proporcional de 10%. Raramente, estas inclusões contêm uma fase sólida aprisionada (amostra R22), que corresponde a minerais de saturação. Em virtude do tamanho reduzido destas inclusões ($< 10\mu\text{m}$), não foi possível identificar a natureza da fase sólida. Também não foi medida a temperatura de fusão do sólido aprisionado, pois a maioria das inclusões aquosas crepita após 300°C , temperatura em que os minerais de saturação ainda não

se fundiram.

As inclusões aquosas apresentam três modos de ocorrência:

(a) tipo 1: inclusões isoladas ou em pequenos grupos dispersos aleatoriamente no interior das populações de inclusões aquo-carbônicas e inclusões ricas em CO₂. Possuem formas irregulares a cristal negativo e mostram dimensões entre < 2 µm e 15 µm.

(b) tipo 2: inclusões concentradas em arranjos planares e trilhas retilíneas, que ocupam a maioria dos cristais de quartzo (Figura 3.6D). Elas mostram uma grande variedade de formas, e sua maior dimensão varia de < 5 µm a 20 µm, com tamanho médio em torno de 8 a 10 µm.

(c) tipo 3: inclusões de origem secundária, dispostas em trilhas e arranjos planares intergranulares que, comumente, cortam todas as populações de inclusões anteriores. Em função de sua pequena dimensão (< 5 µm), e seu caráter tardio em relação ao evento mineralizador, estas inclusões não foram analisadas neste estudo.

A distinção e cronologia relativa das gerações de inclusões aquosas dos tipos 1 e 2 é mais complexa e está baseada em suas características petrográficas, na presença de outros voláteis na fase vapor e na temperatura de homogeneização.

As inclusões aquosas do tipo 2 podem constituir a única população em uma única amostra (Tabela 3.2). Também podem constituir o grupo dominante, contendo populações de inclusões aquo-carbônicas e inclusões ricas em CO₂ preservadas em microdomínios no seu interior. Quando os microdomínios estão presentes, existe grande probabilidade das inclusões aquosas do tipo 2 ocorrerem em seu interior e se misturarem com aquelas do tipo 1. Em inclusões grandes (10-20 µm) e irregulares é possível identificar indícios de perturbações pós-aprisionamento, tais como, estrangulamento, vazamento de H₂O e crepitação natural (inclusões em forma de estrela).

Estas características indicam que as inclusões aquosas do tipo 2 são posteriores às inclusões aquo-carbônicas e inclusões ricas em CO₂ e podem obliterá-las parcial ou totalmente nas amostras de veios de quartzo auríferos analisadas.

Tabela 3.2 - Relação de amostras representativas das mineralizações auríferas epigenéticas e respectivos tipos de inclusões fluidas.

LOCAL	AMOSTRAS ^a	LITOLOGIA	MINERALOGIA ^b	TIPOS DE IF ^c
Mina Itapicuru	R22, R23B, R27B, R27C	Massas irregulares e veios de quartzo em metaconglomerados e quartzitos	qz, fuc, pi, cl, tur	A2, AC, C e A1
	R17, R18, R19, R23A, R26, R27A		qz, fuc, pi	A2, (AC, C, A1) ifs < 5 µm
	R25	Brecha hidráulica em metaconglomerados e quartzitos	qz, fuc, pi, rt	A2, AC, C e A1
Mina João Belo	R14B	Brecha hidráulica em metaconglomerados	qz	A2
	R1, R7, R14A, R15	Veios de quartzo em metaconglomerados e/ou quartzitos	qz, fuc, pi	A2, (AC, C, A1) ifs < 5 µm
Mina Canavieiras	R29	Massas irregulares de quartzo em metaconglomerados	qz	A2 (AC)
Garimpo Coxo de Dentro	R37	Veios de quartzo no contato de quartzito com andaluzita xisto	qz, pi	A2, C, AC e A1
	R38	Veio de quartzo no contato de quartzito com rocha ultrabásica	qz, pi	A2, C, AC e A1
Garimpo Maravilha	R35	Veios de quartzo em quartzito	qz, ser, tur, pi, gl	C, AC, A2 e A1
Garimpo Grota do Coxo	R36	Veios de quartzo em quartzito	qz, am	ifs < 2 µm
Garimpo do Pindobaçu	R39, EPB1	Veios de quartzo em dique de rocha ultrabásica	qz, pi, asp	ifs < 2 µm
Garimpo Goela da Ema	EGE1	Veios de quartzo em quartzito	qz, pi, cp	A2, C, AC e A1
Garimpo da Jaqueira	JB2221	Veios e vênulas de quartzo em dique diorítico	qz, pi, zr, tur	A2, C, AC e A1

(a) as amostras em negrito foram submetidas a microtermometria.

(b) O quartzo representa mais de 95 % da mineralogia. Minerais: qz = quartzo; fuc = fuchcita; pi = pirita; cl = clorita; rt = rutilo; tur = turmalina; ser = sericita; gl = galena; cp = calcopirita; asp = arsenopirita; am = ametista.

(c) Tipos de inclusões (IF): AC = inclusões aquo-carbônicas; C = inclusões ricas em CO₂; A1 = inclusões aquosas do tipo 1; A2 = inclusões aquosas do tipo 2. As inclusões estão relacionadas em ordem decrescente de quantidade relativa. Os tipos de inclusões entre parênteses referem-se a inclusões em quantidades escassas e/ou de dimensões reduzidas.

3.3 Microtermometria

Conforme os objetivos delineados para este estudo, de um total de 25 seções examinadas, 5 amostras do domínio I e 5 do domínio II continham inclusões fluidas adequadas para microtermometria, tendo por base suas dimensões, qualidade óptica e tipos de populações existentes (Tabela 3.2). Para cada uma destas 10 amostras foram selecionados de 3 a 5 setores da seção contendo os principais tipos de inclusões. Em cada um destes setores foram escolhidas de 10 a 15 inclusões para medição das temperaturas de mudança das fases fluidas presentes.

As medidas microtermométricas foram efetuadas em inclusões aquo-carbônicas e inclusões ricas em CO₂ que ocorrem individualmente ou em grupos isolados, em arranjos tridimensionais e em trilhas e planos, restritos aos domínios intracristalinos. Em termos composicionais, somente no domínio II, as inclusões aquo-carbônicas e as inclusões ricas em CO₂ contêm quantidades subordinadas de outros voláteis dissolvidos na fase carbônica, em adição ao CO₂.

3.3.1 Inclusões Aquo-Carbônicas: razão H₂O/CO₂ variável

As inclusões aquo-carbônicas, em relação às inclusões ricas em CO₂, representam a população dominante nos veios de quartzo e brecha hidráulica do domínio I, ocorrendo em menor proporção nos sistemas de veios de quartzo do domínio II. Estas inclusões são caracterizadas pela extrema variação na razão H₂O/CO₂, que é atribuída ao aprisionamento heterogêneo de um fluido aquo-carbônico em estado de imiscibilidade.

No domínio I, as inclusões aquo-carbônicas apresentam fusão do CO₂ (T_{fCO2}) em temperaturas que variam de -56,4°C a -57,6°C, com pico de frequência máxima entre -56,6°C e -56,8°C (Figura 3.7A). Considerando a exatidão de ±0,2°C do equipamento, estas temperaturas coincidem com o ponto triplo do sistema CO₂ puro, indicando que as inclusões possuem basicamente CO₂ como espécie volátil presente na fase carbônica. Análises por microespectroscopia Raman corroboram esta evidência, registrando apenas o pico de CO₂.

A fusão do CO_2 para inclusões do domínio II está contida em um intervalo mais amplo de temperaturas, com valores distribuídos entre $-56,5^\circ\text{C}$ e $-58,5^\circ\text{C}$ (Figura 3.7A). Os valores de T_{fCO_2} que se encontram bem mais abaixo de $-56,6^\circ\text{C}$, indicam que a fase carbônica, embora constituída predominantemente por CO_2 , também contém pequenas quantidades de outras espécies voláteis. Através da microespectroscopia Raman foi possível identificar o CH_4 como único componente responsável pelo abaixamento do ponto triplo do CO_2 . Não foram registrados picos referentes a N_2 ou H_2S nas inclusões analisadas. Os resultados quantitativos relativos, em função da ponderação entre as áreas ocupadas pelos picos das espécies CO_2 e CH_4 , indicam fração molar de CH_4 (X_{CH_4}) entre 0,7 e 8,7 mol% (Tabela 3.3).

A homogeneização do CO_2 para as inclusões aquo-carbônicas, nos domínios I e II, ocorre invariavelmente no estado líquido. A temperatura de homogeneização do CO_2 (T_{hCO_2}) está distribuída entre $-10,8^\circ\text{C}$ e 31°C , para as inclusões presentes no domínio I, e entre $-4,1^\circ\text{C}$ e $30,9^\circ\text{C}$, para as inclusões do domínio II. De acordo com a T_{hCO_2} , a densidade da fase carbônica destas inclusões, em ambos os domínios, varia de 0,47 a $0,98 \text{ g/cm}^3$. Contudo, a maioria dos dados está concentrada acima de 18°C , como se pode observar nos histogramas da Figura 3.7C, que mostram picos com frequência máxima em 30°C para o domínio I e em 25°C para o domínio II.

A fusão do clatrato ocorre quase sempre em temperaturas inferiores à de homogeneização do CO_2 . A temperatura de fusão do clatrato (T_{fclt}) nas inclusões aquo-carbônicas, em ambos os domínios, situa-se entre 6°C e 11°C (Figura 3.7E). A salinidade da fase aquosa destas inclusões, de acordo com a T_{fclt} , varia de 0 a 7,5% em peso equivalente NaCl, com valor médio em 2,3% em peso equivalente NaCl. Somente na amostra R22, em poucas inclusões, a homogeneização do CO_2 acontece antes da fusão do clatrato. Neste veio de quartzo, a fusão do clatrato ocorre no intervalo de temperaturas que varia de -6°C a $8,4^\circ\text{C}$.

Nas amostras R23B e R25, as trilhas de inclusões aquo-carbônicas com proporção do volume das fases fluidas relativamente constante apresentam T_{fCO_2} que varia de $-56,6^\circ\text{C}$ a $-56,8^\circ\text{C}$, T_{hCO_2} para o estado líquido, com valores entre 15°C e 30°C , e T_{fclt} entre $8,0^\circ\text{C}$ e 10°C .

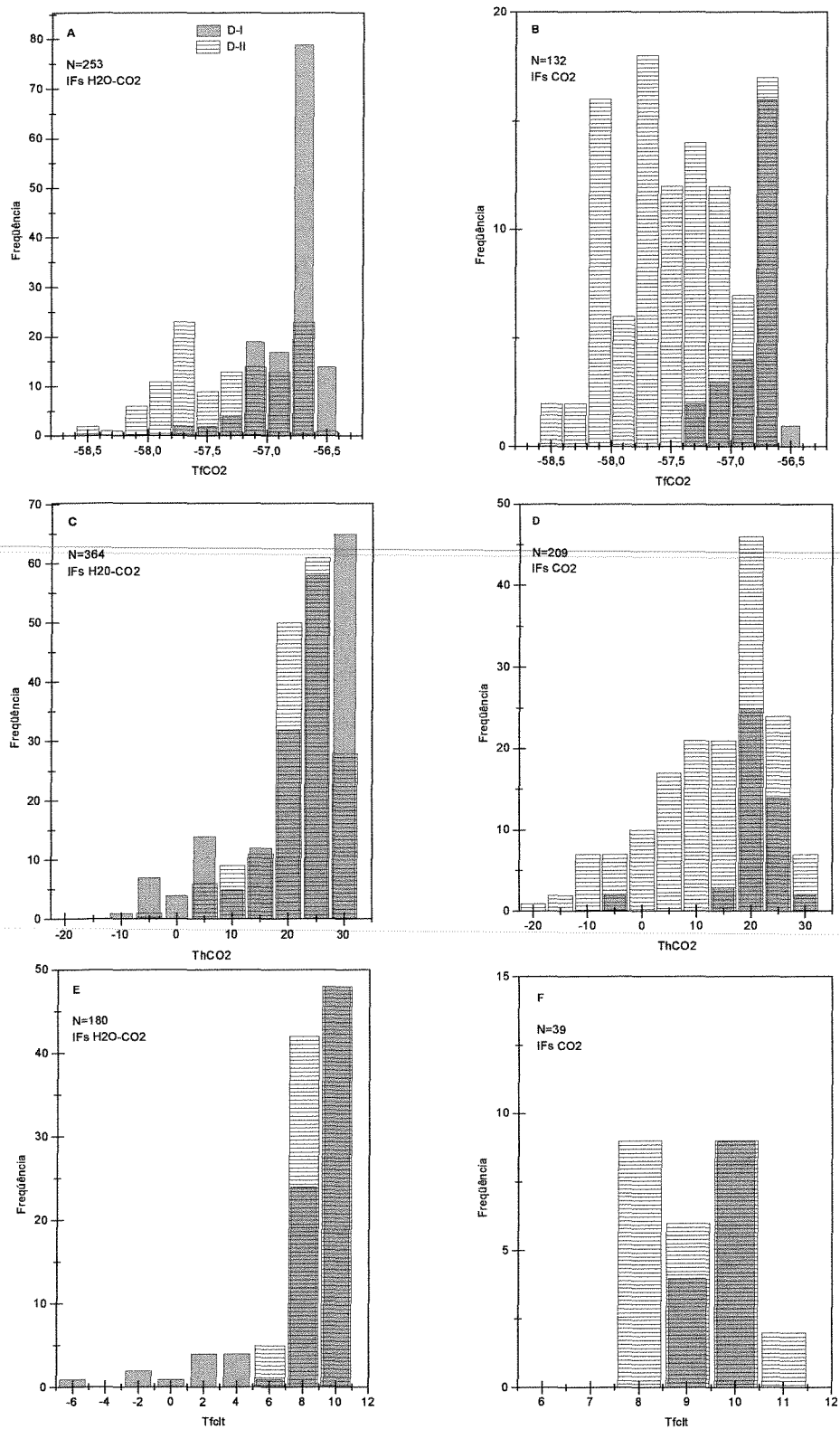


Figura 3.7 - Histogramas com a distribuição de frequência para a temperatura de fusão do CO₂ (T_{fCO_2}), temperatura de homogeneização do CO₂ (T_{hCO_2}) e temperatura de fusão do clatrato (T_{fclt}), em inclusões aquo-carbônicas (IFs H₂O-CO₂) e inclusões ricas em CO₂ (IFs CO₂) submetidas à microtermometria no domínio I (DI – cinza claro) e domínio II (DII – linha horizontal).

Tabela 3.3 - Análise por microespectroscopia Raman de inclusões aquo-carbônicas (AC) e inclusões ricas em CO₂ (C), presentes em veios de quartzo auríferos do domínio II.

Amostra	Tipo de If	Microtermometria (°C)			V _{CO2} (1-GP)	Microespectroscopia Raman	
		T _{hCO2}	T _{fCO2}	T _{felt}		X _{CO2} (mol%)	X _{CH4} (mol%)
R35	C	22,9	-57,9	-	0,9	94,5	5,5
	AC	21,8	-57,9	8,4	0,6	93,1	6,9
	AC	23,5	-58	-	0,6	95,1	4,9
	AC	24,4	-57,9	10,8	0,3	91,3	8,7
	C	21,8	-58,4	10,9	0,8	88,1	11,9
	C	22	-57,7	-	0,9	94,8	5,2
	AC	23,5	-57,9	-	0,5	94,9	5,1
	C	21,5	-58,1	10,2	0,8	93,7	6,3
	C	21,6	-58,1	-	0,8	93,4	6,6
	AC	22,2	-58	10,4	0,7	96,3	3,7
	AC	22,8	-57,3	9,2	0,4	97,9	2,1
	C	7	-58,1	9,6	0,9	93,4	6,6
	AC	29	-57	9,7	0,4	99	1
R38	AC	29,2	-56,9	9,9	0,2	99,3	0,7
	C	24,2	-56,9	-	0,95	99,6	0,4
	AC	28,8	-56,9	9,2	0,3	98,1	1,9
	C	28,1	-57,5	7,9	0,8	96,9	3,1
	AC	28	-57,7	8	0,4	95,6	4,4

O coeficiente relativo de espalhamento (σ) é de 2,5 para CO₂ (picos 2v₂+v₁) e 7,57 para CH₄.

T_{hCO2} (°C) = temperatura de homogeneização do CO₂; T_{fCO2} (°C) = temperatura de fusão do CO₂; V_{CO2} = volume da fase carbônica (V_{CO2}=1-GP); GP = grau de preenchimento; X_{CO2} (mol%) = fração molar do CO₂; X_{CH4} (mol%) = fração molar do CH₄.

Nos dois domínios investigados, a homogeneização total das inclusões aquo-carbônicas ocorre tanto para o estado líquido como para o estado vapor. As medidas microtermométricas da homogeneização total para o estado vapor (T_{HV}), que acontece em parte das inclusões aquo-carbônicas e em todas as inclusões ricas em CO₂, podem conter um erro considerável, relacionado ao fenômeno da homogeneização aparente descrito por Sterner (1992). Este erro é decorrente de limitações ópticas que impedem o reconhecimento do instante em que a fase carbônica, em crescimento progressivo durante o aquecimento, ocupa toda a cavidade da inclusão. A T_{HV} medida é inferior a T_H

real, pois, geralmente, ainda resta pequena quantidade de líquido aquoso – indistinguível ao microscópio – nas inclusões. Segundo Sterner (1992), em inclusões sintéticas ricas em CO_2 e formadas a partir de um fluido aquo-carbônico homogêneo, foram observadas T_{HV} aparente com valores até 25°C inferiores ao da T_{H} real.

Tentando minimizar este fenômeno, as medidas da T_{HV} foram realizadas, quando possível, em inclusões com geometria tubular, alongada e estreita no plano de corte da seção (Roedder, 1984). As inclusões com esta geometria permitem acompanhar o movimento de expansão da fase carbônica com maior precisão. Além da dificuldade em se determinar a T_{H} em inclusões ricas em CO_2 , outro fator limitante foi a crepitação destas antes de sua homogeneização se completar. Frequentemente, as inclusões aquo-carbônicas com formas irregulares sofrem crepitação ou vazamento de H_2O nas amostras analisadas.

O modo de homogeneização total das inclusões depende da fração molar do CO_2 (X_{CO_2}), que, por sua vez, está relacionada ao volume da fase carbônica. Neste trabalho observou-se que, quando $X_{\text{CO}_2} > 20\text{-}30$ mol%, as inclusões aquo-carbônicas, nos domínios I e II, homogeneizaram para o estado vapor, ou seja, a fase líquida aquosa é incorporada pela fase gasosa carbônica. Esta transição de fase acontece em temperaturas que variam de 260°C a 330°C (domínio I) e 262°C a 360°C (domínio II) (Figuras 3.8A e B). As inclusões com $X_{\text{CO}_2} < 20\text{-}30$ mol% homogeneizaram para o estado líquido, onde a fase rica em H_2O incorpora a fase rica em CO_2 (desaparecimento da bolha). Neste caso, as temperaturas de homogeneização total estão compreendidas entre 228°C e 318°C (domínio I) e entre 217°C e 337°C (domínio II) (Figuras 3.8A e B).

3.3.2 Inclusões Ricas em CO_2

As inclusões ricas em CO_2 , em comparação com as inclusões aquo-carbônicas, constituem o grupo predominante nos sistemas de veios de quartzo auríferos do domínio II e são subordinadas nas mineralizações auríferas do domínio I. De acordo com seu modo de ocorrência, as inclusões ricas em CO_2 estão associadas, espacial e temporalmente, a inclusões aquosas do tipo 1, mostrando evidências do aprisionamento de fluidos imiscíveis.

Para a transição de fase referente à fusão do CO₂, com relação aos domínios I e II, as inclusões ricas em CO₂ apresentam um comportamento semelhante ao das inclusões aquo-carbônicas. A T_{fCO2} para as inclusões ricas em CO₂, do domínio I, situa-se entre -56,5°C e -57,3°C. No histograma da Figura 3.7B observa-se novamente o acúmulo de valores entre -56,6°C e -56,8°C, condizente com a presença exclusiva de CO₂ na fase carbônica.

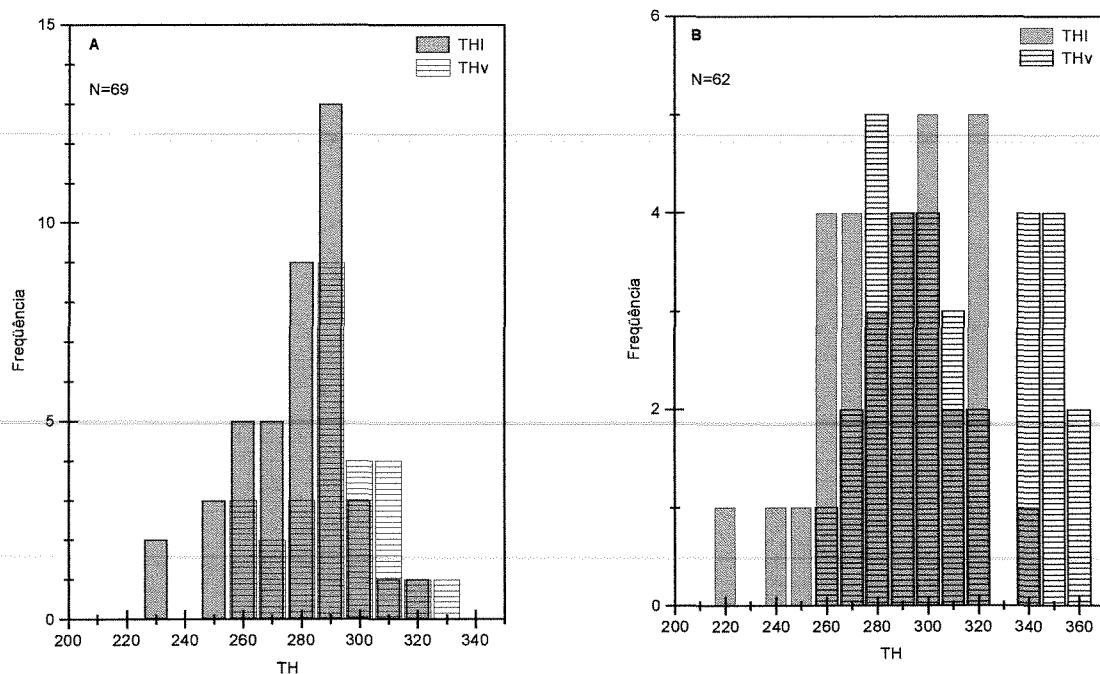


Figura 3.8 - Histograma para a temperatura de homogeneização total (T_H) de inclusões aquo-carbônicas encontradas no domínio I (A) e domínio II (B). A barra cinza claro indica a homogeneização total para a fase líquida aquosa (T_{HI}), enquanto a barra com linha horizontal representa a homogeneização total para a fase gasosa carbônica (T_{HV}).

No domínio II, a fusão do CO₂ ocorre a temperaturas que se encontram distribuídas no intervalo de -56,6°C a -58,5°C (Figura 3.7B). Análises por microespectroscopia Raman revelaram que, além do CO₂, a fase carbônica também contém CH₄, correspondendo a uma fração molar (X_{CH4}) de 0,4 a 11,9 mol% (Tabela 3.3).

A homogeneização do CO₂, em ambos os domínios, é caracterizada pelo

desaparecimento da fase vapor: $\text{CO}_{2(l)} + \text{CO}_{2(v)} \rightarrow \text{CO}_{2(l)}$. A ThCO_2 contém valores distribuídos entre $-5,8^\circ\text{C}$ e $29,3^\circ\text{C}$ ($d_{\text{CO}_2} = 0,62\text{-}0,96 \text{ g/cm}^3$), para inclusões do domínio I, e valores que variam de $-18,6^\circ\text{C}$ a $29,5^\circ\text{C}$ ($d_{\text{CO}_2} = 0,61\text{-}1,02 \text{ g/cm}^3$), em inclusões do domínio II. Os histogramas da Figura 3.7D mostram uma concentração de valores entre 17°C e 23°C para os dois domínios.

Nas inclusões que contêm pequena quantidade de H_2O , a fusão do clatrato ocorre na presença de $\text{CO}_{2(l)}$ e $\text{CO}_{2(v)}$. A T_{fclt} , ainda que de difícil medição, concentra-se entre $7,9^\circ\text{C}$ e $10,9^\circ\text{C}$ (Figura 3.7F). A salinidade para a fase aquosa geralmente está próxima à da água pura, embora possa haver valores de até 4 % em peso equiv. NaCl (média de 1,5 % em peso equivalente NaCl).

Nos domínios I e II, a homogeneização total das inclusões ricas em CO_2 , onde é possível reconhecer um pequeno volume de H_2O , se dá invariavelmente no estado vapor. O histograma da Figura 3.9 exibe T_H distribuída no intervalo de 248°C a 312°C (domínio I) e entre 210°C e 356°C (domínio II).

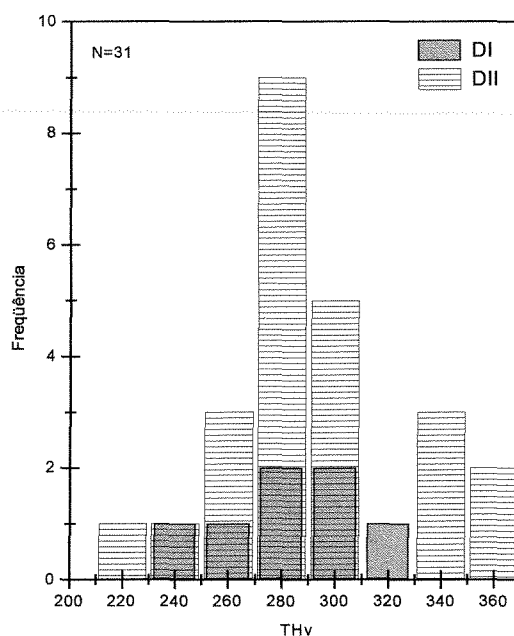


Figura 3.9 - Histograma para a temperatura de homogeneização total para o estado vapor (T_{HV}) de inclusões ricas em CO_2 encontradas no domínio I (barra cinza) e domínio II (barra com linha horizontal).

3.3.3 Inclusões Aquosas

As inclusões aquosas do tipo 1 associam-se espacialmente às inclusões aquo-carbônicas e inclusões ricas em CO₂. Nestes casos, geralmente apresentam concentrações muito subordinadas de CO₂. Estas pequenas concentrações de CO₂ foram detectadas pela formação de clatrato durante a microtermometria, embora não haja nucleação de CO_{2(s)} sob resfriamento, e também na microespectroscopia Raman, que registrou picos em 2ν₂ (1388), indicativos desta fase volátil. Com base nas relações petrográficas e texturais, assim como nas temperaturas de homogeneização e composição química, as inclusões aquosas do tipo 1 são interpretadas como cogenéticas às inclusões ricas em CO₂ e às aquo-carbônicas.

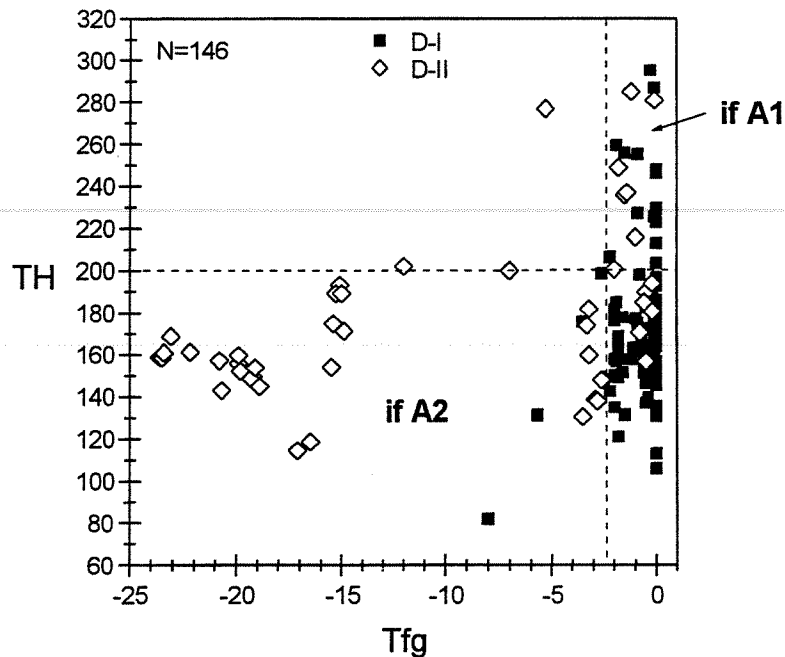


Figura 3.10 - Diagrama da temperatura de fusão do gelo (T_{fg}) em função da temperatura de homogeneização (T_H) para inclusões aquosas do tipo 1 e 2 analisadas em amostras dos domínios I (D-I) e II (D-II). As inclusões aquosas com homogeneização acima de 200°C e fusão do gelo entre 0°C e -3°C são do tipo 1 (A1), enquanto as inclusões aquosas do tipo 2 (A2) mostram homogeneização abaixo de 200°C e possuem uma salinidade extremamente variável. Não é possível determinar o limite inferior da temperatura de homogeneização das inclusões aquosas do tipo 1.

A fusão do gelo ocorre a temperaturas restritas entre 0°C e -2,5°C, embora, no domínio II, possa atingir até -6°C (Figura 3.10). De acordo com a temperatura de fusão do gelo (T_{fg}), as inclusões aquosas do tipo 1 mostram valores de salinidade entre 0 e 8,5 % em peso equiv. NaCl.

Quando as inclusões aquo-carbônicas são interceptadas por populações de inclusões aquosas do tipo 2, dispostas ao longo de microfaturas cicatrizadas, as inclusões aquosas do tipo 1 podem se misturar e ser confundidas com aquelas do tipo 2. Nestes pontos, há ambiguidade ou impossibilidade de se separar as inclusões aquosas geneticamente relacionadas as inclusões ricas em CO₂.

As inclusões aquosas do tipo 2, considerando-se apenas aquelas contidas em trilhas e arranjos planares que não estão em contato com populações de inclusões aquo-carbônicas, apresentam fusão do gelo entre 0°C e -28,4°C. Estes valores indicam uma salinidade extremamente variada, observando-se, inclusive, a presença de cristais de saturação na amostra R22.

A homogeneização das inclusões aquosas dos tipos 1 e 2 acontece sempre no estado líquido. Por causa da dificuldade, em determinados locais, de se identificar as inclusões aquosas do tipo 1, não foi possível estabelecer o intervalo de sua temperatura de homogeneização (T_H). A T_H medida para todas as inclusões aquosas está distribuída entre 82°C e 295°C. Entretanto, as inclusões aquosas com temperatura de homogeneização acima de 200°C e fusão do gelo próxima de 0°C (Figura 3.10) estão sempre em associação com as populações de inclusões aquo-carbônicas e inclusões ricas em CO₂, o que permite classificá-las como do tipo 1. O limite inferior da T_H das inclusões aquosas do tipo 1 é indefinido. Por outro lado, as inclusões aquosas dispostas em planos e trilhas que não cortam populações de inclusões aquo-carbônicas, e que mostram T_{fg} variando de 0°C a -28,4°C e T_H abaixo de 180°C-200°C, são consideradas como inclusões aquosas secundárias do tipo 2 (Figura 3.10).

3.3.4 Propriedades V-X

Com as temperaturas das transições de fases nas inclusões aquo-carbônicas e nas inclusões ricas em CO₂, obtidas através da microtermometria, é possível estimar o

volume molar (V) e a composição global (X) do fluido aprisionado.

Para o cálculo das propriedades V - X foi utilizado o aplicativo MacFlinCor (Brown e Hagemann, 1994), empregando-se o sistema de fluidos adequado para cada tipo de inclusão. No domínio I, em virtude da T_{fCO_2} estar próxima do ponto triplo do CO_2 , os cálculos foram feitos para o sistema H_2O - CO_2 - $NaCl$, através da equação de estado de Bowers e Helgeson, que requer como dados de entrada, a T_{hCO_2} , T_{fcl} e V_{CO_2} .

Para as inclusões do domínio II, que contêm CO_2 e CH_4 na fase carbônica, fez-se uso do sistema H_2O - CO_2 - CH_4 - $NaCl$, aplicando-se a equação de estado de Kerrick e Jacobs. Em adição aos parâmetros anteriores, é necessário informar a T_{fCO_2} e o volume da fração vapor após a fusão do CO_2 . Para as inclusões aquosas utilizou-se o sistema H_2O - $NaCl$ - $[KCl]$ e a equação de estado de Brown e Lamb, que tem como parâmetros de entrada, a T_{fg} , T_H e razão $NaCl/(NaCl+KCl)=1$.

A determinação do volume da fase carbônica (V_{CO_2}) é feita, comumente, com base na estimativa visual do grau de preenchimento (GP) das inclusões ($GP = V_{H_2O} / (V_{H_2O} + V_{CO_2})$). O GP , que indica a proporção volumétrica entre as fases aquosa e carbônica, contém um certo erro, porque é estimado somente nas duas dimensões do plano de corte da inclusão na seção. Este erro pode atingir até $\pm 20\%$ (Roedder, 1984) e se propaga no cálculo das propriedades V - X das inclusões fluidas.

Ao se admitir que as inclusões aquo-carbônicas com razão H_2O/CO_2 variável e as inclusões ricas em CO_2 , nos domínios I e II, são cogenéticas e resultam do aprisionamento de fluidos imiscíveis, o volume da fase carbônica ($V_{CO_2}=1-GP$) abrange valores entre 0,1 e 1. Portanto, a composição global (X) das inclusões compostas por H_2O - CO_2 -(CH_4)- $NaCl$ situa-se em um amplo intervalo, com a fração molar da fase rica em CO_2 , $X_{CO_2}(+X_{CH_4})$, variando de <10 a $100\text{ mol\%}$ (Anexo 1). No domínio II, a X_{CH_4} está abaixo de $2\text{ mol\%}$, embora possa haver valores de até $5\text{ mol\%}$ para inclusões ricas em CH_4 .

O volume molar (V) das inclusões está diretamente relacionado à sua composição global. À medida que aumenta a X_{CO_2} , há um acréscimo no volume molar das inclusões. As inclusões que apresentam $X_{CO_2}>20-30\text{ mol\%}$, e homogeneizam no estado vapor, possuem, em geral, volume molar entre 27 e $56\text{ cm}^3/\text{mol}$. Quando $X_{CO_2}<20-30\text{ mol\%}$, as inclusões homogeneizam no estado líquido e contêm volume

molar de 21 a 33 cm³/mol.

As inclusões aquo-carbônicas com razão H₂O/CO₂ aproximadamente constante são caracterizadas por X_{CO2} entre 7 e 20 mol%, e V distribuído entre 20 e 26 cm³/mol (densidade total entre 0,6 e 0,8 g/cm³).

Um modo alternativo de se determinar as propriedades V-X das inclusões aquo-carbônicas e das inclusões ricas em CO₂ é através de diagrama V-X do *solvus* do sistema H₂O-CO₂, elaborado por Bakker e Diamond (2000). O diagrama V-X foi construído com base nos dados experimentais de Sterner e Bodnar (1991) para um fluido homogêneo do sistema H₂O-CO₂, em condições de alta P-T. A composição global (X) e o volume molar (V) são determinados por meio da relação entre dois parâmetros: a T_{hCO2} e a T_H. A vantagem deste método está na dispensa do recurso impreciso da estimativa visual do grau de preenchimento.

Como as relações entre as propriedades V-T-X neste diagrama são adequadas para o sistema H₂O-CO₂ puro, sem sais e em condições de pressões elevadas (Bakker e Diamond, 2000), o método foi aplicado somente para as inclusões aquo-carbônicas de baixa salinidade do domínio I.

Os resultados obtidos neste diagrama estão ilustrados na Tabela 3.4 e, quando confrontados com os valores calculados pelo método convencional, permitem algumas considerações:

(a) a presença de pequena quantidade de sais dissolvidos na fase aquosa, aparentemente, não interfere de maneira significativa na relação entre os parâmetros V-X.

(b) a diferença entre X_{CO2} calculado e obtido no diagrama V-X pode ser superior a 100%. Este erro é atribuído à impossibilidade da avaliação do GP na terceira dimensão.

(c) a fração molar do CO₂ (X_{CO2}) e o volume molar (V), extraídos diretamente do diagrama V-X, também comprovam a existência de variação na proporção das fases aquosa e carbônica destas inclusões.

Tabela 3.4 - Propriedades V-X de inclusões aquo-carbônicas e inclusões ricas em CO₂, em brecha hidráulica e veios de quartzo auríferos do domínio I, calculadas pelo programa MacFlinCor e estimadas pelo Diagrama V-X (Bakker e Diamond, 2000).

AMOSTRA	MICROTERMOMETRIA		VCO2	MacFlinCor			DIAGRAMA V-X		
	T _{hCO2}	T _H	(1-GP)	S	X _{CO2}	V	V _{CO2}	X _{CO2}	V
R25	20,6	312 (v)	0,9	1,2	74	47	0,6	35	32
	20,9	261 (v)	0,8	1	56	40	0,85	65	42
	21,5	289 (v)	0,9	0,8	74	47	0,6	35	32
	28,1	286 (l)	0,6	1	29	32	0,62	32	32
	29,5	288 (l)	0,3	2,8	10	23	0,63	33	34
	29,9	300 (l)	0,4	3,5	14	26	0,63	32	35
	29,1	260 (v)	0,6	1,8	28	32	0,87	65	54
	31	293 (v)	0,5		17	29	0,77	40	48
R27B	29,7	281 (l)	0,3	0,6	10	23	0,55	26	32
	24,5	270 (v)	0,7	1,6	41	35	0,8	55	42
	30,4	255 (l)	0,2	0	6	21	0,3	13	24
	22,4	248 (v)	0,8	4,6	55	40	0,89	73	48
	30,2	290 (l)	0,4	0	14	26	0,63	32	35
	29,5	233 (l)	0,2	1,2	6	21	0,2	8	22
	26,7	290 (v)	0,6	0	30	31	0,62	33	33
	23,6	278 (l)	0,4	2	17	25	0,6	33	32
	25,3	271 (l)	0,3	1,4	11	23	0,45	22	27
	25,4	273 (l)	0,4	1,2	16	25	0,5	25	28,5
	30,3	278 (l)	0,2	2,8	6	21	0,5	21	29
R27C	25,5	282 (l)	0,4	1,8	16	25	0,6	33	32
	28,5	255 (l)	0,3	4,6	10	23	0,32	14	24
	26,3	273 (l)	0,3	4,8	11	23	0,5	25	28,5
	21,7	312 (v)	0,5	2,4	24	27	0,6	34	31
	30,6	229 (l)	0,3	0,6	10	23	0,25	10	23
	27,9	292 (l)	0,3	0,7	10	23	0,62	31	33
	30,7	292,5 (l)	0,5	1,6	19	29	0,65	31	36
	30,4	289 (l)	0,6	1	26	33	0,63	32	35,5
	30,9	284 (l)	0,5	1	18	29	0,55	23	32
	30,2	286 (l)	0,5	1,8	20	29	0,6	28	34
	30,4	255 (l)	0,4	1,2	14	26	0,32	13	24,5
	31,3	265 (l)	0,3	1,2	8	23	0,35	13	26
	26,9	281 (v)	0,7	0,4	40	36	0,65	35	35

T_{hCO2} (°C) = temperatura de homogeneização do CO₂; T_H (°C) = temperatura de homogeneização total para a fase aquosa (l), ou para fase carbônica (v); V_{CO2} = volume da fase carbônica; GP = grau de preenchimento; S (% em peso equivalente NaCl) = salinidade da fase aquosa; X_{CO2} (mol%) = fração molar do CO₂; V (cm³/mol) = volume molar da inclusão.

As inclusões ricas em CO₂, devido à complicação e imprecisão em se determinar a sua T_H, estão presentes em pequeno número nesta comparação. Não obstante, as inclusões que homogeneizam no estado líquido, onde a medição da T_H foi mais precisa, contêm X_{CO2} variando de <10 a 33 mol% (V_{CO2}=0,2-0,65) e V entre 22 e 35 cm³/mol. Quando X_{CO2}≥34 mol% (V_{CO2}>0,6) e V≥31 cm³/mol, as inclusões homogeneizam no estado vapor.

3.3.5 Identificação e Caracterização da Imiscibilidade de Fluidos no Sistema H₂O-NaCl-CO₂±CH₄

A observação, durante o estudo petrográfico e microtermométrico, de inclusões aquo-carbônicas com grau de preenchimento e X_{CO2} extremamente variáveis constitui uma evidência da ocorrência de imiscibilidade no fluido hidrotermal formador da brecha hidráulica e dos veios de quartzo auríferos, contudo, não é suficiente para caracterizá-la. Com base no indício de aprisionamento heterogêneo do fluido aquo-carbônico, principalmente no domínio I, na presença de inclusões ricas em CO₂ e inclusões ricas em H₂O, com composição e densidade bimodal, e na ausência de feições indicativas de estrangulamento (*necking-down*), a hipótese da imiscibilidade de fluidos foi investigada.

Os princípios do equilíbrio de fases permitem julgar se a coexistência destes dois tipos de fluidos, em uma mesma rocha, pode corresponder a um par de fluidos imiscíveis. Os critérios para identificação da imiscibilidade em um sistema isocórico-isoplético foram propostos por Ramboz *et al.* (1982) e têm sido adotados em vários trabalhos e em diferentes mineralizações auríferas do tipo *Iode* (Robert e Kelly, 1987; Walsh *et al.* 1988; Diamond, 1990; Craw *et al.* 1993; Boer *et al.* 1995; Jia *et al.* 2000). Estes critérios são:

Critério 1: As inclusões aquo-carbônicas ricas em H₂O e as ricas em CO₂ são cogenéticas, apresentando íntima relação espacial e temporal.

Nas mineralizações auríferas dos domínios I e II da Bacia de Jacobina, as inclusões com fase carbônica ou fase aquosa predominante ocorrem como parte de uma mesma população e mostram forte evidência de aprisionamento contemporâneo.

Critério 2: A homogeneização total das inclusões aquo-carbônicas ricas em H₂O e das ricas em CO₂ ocorre no mesmo intervalo de temperatura. O modo de homogeneização é diretamente dependente da densidade total (d_T) das inclusões.

As inclusões aquo-carbônicas ricas em H₂O ($X_{CO_2} \leq 33$ mol% e $22 \leq V \leq 35$ cm³/mol) homogeneizam no estado líquido, enquanto as inclusões ricas em CO₂ ($X_{CO_2} \geq 34$ mol% e $V \geq 31$ cm³/mol) homogeneizam no estado vapor. Em termos gerais, a homogeneização total das inclusões aquo-carbônicas, tanto para a fase líquida como para fase vapor, ocorre em intervalos de temperatura muito semelhantes, ou seja, de 215°C a 340°C e de 210°C e 360°C, respectivamente.

Critério 3: As inclusões que representam fluidos imiscíveis são aprisionadas sob condições de P-T similares. No instante da temperatura de homogeneização total (T_H), o par de fluidos com volume molar contrastante deve ter a mesma pressão interna de homogeneização (P_H). Quando a homogeneização não se completa, as inclusões com tamanho e formato semelhantes devem crepitar em um intervalo de temperatura similar.

A crepitação de inclusões é um fenômeno comum e constante em grande parte das amostras estudadas. Tanto inclusões dominadas pela fase carbônica quanto inclusões dominadas pela fase aquosa apresentam crepitação em temperaturas distribuídas no intervalo de 210°C a 355°C.

Critério 4: As espécies químicas sofrem fracionamento entre as fases líquida e vapor, conforme os coeficientes de distribuição (K_D). Quando o fluido encontra-se em estado de imiscibilidade, a concentração relativa dos voláteis e solutos nas duas fases imiscíveis está de acordo com o princípio de equilíbrio químico. Em baixas P e T, os voláteis mostram fracionamento para a fase vapor, enquanto os solutos (sais) concentram-se na fase líquida. Com o aumento da P e T, a partição destes componentes é menos pronunciada, chegando ao ponto onde o fluido torna-se homogêneo e todos os componentes são dissolvidos em uma única fase.

Os resultados obtidos pela análise global de gases (item 4) mostram em detalhes a comprovação da partição de voláteis em direção ao fluido rico em vapor (CO₂). As inclusões aquosas, por sua vez, concentram os sais dissolvidos.

O atendimento destes 4 requisitos permite inferir que a composição e as propriedades P-V-T dos fluidos encontrados nos dois tipos de inclusões são

compatíveis com o registro da imiscibilidade de um fluido aquo-carbônico inicialmente homogêneo.

As inclusões que mostram grande variação na razão H_2O/CO_2 são formadas pelo aprisionamento de uma mistura mecânica accidental dos fluidos em estado de imiscibilidade. O aprisionamento heterogêneo produz inclusões com diferentes quantidades relativas de cada fase fluida. Este processo resulta em inclusões com grau de preenchimento, composição global e densidade total (volume molar) intermediárias entre os membros extremos do fluido imiscível. A homogeneização total destas inclusões ocorre em intervalos de temperaturas superiores às de aprisionamento dos dois membros extremos imiscíveis (Roedder e Bodnar, 1980; Ramboz *et al.* 1982; Loucks, 2000; Diamond, 2001).

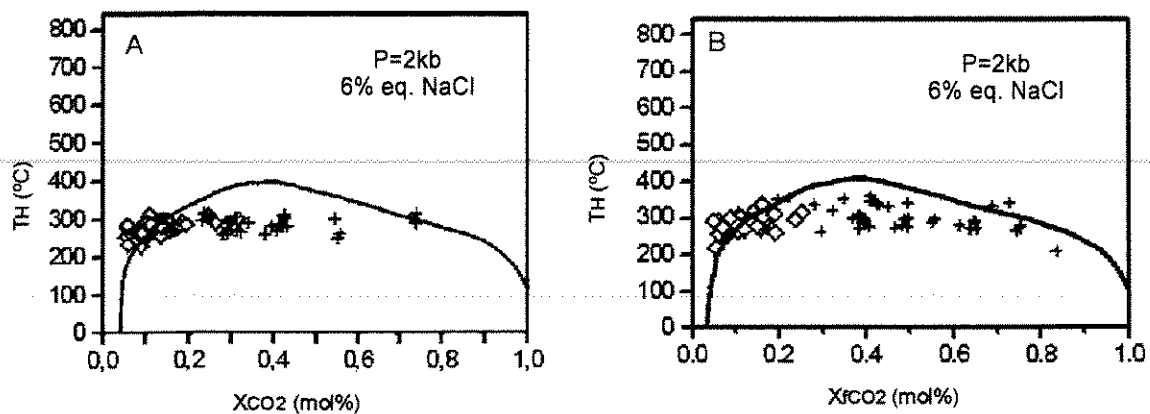


Figura 3.11 - Diagramas T-X (curva de solvus) para as inclusões aquo-carbônicas e as inclusões ricas em CO_2 do domínio I (A) e domínio II (B). As inclusões representadas com um losango homogeneizam no estado líquido (fase aquosa) e as inclusões ilustradas por uma cruz homogeneizam no estado vapor (fase carbônica). Em ambos domínios, as inclusões apresentam valores X-T que se adequam a curva de 2 kbar para o sistema H_2O-CO_2-NaCl com 6% em peso equivalente de NaCl (Bowers e Helgeson, 1983). No domínio II admite-se que a pequena concentração de CH_4 não produz efeitos significativos no posicionamento da curva de solvus.

A comprovação da imiscibilidade envolve a adequação dos resultados composicionais e propriedades P-V-T, obtidos a partir da microtermometria e microespectroscopia Raman, com os dados experimentais e teóricos disponíveis. Com este objetivo, as curvas de solvus para o sistema H_2O-CO_2-NaCl , nos domínios I e II,

foram construídas com base na composição global das inclusões (X_{CO_2}) em função de sua respectiva temperatura de homogeneização total (T_H) (Figuras 3.11A e B).

No domínio II, em função da pequena concentração global de CH_4 (geralmente inferior a 2 mol%), foi desconsiderado o efeito da presença deste volátil na curva de *solvus*. A distribuição dos pontos (par X-T) é similar ao formato geral da curva de *solvus*, delimitando a região onde ocorre a imiscibilidade entre as fases líquida e vapor.

Nos diagramas T-X, os pontos se alinham razoavelmente na curva de *solvus* correspondente à pressão de 2 kbar e com 6% em peso equivalente de NaCl (Bowers e Helgeson, 1983). A melhor adequação ocorre para as inclusões que apresentam homogeneização para o estado líquido ($X_{\text{CO}_2} < 20$ mol%). Os pontos representativos das inclusões que homogeneizam para o estado vapor ($X_{\text{CO}_2} > 20$ mol%) estão abaixo da curva, o que pode ser resultante do fenômeno da homogeneização aparente, onde a T_H medida é inferior à T_H real.

3.3.6 Condições P-T de Formação

As inclusões se comportam como um sistema que apresenta composição global e volume molar constantes após o aprisionamento do fluido (Roedder e Bodnar, 1997), de forma que sua evolução P-T segue um percurso isocórico-isoplético univariante (isócora).

A coexistência de um fluido aquo-carbônico rico em H_2O com outro rico em CO_2 , gerados pela imiscibilidade de um fluido aquo-carbônico inicialmente homogêneo, significa que os grupos de inclusões contendo este fluido imiscível foram formados e equilibrados nas mesmas condições P-T. Neste estudo, admite-se que a curva isocórica para estes dois grupos de inclusões intercepta a superfície de imiscibilidade somente uma vez (Diamond, 1996; Schmidt e Bodnar, 2000). A maioria das inclusões, nas mineralizações auríferas dos domínios I e II, sofre crepitação ou vazamento de H_2O em temperaturas inferiores a 360°C , não sendo, portanto, documentada a exsolução de outra fase fluida após a primeira homogeneização total do fluido.

No caso específico das inclusões formadas após o início da imiscibilidade, somente para aquelas que representam os membros extremos do fluido imiscível, sua

homogeneização total acontece em temperaturas próximas a de aprisionamento (Roedder e Bodnar, 1980; Diamond, 2001).

As condições P-T de formação das inclusões, ou aprisionamento do fluido, em um sistema aquo-carbônico submetido a separação de fases, podem ser estimadas por meio de dois métodos:

(a) intersecção de isócoras das inclusões com composição global e volume molar contrastantes, e que se aproximam dos membros extremos de um fluido imiscível.

(b) construção da curva de *solvus*, no diagrama T-X, com base nos dados de X_{CO_2} e T_H .

As isócoras foram construídas a partir dos pontos P-T calculados pelo programa MacFlinCor, com base nas mesmas equações de estado utilizadas para a estimativa das propriedades V-X. As isócoras escolhidas representam o comportamento no plano P-T de inclusões ricas em CO_2 e inclusões aquosas/aquo-carbônicas ricas em H_2O . Para cada tipo de inclusão foram selecionadas aquelas com valores máximo e mínimo de T_{HCO_2} e T_H (somente para inclusões aquosas primárias do tipo 1). Este critério abrange os extremos de densidade encontrados para cada tipo de inclusão e permite, através do cruzamento de isócoras representativas dos membros extremos do fluido imiscível, delimitar um polígono referente ao campo de condições P-T sob o qual se formaram as inclusões e, por extensão, as mineralizações auríferas (Roedder e Bodnar, 1997; Barrie e Touret, 1999; Jelsma *et al.* 1999).

A variação na T_{HCO_2} pode ser atribuída à flutuação de P durante a ascensão e aprisionamento do fluido. A existência, em alguns planos e grupos, de inclusões do sistema H_2O-CO_2 com densidades variadas (coexistência de inclusões com $d_T > 0,9$ e $d_T < 0,7$) corroboram a hipótese de flutuação das condições P-T. Durante a formação dos veios de quartzo e das brechas hidráulicas, o decréscimo de P ocorre de modo repentino e transitório, como resultado da abertura progressiva de espaço para passagem do fluido nas descontinuidades (*fault-valve mechanism*). Na sequência, estas descontinuidades são preenchidas por quartzo, precipitado a partir do fluido hidrotermal, e há novo aumento da P_{fluido} (Sibson *et al.* 1988; Mullis *et al.* 1994; Cox *et al.* 1995).

A intersecção das isócoras representativas das inclusões ricas em CO_2 com aquelas das inclusões aquosas definem um intervalo de T entre 190°C e 463°C, e P entre 0,5 kbar e 4,1 kbar, para a formação das mineralizações auríferas do domínio I (Figura 3.12A). Para as mineralizações do domínio II (Figura 3.12B), o cruzamento destas isócoras ocorre em um intervalo ainda maior, de 217°C a > 600°C e de 1 kbar a > 5 kbar. Em função das T_H medidas para as inclusões primárias, e conforme as condições definidas na Figura 3.11 A e B, os valores de T acima de 350°C e de P superiores a 2,5 kbar são irrealísticos para estas mineralizações. Acima destas condições, o fluido seria homogêneo, não teria sido submetido à separação de fases e não se formariam os tipos de inclusões encontrados na brecha e nos veios de quartzo.

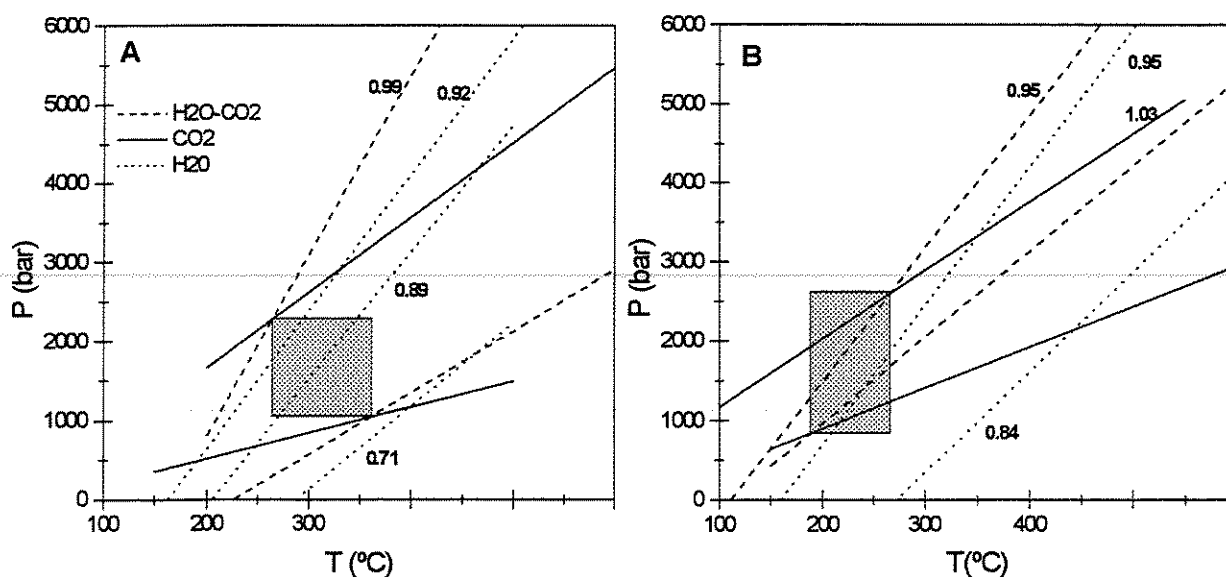


Figura 3.12 - Isócoras representativas dos fluidos imiscíveis com composições próximas a dos membros extremos, nos domínios I (A) e II (B). O número na isócora indica a densidade total das inclusões. As áreas em cinza definem as condições P-T de aprisionamento das inclusões aquo-carbônicas e, por conseguinte, da formação das mineralizações auríferas.

O intervalo de P e T é restringido ao se considerar o cruzamento das isócoras de inclusões aquo-carbônicas ricas em H_2O com isócoras de inclusões ricas em CO_2 . Neste caso, estas intersecções definem um campo de condições P-T entre 1,0 kbar e 2,3 kbar, e 265°C e 357°C (mineralizações do domínio I); e de 0,8 kbar a 2,6 kbar, e 187°C a 266°C (mineralizações do domínio II) (Figuras 3.12A e B). Estas condições P-T

estão de acordo com os valores encontrados nas curvas de *solvus* (Figuras 3.11A e B), onde as inclusões que homogeneizam no estado líquido, em ambos domínios, possuem temperaturas restritas ao intervalo de 215°C a 340°C e são condizentes com uma P de 2 kbar.

Portanto, admite-se que as mineralizações auríferas epigenéticas da Bacia de Jacobina formaram-se no intervalo de temperatura de 200°C a 350°C e intervalo de pressão de 1 kbar a 2,5 kbar. A composição e propriedades P-V-T do fluido são similares a de fluidos comumente encontrados em mineralizações de ouro do tipo *lode*, em condições de fácies xisto verde (Roberts, 1988; Groves e Foster, 1993; Groves *et al.* 1998; Mikucki, 1998; McCuaig e Kerrich, 1998).

4 ANÁLISE GLOBAL DE GASES

4.1 Método e Dificuldades Analíticas

Os componentes voláteis presentes nas inclusões foram extraídos e analisados quantitativamente com espectrômetro de massa quadrupólo (EMQ), no *Department of Earth and Environmental Science* do *New Mexico Tech* (Socorro, EUA), de acordo com o método desenvolvido por Norman e Sawkins (1987).

A análise de gases é um método direto e destrutivo que permite a medição de espécies voláteis dominantes, assim como as que ocorrem em porcentagens reduzidas e não são detectadas pela microtermometria e microespectroscopia Raman. A extração dos voláteis é realizada pelo esmagamento de alguns miligramas de grãos de quartzo, sob vácuo, ocasionando a liberação simultânea dos gases contidos em todas as populações de inclusões. Desta forma, a análise global fornece uma composição média total dos voláteis que foram aprisionados no fluido durante a formação dos diversos tipos e gerações de inclusões fluidas. O estudo petrográfico das seções possibilita o controle dos tipos de inclusões presentes na amostra e fornece a base para a interpretação do significado geológico da composição de voláteis obtida.

Os voláteis são separados no interior de um recipiente com nitrogênio líquido em duas frações: uma contendo gases não condensáveis como H₂, He, Ar, CH₄, CO, N₂ e

O₂; e outra que inclui componentes condensáveis como CO₂, H₂S, SO₂ e hidrocarbonetos com cadeias de 2 a 6 carbonos. A fração de gases condensáveis é separada da água utilizando-se uma mistura de gelo seco e álcool. O sistema analítico compreende uma linha de extração a vácuo, um manômetro que mede a pressão de cada fração de gás contida em um volume conhecido da linha de extração e um espectrômetro de massa quadrupólo que identifica a natureza das espécies gasosas e mede as suas razões (Figura 3.13).

A determinação da composição química dos voláteis através da crepitação das inclusões não é adequada para as amostras estudadas. A maioria das inclusões tem diâmetro inferior a 8-10 µm e gera um volume de fluido insuficiente para a determinação quantitativa de gases traço.

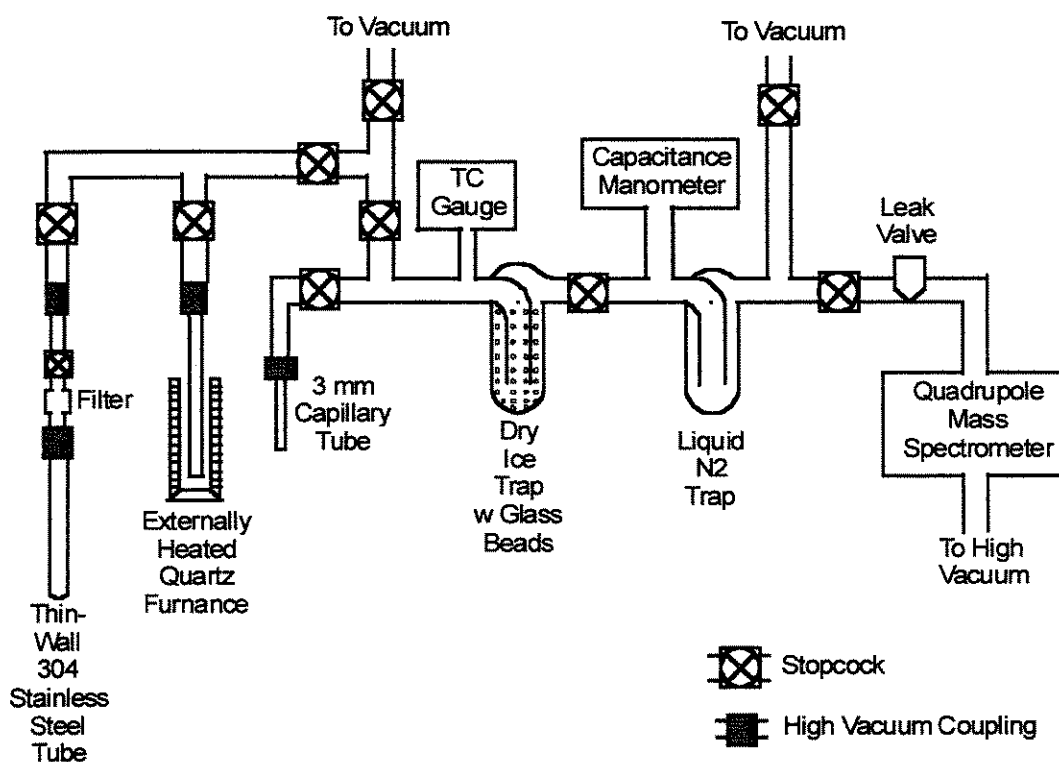


Figura 3.13 - Diagrama esquemático do sistema analítico utilizado para extração e medição das espécies voláteis contidas nas inclusões, segundo o método desenvolvido por Norman e Sawkins (1987).

Os fatores que afetam a análise de gases pelo sistema EMQ são abordados por Jones e Kesler (1992) e Graney e Kesler (1995). A identificação e quantificação dos

gases por meio do esmagamento das inclusões envolvem a resolução dos seguintes problemas: (1) a fragmentação das moléculas de gás na fonte do analisador quadrupólo; (2) a sensibilidade relativa do sistema de detecção à H_2O e outros gases; e (3) a adsorção de H_2O na linha de extração ou nas novas superfícies formadas no mineral hospedeiro das inclusões, após o seu esmagamento.

Durante a ionização dos gases na fonte do sistema EMQ ocorrem dois fenômenos: (a) as moléculas de gases são fragmentadas em espécies menores, de acordo com a pressão; (b) duas espécies voláteis em quantidades iguais podem não produzir o mesmo sinal no detector. Estas duas questões são resolvidas pela incorporação de fatores de correção e pela aplicação do processo de inversão de matriz, durante o tratamento dos dados no *software* acoplado ao EMQ.

As dificuldades associadas à análise quantitativa de H_2O são mais complicadas. Devido à adsorção de H_2O no sistema analítico, pode-se subestimar a quantidade de H_2O e a razão H_2O /gás torna-se menor. De acordo com Graney e Kesler (1995), as condições necessárias para minimizar a adsorção de H_2O envolvem: (a) a calibração da resposta do detector à quantidade de H_2O liberada das inclusões; (b) determinar os padrões de fragmentação da H_2O (também dependente da pressão) após o pico dos outros gases terem retornado ao nível de base; (c) verificar se a altura do pico para a molécula de H_2O (número de massa 18) está pelo menos uma unidade logarítmica de magnitude acima do nível de base; e (d) observar se a quantidade de H_2O liberada é superior a 0,1 μg . Obedecidas estas condições, a quantidade de H_2O adsorvida não afetará, de maneira significativa, a composição química do fluido determinada através da análise global de gases.

4.2 Resultados Obtidos

A análise global de gases por esmagamento das inclusões foi efetuada em cinco amostras, divididas entre os dois domínios abordados neste estudo: (a) veio de quartzo (R23B) e brecha hidráulica (R25) que cortam os metaconglomerados da Mina Itapicuru (domínio I); (b) veios de quartzo dos garimpos Maravilha (R35), Coxo de Dentro (R38) e Jaqueira (JB2221) (domínio II).

Alguns miligramas de amostras foram separados e introduzidos individualmente no sistema analítico EMQ. Não foi possível selecionar porções somente com inclusões aquo-carbônicas e/ou inclusões ricas em CO_2 , em função da presença marcante de inclusões aquosas nas amostras. Os resultados obtidos são apresentados no Anexo 2.

Em diferentes porções de uma mesma amostra, a composição global dos voláteis é marcada por alta variação na quantidade de H_2O , CO_2 , CH_4 e N_2 . Em virtude das evidências petrográficas e microtermométricas já apresentadas, a oscilação de valores é atribuída à ocorrência de imiscibilidade. As inclusões formadas após o início da separação de fases não se distribuem de modo uniforme por toda a amostra. Desta forma, a amostra pode conter diferentes regiões com proporções distintas de inclusões ricas em líquido (H_2O) e em vapor (CO_2). Quando ocorre aprisionamento heterogêneo, a variabilidade na composição dos voláteis tende a aumentar.

A presença de inclusões aquosas secundárias na amostra provoca a diluição da composição global dos voláteis com acréscimo de H_2O , como também contribui para a variação na razão $\text{H}_2\text{O}/\text{gases}$. Entretanto, não altera a razão entre espécies como CO_2 , CH_4 , N_2 , H_2S , SO_2 e C_nH_m , visto que as inclusões aquosas secundárias contêm apenas H_2O como volátil, conforme observado na microtermometria e microespectroscopia Raman.

Os diagramas ternários com CO_2 - CH_4 - H_2O e CO_2 - N_2 - H_2O (Figuras 3.14A e B) representam a somatória da composição química global das inclusões, com relação às principais espécies voláteis. Nas duas amostras do domínio I, H_2O é o componente volátil dominante e compreende uma média superior a 78 mol% do fluido aprisionado nas inclusões. A concentração de CO_2 varia de 3 a 33 mol%, ao passo que CH_4 e N_2 ocorrem em valores médios inferiores a 0,75 mol%. Em comparação com o veio de quartzo (R23B), a brecha hidráulica (R25) apresenta uma maior concentração média de CO_2 , enquanto CH_4 , N_2 , H_2 e H_2S ocorrem em menores quantidades. A amostra R23B mostra uma maior variação no conteúdo de CH_4 e N_2 .

As três amostras do domínio II são caracterizadas por grandes diferenças nas razões $\text{H}_2\text{O}/\text{CO}_2$ (Figuras 3.14A e B). No veio de quartzo do garimpo Maravilha (R35), as inclusões possuem uma composição média de voláteis que se agrupa próxima ao vértice do componente CO_2 (valores entre 59 e 84 mol%). A H_2O está presente em

quantidades subordinadas, que oscilam de 12 a 37 mol%. Nos garimpos Coxo de Dentro (R38) e Jaqueira (JB2221), a tendência se inverte, de modo que a H₂O constitui o principal volátil, com concentração superior a 55 mol% (valores podem atingir até 90 mol%).

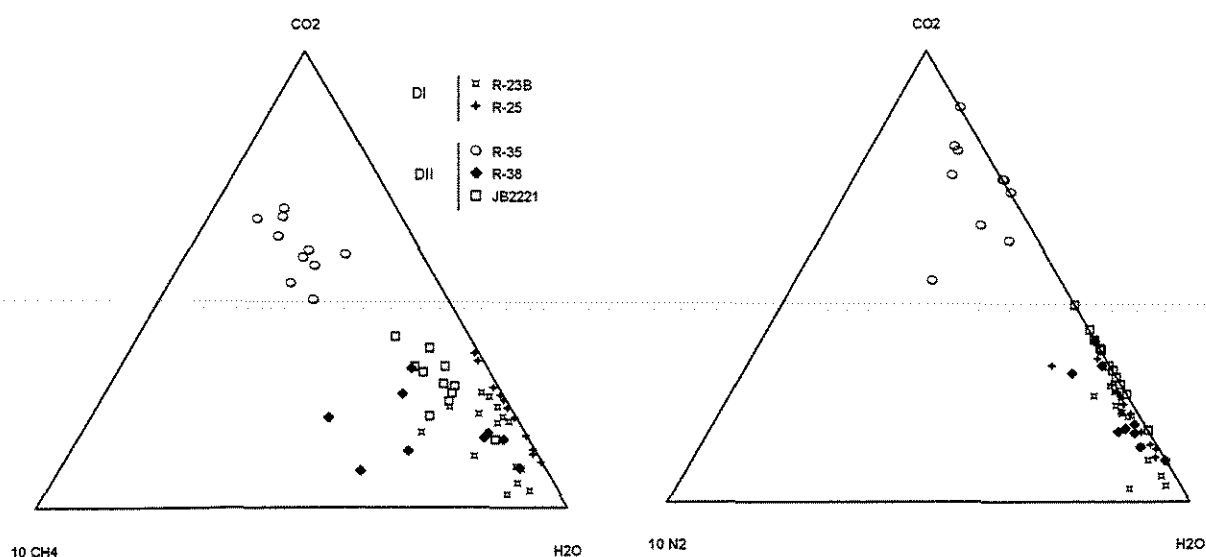


Figura 3.14 - Diagramas CO₂-CH₄-H₂O (A) e CO₂-N₂-H₂O (B) mostrando a composição global das principais espécies voláteis nas inclusões presentes em mineralizações auríferas dos domínios I (R23B e R25) e II (R35, R38 e JB2221).

O volátil N₂ ocorre em pequenas quantidades (média inferior a 0,7 mol%), embora na amostra R35 apresente uma maior variação, atingindo o valor de 3,1 mol%. De maneira semelhante aos resultados obtidos com a microtermometria e microespectroscopia Raman, em relação ao domínio I, estas três amostras são enriquecidas em CH₄, conforme verificado na Figura 3.14A.

4.3 Modificações Químicas Induzidas Pela Imiscibilidade

Quando o fluido em estado de imiscibilidade circula num sistema fechado, as duas fases imiscíveis, vapor e líquido, permanecem em contato e em condições de equilíbrio, não havendo alterações significativas na composição química da solução.

A formação dos veios de quartzo e da brecha hidráulica, a partir de um fluido hidrotermal que percolou a seqüência metassedimentar da Bacia de Jacobina, é assumida como tendo ocorrido em um sistema pelo menos parcialmente aberto. Nestas condições, a fase vapor pode ser removida continuamente do contato com a fase líquida restante, ocasionando a modificação paulatina do conteúdo e da razão de voláteis, na solução, de modo mais efetivo (Drummond e Ohmoto, 1985).

Durante a separação de fases, devido à diferença de solubilidade das espécies voláteis no fluido originalmente homogêneo, o fracionamento preferencial dos gases para a fase vapor segue a ordem de aumento da razão de volatilidade: $H_2 > N_2 > CH_4 > CO_2 > H_2S > SO_2$ (Drummond e Ohmoto, 1985). Conseqüentemente, há uma tendência de maior concentração dos voláteis nas inclusões ricas em CO_2 e empobrecimento destes nas inclusões ricas em H_2O .

A extensão destas modificações químicas induzidas pela imiscibilidade pode ser medida através do comportamento da razão entre duas espécies voláteis, especialmente CO_2/CH_4 e CO_2/N_2 (Thomas e Spooner, 1992; Sasada *et al.* 1992). Em qualquer estágio de imiscibilidade em um sistema aberto, as razões CO_2/CH_4 e CO_2/N_2 são sempre maiores na fase líquida do que na fase vapor (Channer e Spooner, 1994). Quanto maior o grau de imiscibilidade, maior será a fração de vapor extraída da solução. O grau elevado de imiscibilidade produz um comportamento, onde as razões CO_2/CH_4 e CO_2/N_2 aumentam em inclusões dominadas pela fase líquida aquosa, ao passo que, nas inclusões ricas em CO_2 , há uma tendência oposta.

A Figura 3.15 expressa a relação entre a razão CO_2/CH_4 e a concentração de CO_2 (mol%), para as cinco amostras submetidas à análise global de voláteis. As duas amostras do domínio I apresentam comportamentos distintos com relação à razão CO_2/CH_4 . Os dados de voláteis para o veio de quartzo (R23B) definem um grupo de pontos com baixa razão CO_2/CH_4 . Dentro deste grupo é possível identificar dois subgrupos: (a) o subgrupo A, situado próximo à origem, contém valores de CO_2/CH_4 inferiores a 18, e conteúdo de CO_2 entre 3 e 12 mol%; (b) no subgrupo B, o CO_2 varia de 19 a 26 mol% e a razão CO_2/CH_4 oscila entre 8 e 103.

A brecha hidráulica (R25) mostra um comportamento em direção a altas razões CO_2/CH_4 , indicando que há empobrecimento de CH_4 em relação a CO_2 nas inclusões

aquo-carbônicas. As populações de inclusões aquo-carbônicas na brecha hidráulica são caracterizadas pelo predomínio da fase rica em H₂O. Desta forma, o comportamento da razão CO₂/CH₄ é interpretado como evidência de que a brecha hidráulica se formou a partir de um fluido aquo-carbônico mineralizante que estava sob alto grau de imiscibilidade. Esta evidência é confirmada pela menor concentração média de CH₄, N₂, H₂S e SO₂ da brecha hidráulica, em relação ao veio de quartzo (R23B) (Anexo 2 e Figuras 3.14A e B). Estes voláteis sofreram partição em direção à fase rica em CO₂. Durante o alívio de pressão para formação da brecha, e por causa de sua menor densidade, a fase rica em CO₂ migrou para níveis superiores na estratigrafia da Bacia de Jacobina.

O veio de quartzo (R23B), em função da baixa razão CO₂/CH₄, e da maior quantidade de CH₄, N₂, H₂S e SO₂, formou-se em um estágio inicial de imiscibilidade. O subgrupo A pode corresponder ao fluido aquo-carbônico homogêneo, não submetido à separação de fases. De acordo com as observações petrográficas, este subgrupo representaria porções do veio de quartzo dominadas por inclusões aquo-carbônicas que ocorrem em trilhas e arranjos planares e possuem grau de preenchimento relativamente constante.

A variação da concentração de CO₂ na brecha hidráulica (10 a 33 mol%) e no veio de quartzo (subgrupo B) é atribuída ao efeito físico do aprisionamento heterogêneo das fases fluidas imiscíveis. Assim, no aprisionamento de um volume maior da fração rica em vapor, a elevação na concentração de CO₂ é acompanhada pelo aumento na quantidade de CH₄ e N₂, conforme atestam os resultados obtidos na análise global de voláteis (Anexo 2). Esta característica também pode ser constatada na tendência de queda da razão CO₂/CH₄ para valores altos de CO₂ (Figura 3.15).

As amostras do domínio II apresentam comportamentos semelhantes em relação à razão CO₂/CH₄. Nos três veios de quartzo, a razão CO₂/CH₄ é sempre inferior a 40. A distinção entre estes veios pode ser verificada na concentração total de CO₂. O veio de quartzo do garimpo Maravilha (R35) possui comportamento individualizado, marcado por um conteúdo de CO₂ superior a 58 mol%, e que pode atingir até 84 mol% (média de 71 mol%). A concentração de CO₂ encontrada confere com o estudo petrográfico, onde as inclusões ricas em CO₂ são predominantes. As inclusões aquo-carbônicas com grau

de preenchimento variável e as inclusões aquosas ocorrem em proporções reduzidas.

Os garimpos Coxo de Dentro (R38) e Jaqueira (JB2221) mostram valores de CO_2 inferiores a 43 mol%. A concentração de CO_2 varia de 9 a 35 mol% (média de 20 mol%) na amostra R38 e de 16 a 43 mol% (média de 30,6 mol%) na amostra JB2221. Embora, à semelhança do garimpo Maravilha, estes dois veios de quartzo contenham inclusões ricas em CO_2 , as inclusões aquosas secundárias estão presentes em maior número. A maior quantidade de inclusões aquosas, e subordinadamente uma maior porcentagem de aprisionamento heterogêneo, são responsáveis pela diluição do conteúdo total de CO_2 .

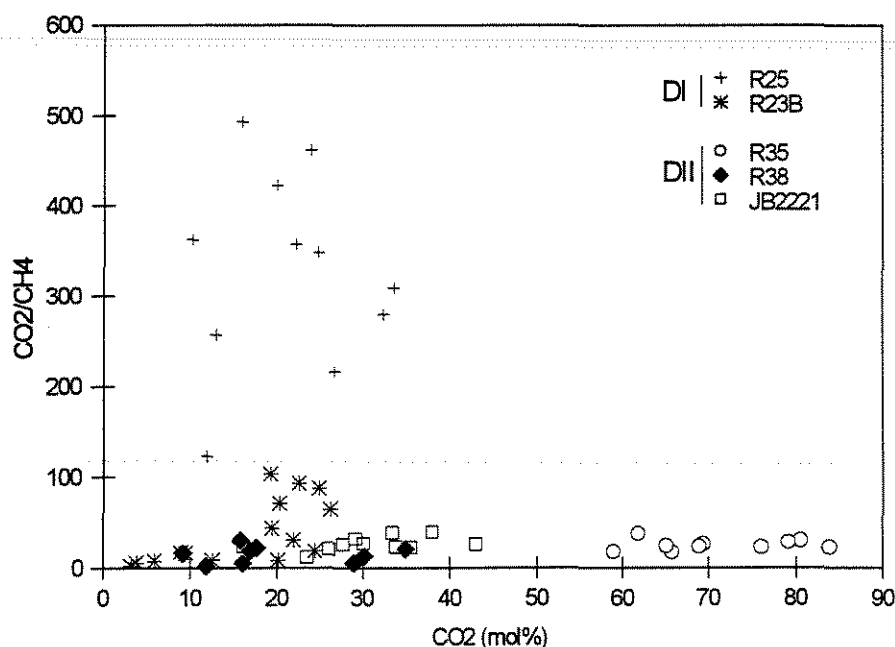


Figura 3.15 - Diagrama da concentração global de CO_2 em função da razão CO_2/CH_4 , com base na análise global de voláteis para inclusões encontradas em mineralizações auríferas dos domínios I (R23B e R25) e II (R35, R38 e JB2221). O comportamento da razão CO_2/CH_4 é utilizado como parâmetro para medir a extensão da imiscibilidade do fluido aquo-carbônico em um sistema aberto. A disposição dos valores em um comportamento paralelo à ordenada (CO_2/CH_4) indica empobrecimento de CH_4 no fluido aprisionado, pois este volátil é fracionado primeiro para a fase vapor, quando comparado ao CO_2 . A tendência paralela à abscissa (CO_2) corresponde ao enriquecimento em CO_2 , relacionado ao aprisionamento seletivo da fase vapor.

Em relação ao domínio I, nos três veios de quartzo, a análise de voláteis revela uma concentração elevada de CH_4 (Figura 3.14A). Conforme o Anexo 2, o CH_4 varia de

1,6 a 3,7 mol% (média de 2,9 mol%) no garimpo Maravilha; de 0,5 a 5,2 mol% (média de 2,2 mol%) no garimpo Coxo de Dentro; e de 0,7 a 1,9 mol% (média de 1,2 mol%) no garimpo Jaqueira.

Apesar da alta concentração de CO_2 , a razão CO_2/CH_4 é baixa porque há também enriquecimento em CH_4 no fluido aprisionado. A baixa razão CO_2/CH_4 não significa, necessariamente, que as inclusões registram um estágio inicial de imiscibilidade do fluido aquo-carbônico.

A similaridade no contexto geológico das mineralizações auríferas, assim como a equivalência nos tipos de inclusões e em suas respectivas propriedades P-V-T-X, permitem inferir que um mesmo fluido aquo-carbônico mineralizante foi aprisionado nas inclusões fluidas presentes nos domínios I e II.

Considera-se que o fluido aquo-carbônico parental homogêneo tenha uma composição global equivalente àquela do subgrupo A da amostra R23B: $\text{XCO}_2 = 7,3$ mol%; $\text{XCH}_4 = 0,8$ mol%; e $\text{XH}_2\text{O} = 91,2$ mol%. Estes valores correspondem a uma média, desconsiderando-se que possa ter havido diluição dos voláteis em função da quantidade de inclusões aquosas. O enriquecimento em CH_4 nas amostras R35, R38 e JB2221 pode ser decorrente de dois processos:

(a) o fluido aquo-carbônico homogêneo é submetido a alto grau de imiscibilidade. Como consequência, o CH_4 concentra-se na fase rica em vapor. O aprisionamento seletivo da fase rica em vapor, conforme comprova o predomínio de inclusões ricas em CO_2 nos veios de quartzo dos garimpos, seria responsável pela quantidade de CH_4 encontrada na análise global de gases.

(b) reação do fluido aquo-carbônico homogêneo com rochas encaixantes ricas em matéria carbonácea (e.g. camadas centimétricas a métricas de metapelitos negros ricos em grafita, intercaladas nos quartzitos da Formação Rio do Ouro). Na hipótese da interação fluido-rocha, o próprio acréscimo de pequena quantidade de CH_4 no fluido poderia dar início a imiscibilidade e seria um poderoso mecanismo para desencadear a deposição do ouro (Naden e Shepherd, 1989).

Por conseguinte, a baixa razão CO_2/CH_4 em inclusões ricas em $\text{CO}_2\text{-CH}_4$ indica um estágio avançado de imiscibilidade para os fluidos formadores dos veios de quartzo dos garimpos Maravilha, Coxo de Dentro e Jaqueira.

CAPÍTULO IV - CONCLUSÕES

A evolução geotectônica da Bacia de Jacobina registra um evento tardio e regional de percolação de fluidos hidrotermais, ao longo de descontinuidades estruturais, que resultou na formação de brechas hidráulicas e veios de quartzo, mineralizados a ouro, em vários níveis das unidades metassiliciclásticas e no interior e margens de corpos básicos/ultrabásicos intrusivos.

Nos cristais de quartzo associados a estas mineralizações auríferas (domínios I e II) foram encontrados três tipos composicionais de inclusões: (a) inclusões constituídas por $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2\pm\text{CH}_4$, de baixa salinidade e mostrando proporção do volume de fases variável; (b) inclusões ricas em $\text{CO}_2\pm\text{CH}_4$, com H_2O subordinada; e (c) inclusões aquosas primárias de baixa salinidade e que podem conter quantidades subordinadas de CO_2 , além de inclusões aquosas secundárias de salinidade variável.

Estas inclusões mostram evidências de terem se formado durante a cristalização do quartzo e, como consequência, o seu conteúdo fluido pode ser considerado como o representante mais próximo do fluido mineralizante. Sua composição e propriedades P-V-T são típicas de fluidos hidrotermais responsáveis por mineralizações de ouro do tipo *lode*, em condições de fácies xisto verde. O regime P-T para o aprisionamento das inclusões primárias e, por conseguinte, para a formação das mineralizações auríferas está situado em temperaturas de 200°C a 350°C e pressões de 1,0 kbar a 2,5 kbar.

A imiscibilidade do fluido aquo-carbônico inicialmente homogêneo foi identificada e caracterizada com base nas seguintes evidências:

(a) a presença de populações de inclusões aquo-carbônicas com variação no grau de preenchimento e X_{CO_2} , e que são resultantes de aprisionamento heterogêneo do fluido em estado de imiscibilidade.

(b) a homogeneização total de inclusões do sistema $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ no mesmo intervalo de temperatura.

(c) o fracionamento de voláteis em direção à fase vapor rica em CO_2 detectado pela análise global de voláteis.

(d) ausência de indícios de estrangulamento e baixa deformação/recristalização dos cristais de quartzo hospedeiros das inclusões, que impedem a hipótese de

vazamento de H_2O .

(e) a coexistência temporal e espacial de inclusões ricas em CO_2 com inclusões aquosas (densidade e volume molar bimodal).

(f) o amplo espectro de densidade das inclusões aquo-carbônicas e inclusões ricas em CO_2 , decorrente da flutuação na P_{fluido} durante a formação das brechas e veios de quartzo.

A razão CO_2/CH_4 e a concentração de CH_4 indicam que o fluido aquo-carbônico foi submetido a um estágio avançado de imiscibilidade. Portanto, houve uma separação física quase completa da fase gasosa carbônica em relação à fase líquida aquosa, com conseqüências diretas no mecanismo de fluxo do fluido e na solubilidade/precipitação de minerais e do ouro. O alto grau de imiscibilidade também pode explicar o predomínio de inclusões ricas em CO_2 nos veios de quartzo do domínio II.

Em função dos teores de ouro encontrados é possível inferir que, no início da separação de fases, a exsolução da fase vapor carbônica promoveu modificações no pH, fO_2 e $m\Sigma S$, de forma que houve o aumento da solubilidade (concentração) do ouro na solução residual. O prosseguimento da imiscibilidade levou à supersaturação do fluido e, conseqüentemente, ocasionou a precipitação do ouro em grande quantidade e em um volume restrito de rocha.

A imiscibilidade é um processo episódico, produzido por flutuações da pressão do fluido durante a ascensão da solução hidrotermal e a formação das brechas hidráulicas e veios de quartzo. Secundariamente, no domínio II (veios de quartzo nos garimpos), a interação fluido/rocha (reação do fluido com níveis grafitosos na Formação Rio do Ouro) pode ter contribuído para esta separação de fases, através da adição de CH_4 ao fluido mineralizante.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAKKER R.J., DIAMOND L.W. 2000. Determination of the composition and molar volume of H₂O-CO₂ fluid inclusions by microthermometry. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **64**: 1753-1764
- BARBOSA J.S.F., DOMINGUEZ J.M.L. 1996. Mapa Geológico do Estado da Bahia, Escala 1:1.000.000. Salvador, SGM/UFBA/FAPEX
- BARRIE I.J., TOURET J.L.R. 1999. Fluid inclusion studies of gold-bearing quartz veins from the Yirisen deposit, Sula Mountains greenstone belt, Masumbiri, Sierra Leone. *Ore Geol. Rev.*, **14**: 203-225
- BATEMAN J.D. 1958. Uranium-bearing auriferous reefs at Jacobina, Brazil. *Econ. Geol.*, **54**: 417-425
- BENNING L.G., SEWARD T.M. 1996. Hydrosulphide complexing of Au (I) in hydrothermal solutions from 150-400°C and 500-1500 bar. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **60**: 1849-1871
- BOER R.H., MEYER F.M., ROBB L.J., GRANEY J.R., VENNEMANN T.W., KESLER S.E. 1995. Mesothermal-Type mineralization in the Sabie-Pilgrim's Rest Gold Field, South Africa. *Econ. Geol.*, **90**: 860-876
- BOWERS T.S. 1991. The deposition of gold and other metals: Pressure-induced fluid immiscibility and associated stable isotope signatures. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **55**: 2417-2434
- BOWERS T.S., HELGESON H.C. 1983. Calculation of the thermodynamic and geochemical consequences of nonideal mixing in the system H₂O-CO₂-NaCl on phase relations in geologic systems: Equation of state for H₂O-CO₂-NaCl fluids at high pressures and temperatures. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **47**: 1247-1275
- BROWN P.E., HAGEMANN S.G. 1994. MacFlinCor: A computer program for fluid inclusion data reduction and manipulation. In B. de Vivo e M.L. Frezzotti (eds.) *Fluid inclusions in minerals: methods and applications*. Short Course of the working group (IMA) "Inclusion in minerals", Virginia Technicon, 231-250
- CHANNER D.M.DER., SPOONER E.T.C. 1994. Combined gas and ion chromatographic analysis of fluid inclusions: Application to Archaean granite pegmatite and gold-quartz vein fluids. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **58**: 1101-1118
- COUTO P.A., SAMPAIO A.R., GIL C.A.A., LOUREIRO H.C., ARCANJO J.B. FERNANDES FILHO J., GUIMARÃES J.T., CAMPELO R., BRUNI D.C., TOLEDO

L.A.A. 1978. Projeto Serra de Jacobina: Geologia e Prospecção Geoquímica, Relatório Final. Salvador, CPRM, Convênio DNPM-CPRM, Vol I, Texto, 415 p

COX D.P. 1967. Regional environment of the Jacobina auriferous conglomerate, Brazil. *Econ. Geol.*, 62: 773-780

COX S.F., SUN S.-S., ETHERIDGE M.A., WALL V.J., POTTER T.F. 1995. Structural and geochemical controls on the development of turbidite-hosted gold quartz vein deposits, Wattle Gully Mine, Central Victoria, Australia. *Econ. Geol.*, 90: 1722-1746.

CRAW D., TEAGLE D.A.H., BELOCKY R. 1993. Fluid immiscibility in late-Alpine gold-bearing veins, Eastern and Northwestern European Alps. *Miner. Deposita*, 28: 28-36

DIAMOND L.W. 1990. Fluid inclusion evidence for P-V-T-X evolution of hydrothermal solutions in late-Alpine gold-quartz veins at Brusson, Val D'Ayas, Northwest Italian Alps. *Amer. J. Sci.*, 290: 912-958

DIAMOND L.W. 1996. Isochoric paths in immiscible fluids and the interpretation of multicomponent fluid inclusions. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 60: 3825-3834

DIAMOND L. W. 2001. Review of the systematic of CO₂-H₂O fluid inclusion. *Lithos*, 55: 69-99.

DRUMMOND S.E., OHMOTO H. 1985. Chemical evolution and mineral deposition in boiling hydrothermal systems. *Econ. Geol.*, 80: 126-147

FLEET M.E., MACLEAN P.J., BARBIER J. 1989. Oscillatory-zoned As-bearing pyrite from strata-bound and stratiform gold deposits: an indicator of ore-fluid evolution. *Econ. Geol. Monography* 6: 356-362

FRANTZ J.D., POPP R.K., HOERING T.C. 1992. The compositional limits of fluid immiscibility in the system H₂O-NaCl-CO₂ as determined with the use of synthetic fluid inclusions in conjunction with mass spectrometry. *Chem. Geol.*, 98: 237-255

FREZZOTTI M.-L. 2001. Silicat-melt inclusion in magmatic rocks: applications to petrology. *Lithos*, 55: 273-299.

GIGGENBACH W.F. 1980. Geothermal gas equilibria. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 44: 2021-2032

GRANEY J.R., KESLER S.E. 1995. Factors affecting gas analysis of inclusion fluid by quadrupole mass spectrometry. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 59: 3977-3986

GROSS H.W. 1968. Evidence for a modified placer origin for auriferous conglomerates, Canavieiras Mine, Jacobina, Brazil. *Econ. Geol.*, 63: 271-276

GROVES D.I., FOSTER R.P. 1993. Archaean *lode* gold deposits. In R. P. Foster (ed.) *Gold Metallogeny and Exploration*. London, Chapman & Hall, 63-103

GROVES D.I., GOLDFARB R.J., GEBRE-MARIAN M., HAGEMANN S.G., ROBERT F. 1998. Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. *Ore Geol. Rev.*, **13**: 7-27

GUHA J., LU H.Z., DUBÉ B., ROBERT F., GAGNON M. 1991. Fluid characteristics of vein and altered wall rock in Archaean mesothermal gold deposits. *Econ. Geol.*, **86**: 667-684

HEDENQUIST J.W., REYES A.G., SIMMONS S.F., TAGUCHI S. 1992. The thermal and geochemical structure of geothermal and epithermal systems: A framework for interpreting fluid inclusion data. *Eur. J. Mineral.*, **4**: 989-1015

HORSCROFT F.D., MOLINARI L., BARBOSA C.C. 1989. The Jacobina Gold Mine. In: 13 Intern. Geoch. Explor. Symp. Rio de Janeiro, Excursions, SBGq/DNPM, 57-61

JÉBRAK M. 1997. Hydrothermal breccias in vein-type ore deposits: A review of mechanisms, morphology and size distribution. *Ore Geol. Rev.*, **12**: 111-134

JELSMA H.A., HUIZENGA J.M., TOURET J.L.R. 1999. Fluids and epigenetic gold mineralisation at Shamva Mine, Zimbabwe: a combined structural and fluid inclusion study. *J. Afr. Earth Sci.*, **27**: 55-70

JIA Y., LI X., KERRICH R. 2000. A fluid inclusion study of Au-bearing quartz vein systems in the Central and North Deborah deposits of the Bendigo Gold Field, Central Victoria, Australia. *Econ. Geol.*, **95**: 467-494

JONES H.D., KESLER S.E. 1992. Fluid inclusion gas chemistry in east Tennessee Mississippi Valley-type districts: Evidence for immiscibility and implications for depositional mechanisms. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **56**: 137-154

LEDRU P., MILÉSI J.P., JOHAN V., TEGYEY M. 1994. Markers of the last stages of the Paleoproterozoic collision: evidence for a 2 Ga continent involving circum-south Atlantic provinces. *Precambrian Res.*, **69**: 169-191

LEDRU P., MILÉSI J.P., JOHAN V., SABATÉ P., MALUSKI H. 1997. Foreland basins and gold-bearing conglomerates: a new model for the Jacobina Basin (São Francisco province, Brazil). *Precambrian Res.*, **86**: 155-176

LEO G.W., COX D.P., CARVALHO J.P.P. 1964. Geologia da parte sul da Serra de Jacobina, Bahia, Brasil. Rio de Janeiro, DNPM/DGM, 87p (Boletim 209)

LEO G.W., ROSE H.J., Jr. WARR J.J. 1965. Chromian muscovite from the Serra de Jacobina, Bahia, Brazil. *Amer. Mineral.*, **50**: 392-402

LOUCKS R.R. 2000. Precise geothermometry on fluid inclusion populations that trapped mixtures of immiscible fluids. *Amer. J. Sci.*, **300**: 23-59

MASCARENHAS J.F., CONCEIÇÃO FILHO V.M., SABATÉ P. 1989. The Serra de Jacobina auriferous metasedimentary sequence. In: *13 Intern. Geoch. Explor. Symp.* Rio de Janeiro, Excursions, SBGq/DNPM, 55-61

MASCARENHAS J.F., FILHO V.M.C., GRIFFON, J.C. 1992. Contribuição à Geologia do Grupo Jacobina na região de Jacobina/Pindobaçu. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 37, São Paulo, *Boletim de Resumos Expandidos*, 2: 141-142

MASCARENHAS J.F., SILVA E.F.A. da. 1994. Greenstone Belt de Mundo Novo: caracterização e implicações metalogenéticas e geotectônicas no Cráton do São Francisco. Salvador, CBPM, *Série Arquivos Abertos*, 5

MASCARENHAS J.F., LEDRU P., SOUZA S.L., CONCEIÇÃO FILHO V.M., MELO L.F., LORENZO C.L., MILÉSI J.P. 1998. Geologia e recursos minerais do Grupo Jacobina e da parte sul do greenstone belt de Mundo Novo. Salvador, CBPM, *Série Arquivos Abertos*, 13

McCUAIG T.C., KERRICH R. 1998. P-T-t-deformation-fluid characteristics of lode gold deposits: evidence from alteration systematics. *Ore Geol. Rev.*, **12**: 381-453

MIKUCKI E.J. 1998. Hydrothermal transport and depositional processes in Archaean lode-gold systems: A review. *Ore Geol. Rev.*, **13**: 307-321

MILÉSI J.P., LEDRU P., JOHAN V., MARCOUX E., MOUGEOT R., LEROUGE C., RESPAUT J.P., SABATÉ P. 1996. Hydrothermal and metamorphic events related to the gold mineralizations hosted within detrital sediments in the Jacobina Basin (Bahia-Brazil). In: SBG, Congr. Bras. Geol., 39, Salvador, *Boletim de Resumos Expandidos*: 218-220

MOLINARI L., SCARPELLI W. 1988. Depósitos de ouro de Jacobina, Bahia. In: Principais Depósitos Minerais do Brasil, DNPM. Vol III: 463-478

MOUGEOT R., RESPAUT J.P., LEDRU P., MILÉSI J.P., JOHAN V. 1996a. U – Pb geochronological constrains for the evolution of the paleoproterozoic Jacobina auriferous basin. (São Francisco province, Bahia, Brazil). In: SBG, Congr. Bras. Geol., 39, Salvador, *Boletim de Resumos Expandidos*: 582-584

MOUGEOT R., RESPAUT J.P., MARCOUX E., MILÉSI J.P., LEDRU P., JOHAN V. 1996b. Geochemical and mineralogical characterizations of sulphide associated to the Jacobina gold mineralizations (Bahia, Brazil). In: SBG, Congr. Bras. Geol., 39, Salvador, *Boletim de Resumos Expandidos*: 318-320

- MULLIS J., DUBESSY J., POTY B., O'NEIL J. 1994. Fluid regimes during late stages of a continental collision: physical, chemical and stable isotope measurements of fluid inclusions in fissure quartz from a geotraverse through the Central Alps, Switzerland. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **58**: 2239-2267
- NADEN J., SHEPHERD T.J. 1989. Role of methane and carbon dioxide in gold deposition. *Nature*, **342**: 793-795
- NORMAN D.I., SAWKINS F. 1987. Analysis of volatiles in fluid inclusions by mass spectrometry. *Chem. Geol.*, **61**: 1-10
- PICHAVANT M., RAMBOZ C., WEISBROD A. 1982. Fluid immiscibility in natural processes: use and misuse of fluid inclusion data. I: Phase equilibria analysis – A theoretical and geometrical approach. *Chem. Geol.*, **37**: 1-27
- PLACKZEK G. 1934. Rayleigh-Streuung und Raman effekt. In E. Marx (ed.) *Handbuch der Radiologie*, Akademische Verlagsgesellschaft Leipzig, 6:205-374.
- PRETORIUS D.A. 1981. Gold and uranium in quartz-pebble conglomerates. *Econ. Geol.*, 75th Anniversary Volume: 117-138
- RAMBOZ C., PICHAVANT M., WEISBROD A. 1982. Fluid immiscibility in natural processes: use and misuse of fluid inclusion data. II: Interpretation of fluid inclusion data in terms of immiscibility. *Chem. Geol.*, **37**: 29-48
- RAMDOHR P. 1980. *The ore minerals and their intergrowths*, 2 ed., Oxford, U.K., Pergamon Press.
- RIDLEY J., MIKUCKI E.J., GROVES D.I. 1996. Archaean lode-gold deposits: fluid flow and chemical evolution in vertically extensive hydrothermal systems. *Ore Geol. Rev.*, **10**: 279-293
- ROBERT F., KELLY W.C. 1987. Ore-forming fluids in Archaean gold-bearing quartz veins at the Sigma mine, Abitibi Greenstone Belt, Quebec, Canada. *Econ. Geol.*, **82**: 1464-1482
- ROBERTS R.G. 1988. Archaean lode gold deposits. In R.G. Roberts e P.A. Sheahan (eds.) *Ore Deposits Models*. Geoscience Canada, Geol. Assoc. Canada, Reprint Series, 3(2): 1-19
- ROEDDER E. 1984. *Fluid Inclusions*. Rev Mineral., 12, Washington D.C., Mineralogical Society of America, 644 p
- ROEDDER E., BODNAR R.J. 1980. Geologic pressure determinations from fluid inclusion studies. *Ann. Rev. Planet. Sci.*, **8**: 263-301
- ROEDDER E., BODNAR R.J. 1997. Fluid inclusion studies of hydrothermal ore deposits.

In H.L. Barnes (ed.) *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*, 3 ed., New York, John Wiley & Sons, 657-698

ROMBERGER S.B. 1990. Transport and deposition of gold in hydrothermal systems. In F. Robert, P.A. Sheahan e S.B. Green (eds). *Greenstone Belts and Crustal Evolution*. NUMA Conference Volume, May 1990, 61-66

SASADA M., SAWAKI T., TAKENO N. 1992. Analysis of fluid inclusion gases from geothermal systems, using a rapid-scanning quadrupole mass spectrometer, *Eur. J. Mineral.*, **4**: 895-906

SCHMIDT C., BODNAR R.J. 2000. Synthetic fluid inclusions: XVI. PVTX properties in the system H_2O -NaCl- CO_2 at elevated temperatures, pressures, and salinities. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **64**: 3853-3869

SEWARD T.M. 1973. Thio complexes of gold in hydrothermal ore solutions. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **37**: 379-399

SHEPHERD T.J, RANKIN A.H., ALDERTON D.H.M. 1985. *A practical guide to fluid inclusion studies*. Glasgow, Black & Son, 239 p

SIBSON R.H., ROBERT F., POULSEN H. 1988. High-angle reverse faults, fluid pressure cycling, and mesothermal gold-quartz deposits. *Geology*, **16**: 551-555.

STERNER S.M. 1992. Homogenization of fluid inclusions to the vapor phase: the apparent homogenization phenomenon. *Econ. Geol.*, **87**: 1616-1623

SWANENBERG H.E.C. 1979. Phase equilibria in carbonic systems, and their application to freezing studies of fluid inclusions. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **68**: 303-306

TEIXEIRA J.B.G., SOUZA J A.B., SILVA M.G., LEITE C.M.M., BARBOSA J.S.F., COELHO C.E.S., ABRAM M.B., CONCEIÇÃO FILHO V.M. (no prelo) Gold mineralizations at Serra de Jacobina, Bahia, Brazil: tectonic framework, deposit classification and ore genesis. *Miner. Deposita*.

THOMAS A.V., SPOONER E.T.C. 1992. The volatile geochemistry of magmatic H_2O - CO_2 fluid inclusion from the Tanco zoned granitic pegmatite, southeastern Manitoba, Canada. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **56**: 49-65

VAN DEN KERKHOFF A.M., HEIN U.F. 2001. Fluid inclusion petrography. *Lithos*, **55**: 27-47

WALSH J.F., KESLER S.E., DUFF D., CLOKE P.L. 1988. Fluid inclusion geochemistry of high-grade, vein-hosted gold ore at the Pamour mine, Porcupine Camp, Ontario. *Econ. Geol.*, **83**: 1347-1367

WHITE M.G. 1957. Uranium in the auriferous conglomerates at the Canavieiras gold

- mine, State of Bahia, Brazil. *Engenharia, Mineração e Metalurgia*, **26**: 279-28
- WHITE M.G. 1961. Origin of uranium and gold in the quartzite-conglomerate of the Serra de Jacobina, Brazil. *US Geological Survey Professional Paper*, 424B:8-9
- WILKINSON J.J. 2001. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits. *Lithos*, 55: 229-272
- XAVIER R.P., FOSTER R.P. 1999. Fluid evolution and chemical controls in the Fazenda Maria Preta (FMP) gold deposit, Rio Itapicuru Greenstone Belt, Bahia, Brazil. *Chem. Geol.*, **154**:133-154
-

ANEXOS

.....

ANEXO 1 - Propriedades das inclusões fluidas submetidas a microtermometria.

R-22 - VEIO DE QUARTZO (Mina Itapicuru)													
	Th CO2 (l)	Tf g	Tf clt	Tf CO2	TH	GP	dCO2	dT	S	XCO2	XH2O	XNaCl	VT
R-22 (1a)		-23,4				0,7							
		-28,4			175,0 (l)	0,9							
		-14,1			181,0 (l)	0,9		1,022	17,800		0,937	0,063	20,120
		-21,0			185,0 (l)	0,9		1,060	23,020		0,916	0,084	20,190
		-17,8			177,0 (l)	0,9		1,050	20,800		0,925	0,075	20,060
		-20,9				0,9							
		-19,8			180,0 (l)	0,9		1,060	22,200		0,919	0,081	20,120
		-18,5			180,0 (l)	0,9		1,050	21,300		0,923	0,077	20,110
R-22 (1b)	13,0			-57,1		0,3 (VC=0,6)							
	8,7					0,3							
	12,0					0,4							
	18,0		8,0	-56,9	269,0 (l) C	0,7	0,795	0,954	3,890	0,123	0,866	0,011	22,690
	-2,8				339,0 (l) C	0,8							
	12,5		4,0	-57,0	345,0 (l) C	0,7	0,843	1,007	10,478	0,129	0,841	0,030	22,439
	6,5		1,0	-57,6		0,3	0,887	0,954	14,411	0,459	0,515	0,027	32,518
		-2,8				0,9							
	-1,0				0,85								
R-22 (2a)	-2,6			-56,9	260,0 (l) C	0,6							
	-5,2					0,2							
	-5,8			-57,3		0,2							
	16,6			-56,6		0,85							
	8,5				C	0,7							
	4,5		2,5	-57,1	295,0 (v)	0,7	0,900	1,038	12,552	0,136	0,827	0,037	22,201
	5,8			-56,8	290,0 (v)	0,6							
	5,5			-57,3		0,7							
	6,3		2,0	-57,5	C	0,3	0,888	0,952	13,196	0,459	0,517	0,024	32,482
	6,6		4,0	-57,2		0,6	0,886	1,002	10,478	0,195	0,777	0,028	24,161
	28,5				270,0 (l) L	0,9							
		0,0			113,0 (l)	0,9		0,953	0,000		1,000	0,000	18,900
		0,0			106,0 (l)	0,9		0,958	0,000		1,000	0,000	18,810
		-5,7			131,3 (l)	0,9		0,997	8,785		0,971	0,029	19,250
		0,0			130,7 (l)	0,9		0,940	0,000		1,000	0,000	19,170
	R-22 (4a)	6,8				259,2 (l)	0,8						
2,6			1,0	-56,8	330,0 (v)	0,7	0,912	1,052	14,411	0,138	0,820	0,043	22,166
1,2					C	0,75							
6,8						0,8							
-5,9			-2,0	-57,0	L	0,65	0,962	1,076	17,479	0,175	0,775	0,051	22,859
-1,2				-57,1	L	0,7							
-0,1				-57,1	C	0,5							
9,1				-56,8	L	0,75							
-10,8			-6,0	-57,1		0,5 (VC=0,4)	0,988	1,091	20,227	0,213	0,730	0,057	23,706
		-3,5			175,8 (l)	0,9		0,935	5,624		0,982	0,018	20,060
		-1,9			156,6 (l)	0,9		0,936	3,117		0,990	0,010	19,670
		-3,7			L	0,9							
R-22 (4b)	4,3		3,8	-57,0		0,3	0,901	0,956	10,767	0,462	0,518	0,019	32,242
	-2,9		-2,0	-57,3		0,8	0,945	1,099	17,479	0,088	0,856	0,056	20,540
	-1,3		3,4	-57,5		0,4	0,936	0,997	11,334	0,364	0,612	0,024	28,544
	12,5		8,4	-57,6		0,6	0,843	0,948	3,147	0,188	0,804	0,008	24,504
R-22 (4c)	4,3					0,25							
	13,0			-57,0		0,8							
	-3,5		0,7	-56,9	254,0 (v) C	0,3	0,948	0,999	14,756	0,475	0,499	0,027	31,464
	23,9			-56,9	225,0 (v) C	0,9							
	27,0		7,0	-56,9		0,9	0,678	0,998	5,681	0,030	0,952	0,018	19,543
	-4,2				257,0 (l) C	0,65							
		1,9			171,0 (l)	0,9							
		-1,5			131,3 (l)	0,9		0,954	2,469		0,992	0,008	19,220
	-1,0				0,9								
R-22 (4d)	4,0				119,0 (l)	0,9							
	-1,8				121,0 (l)	0,9		0,965	2,956		0,991	0,009	19,040
	1,0				127,3 (l)	0,9							
	4,0				125,3 (l)	0,9							
R-22 (5a)	-0,1				225,7 (l)	0,9		0,830	0,166		0,999	0,001	21,740
	0,0				212,9 (l)	0,9		0,848	0,000		1,000	0,000	21,250
	0,0				155,2 (l)	0,9		0,918	0,000		1,000	0,000	19,630
	0,1				194,8 (l)	0,9		0,873	0,000		1,000	0,000	20,630
	-8,0				82,0 (l)	0,9		1,052	11,702		0,961	0,039	18,620

ThCO2 (l) = temperatura de homogeneização do CO2 para o estado líquido (°C); Tf g = temperatura de fusão do gelo (°C); Tf clt = temperatura de fusão do clatrato (°C); TfCO2 = temperatura de fusão do CO2 (°C); TH = temperatura de homogeneização total (°C) para o estado líquido (l) ou para o estado vapor (v). Durante o aquecimento, as inclusões podem sofrer crepitação (C) ou leakage (L). GP = grau de preenchimento; dCO2 = densidade da fase carbônica (g/cm3); dT = densidade total da inclusão (g/cm3); S = salinidade (% em peso equivalente de NaCl); XCO2 = fração molar de CO2 (mol%); XH2O = fração molar da H2O (mol%); XNaCl = fração molar de NaCl (mol%); XCH4 = fração molar de CH4 (mol%); VT = volume molar total da inclusão (cm3/mol).

ANEXO 1 - Propriedades das inclusões fluidas submetidas a microtermometria.

R-23B - VEIO DE QUÁRTZO (Mina Itapicuru)													
	Th CO2 (l)	Tf g	Tf clt	Tf CO2	TH	GP	dCO2	dT	S	XCO2	XH2O	XNaCl	VT
R-23B (1a)	-2,7			-56,7	230,0 (l) C	0,9	0,944	0,993		0,041	0,959		19,226
	21,9					0,6	0,8						
	26,0			-56,7	352,5 (v) L	0,5	0,694	0,845		0,222	0,778		28,127
	24,7			-56,8	355,0 (v) L	0,7	0,715	0,912		0,112	0,888		22,926
	25,2			-56,8	348,0 (l) L	0,8	0,707	0,939		0,068	0,932		21,058
	26,5			-56,7	280,0 (l) C	0,8	0,685	0,934		0,066	0,934		21,109
	16,8			-56,7	255,0 (l) C	0,8	0,805	0,960		0,076	0,924		20,828
R-23B (2a)	16,7			-56,7	317,8 (l)	0,8	0,806	0,960		0,076	0,924		20,825
	15,1			-56,6	349,0 (v) C	0,5	0,820	0,910		0,252	0,748		26,991
	23,6				354,0 (l) C	0,7	0,730	0,917		0,114	0,886		22,865
	23,2			-56,6		0,9	0,79						
	23,5			-56,6	235,0 (l) C	0,9	0,732	0,971		0,032	0,968		19,420
	13,3					0,8	0,86						
	22,7				316,0 (v) C	0,7	0,742	0,921		0,115	0,885		22,819
	24,2					0,6	0,78						
	21,2	8,3		-56,6	305,0 (l) C	0,8	0,761	0,966	3,334	0,073	0,918	0,011	21,014
	13,1	7,0		-56,6	230,0 (v) C	0,6	0,838	0,958	5,681	0,187	0,799	0,015	24,492
R-23B (2b)	30,4					0,4	0,74						
	22,3					0,6	0,8						
	19,7			-56,7		0,7	0,81						
	21,9			-56,7		0,8	0,8						
	22,0			-56,7		0,7	0,8						
	23,9			-56,7		0,7	0,78						
	22,9			-56,7		0,7	0,79						
R-23B (3a)	19,8					0,7	0,81						
	24,7					0,8	0,78						
	28,3	9,2		-56,5	330,0 (l) L	0,8	0,649	0,932	1,615	0,063	0,932	0,005	21,296
	30,2					0,6	0,74						
	4,9			-56,6	L	0,8	0,9						
	26,4			-56,6		0,6	0,77						
	22,0					0,8	0,8						
	28,0			-56,6		0,8	0,76						
	5,5			-56,6		0,9							

ANEXO 1 - Propriedades das inclusões fluídas submetidas a microtermometria.

R-25 - BRECHA HIDRAULICA (Mina Itapicuru)													
	Th CO2 (l)	Tf g	Tf clt	Tf CO2	TH	GP	dCO2	dT	S	XCO2	XH2O	XNaCl	VT
R-25 (1a)	19,9		9,3	-56,4	210,0 (v) C	0,6	0,775	0,911	1,419	0,176	0,820	0,004	24,957
	28,8		9,1	-56,4	220,0 (v) C	0,5	0,637	0,820	1,810	0,208	0,787	0,004	28,796
	21,7			-56,4	276,7 (l)	0,6	0,754	0,900		0,171	0,829		24,944
	29,7					0,5							
	25,1		8,2	-56,4		0,6	0,710	0,894	3,521	0,163	0,827	0,009	25,307
	24,7					0,5							
R-25 (1c)	30,2					0,6							
	27,7					0,7							
	27,7					0,5							
	27,1					0,6							
	29,8		9,4	-56,6		0,7	0,604	0,880	1,222	0,097	0,900	0,003	23,475
	29,3		8,9	-56,6		0,7	0,622	0,891	2,197	0,099	0,895	0,006	23,393
		0,0				0,9							
R-25 (2a)	21,5					0,1							
	20,6		9,4	-56,9	312,0 (v)	0,1	0,768	0,791	1,222	0,740	0,259	0,001	47,149
	16,6			-56,9		0,9							
	23,8		9,6	-56,9		0,2	0,729	0,782	0,825	0,546	0,453	0,001	41,233
	20,9		9,5	-56,9	260,5 (v)	0,2	0,764	0,811	1,024	0,558	0,441	0,001	40,147
	21,5			-57,0		0,2							
	21,5		9,6	-56,9	289,0 (v)	0,1	0,758	0,782	0,825	0,738	0,261	0,001	47,623
	19,9			-56,9		0,5							
	17,9					0,5							
	18,9		9,6	-56,9		0,6	0,786	0,912	0,825	0,178	0,820	0,002	24,907
	24,3		9,7	-56,9		0,3	0,722	0,804	0,626	0,410	0,589	0,001	35,737
	23,9			-57,0		0,4							
R-25 (2b)	27,5		9,5	-56,8		0,3	0,667	0,767	1,024	0,392	0,607	0,002	36,880
	28,2		9,4	-56,8		0,6	0,652	0,860	1,222	0,152	0,845	0,003	25,693
	28,0		9,6	-56,8		0,2	0,657	0,724	0,825	0,520	0,478	0,001	43,609
	28,1		9,5	-56,7	286,3 (l)	0,4	0,654	0,792	1,024	0,289	0,709	0,002	32,347
	30,8				308,0 (l) C	0,4	0,534	0,719		0,248	0,752		34,027
		-0,1				0,9							
	0,0				182,7 (l)	0,9		0,888	0,000		1	0	20,300
	-0,2					0,9							
	-0,7				168,9 (l)	0,9		0,911	1,158		0,996	0,004	19,950
	-1,2				157,7 (l)	0,9		0,928	1,979		0,994	0,006	19,680
R-25 (3a)	28,0				227,3 (l)	0,9		0,842	1,487		0,995	0,005	21,640
	-0,9					0,9							
	-0,5					0,9							
	-0,6				164,3 (l)	0,9		0,915	0,993		0,997	0,003	19,83
						0,4							
	23,0					0,4							
R-25 (3b)	22,9		6,1	-57,0	270,0 (v) C	0,4	0,741	0,863	7,211	0,314	0,670	0,016	31,075
	20,7			-57,0	298,3 (v)	0,1	0,766	0,789		0,739	0,261		47,167
	27,5					0,6							
	28,8					0,6							
	26,6					0,2							
	28,6					0,6							
	30,4			-56,9	294,4 (l)	0,6	0,570	0,825		0,135	0,865		26,083
	29,5		8,6	-56,9	288,4 (l)	0,7	0,615	0,892	2,770	0,098	0,894	0,008	23,413
	29,9		8,2	-56,9	300,0 (l)	0,6	0,600	0,850	3,521	0,142	0,849	0,010	25,989
	27,3		8,4	-56,9		0,5	0,672	0,843	3,147	0,217	0,775	0,008	28,437
	27,2					0,1							
	27,5					0,3							
	27,9		9,6	-57,1		0,4	0,659	0,794	0,825	0,290	0,708	0,002	32,284
		-0,5											
	R-25 (4a)	28,5					0,5						
29,1			9,1	-56,9	260,0 (v)	0,4	0,628	0,778	1,810	0,280	0,716	0,004	32,721
28,6				-56,9	260,0 (v)	0,3	0,640	0,747		0,380	0,620		37,365
31,0					292,6 (v)	0,5	0,517	0,766		0,175	0,825		29,851
27,5				-56,8	260,0 (v)	0,4	0,666	0,798		0,291	0,709		32,051
28,7						0,5							
27,7						0,6							
		-0,1			179,5 (l)	0,9							
-0,3						0,9							
-0,5						0,9							
6,3 (?)					180,8 (l)	0,9							
-2,2					206,4 (l)	0,9		0,889	3,598		0,989	0,011	20,770
-2,0					135,1 (l)	0,9		0,966	3,278		0,990	0,010	19,260
-2,0					176,5 (l)	0,9		0,917	3,278		0,990	0,010	20,080
-2,0					181,6 (l)	0,9		0,912	3,278		0,990	0,010	20,200
-1,5					255,8 (l)	0,9		0,808	2,469		0,992	0,008	22,69
R-25 (4b)					280,0 (l)	0,55							
	16,1					0,55							
	20,8		9,8	-56,6		0,6	0,766	0,891	0,425	0,205	0,793	0,001	26,250
	20,0		9,7	-56,5	238,0 (v) C	0,6	0,774	0,907	0,626	0,176	0,823	0,002	24,959
	21,7				240,0 (l) C	0,6							
	21,8			-56,6	240,0 (v) C	0,6							
	23,4		9,0	-56,6	229,0 (l) C	0,6	0,734	0,897	2,003	0,168	0,827	0,005	25,176
	27,0		9,0	-56,7	C	0,6	0,678	0,874	2,003	0,157	0,838	0,005	25,523
	0,0				0,85								
R-25 (4c)	-2,0				158,0 (l)	0,9		0,936	3,278		0,990	0,010	19,680
	0,0				152,0 (l)	0,9		0,921	0,000		1,000	0,000	19,570
	-0,6				156,0 (l)	0,9		0,923	0,993		0,997	0,003	19,650
	-0,8				198,0 (l)	0,9		0,879	1,322		0,996	0,004	20,680
	0,0				164,0 (l)	0,9		0,909	0,000		1,000	0,000	19,830
	2,0				147,0 (l)	0,9		0,925	0,000		1,000	0,000	19,470
	0,0				174,0 (l)	0,9		0,898	0,000		1,000	0,000	20,060
	0,0				203,3 (l)	0,85		0,861	0,000		1,000	0,000	20,920
	-0,4				151,0 (l)	0,9		0,926	0,662		0,998	0,002	19,550
	-1,8				165,4 (l)	0,9		0,927	2,956		0,991	0,009	19,840
R-25 (4d)	-2,0				178,5 (l)	0,9		0,915	3,278		0,990	0,010	20,130
	-0,2				153,0 (l)	0,9		0,922	0,331		0,999	0,001	19,590
	-1,8				163,0 (l)	0,9		0,929	2,956		0,991	0,009	19,780
	-1,9					0,9							
	-2,0				150,5 (l)	0,9		0,943	3,278		0,990	0,010	19,530
	-1,8				169,1 (l)	0,9		0,923	2,956		0,991	0,009	19,920
				151,2 (l)	0,9								

ANEXO 1 - Propriedades das inclusões fluidas submetidas a microtermometria.

R-27B - VEIO DE QUARTZO (Mina Itapicuru)												
Th CO2 (l)	Tf g	Tf ckt	Tf CO2	TH	GP	dCO2	dT	S	XCO2	XH2O	XNaCl	VT
28,7		9,7	-56,8	281,0 (l)	0,7	0,898	0,878	0,628	0,097	0,901	0,002	23,468
30,8		9,9	-56,9		0,6	0,544	0,812	0,223	0,131	0,889	0,001	26,382
29,3					0,05							
27,3				295,0 (v)	0,4	0,670	0,801		0,292	0,708		31,991
26,4		7,8	-57,1	C	0,5	0,686	0,856	4,256	0,221	0,768	0,011	28,263
24,5		9,2	-57,1	270,0 (v)	0,3	0,719	0,804	1,615	0,409	0,588	0,003	35,777
30,4		10	-57,2	255,0 (l)	0,8	0,575	0,907	0,021	0,056	0,944	0,000	21,480
19,4					0,2							
22,9					0,0							
25,4			-57,0	C	0,9							
22,4		9,6	-57,0	248,0 (v)	0,2	0,747	0,787	0,825	0,552	0,447	0,001	40,676
20,0					0,05							
20,7					0,05							
22,3					0,0							
17,7					0,1							
23,0					0,0							
23,9					0,0							
25,9					0,3							
30,2		10	-57,0	290,0 (l)	0,6	0,588	0,828	0,021	0,139	0,861	0,000	26,120
29,5		9,4	-57,0	232,8 (l)	0,8	0,615	0,922	1,222	0,080	0,937	0,004	21,378
28,1		9,9	-57,0		0,6	0,654	0,857	0,223	0,153	0,847	0,001	25,694
25,1					0,1							
25,0					0,2							
21,3			-57,3		0,0							
26,7		10	-57,0	290,0 (v)	0,4	0,683	0,806	0,021	0,298	0,702	0,000	31,950
21,0					0,2							
0				176,7 (l)	0,9		0,885	0,000		1,000	0,000	20,130
0				193,0 (l)	0,9		0,876	0,000		1,000	0,000	20,570
-0,2				191,6 (l)	0,9		0,880	0,331		0,999	0,001	20,530
0				187,0 (l)	0,9		0,871	0,000		1,000	0,000	20,690
-0,4				185,6 (l)	0,9		0,889	0,662		0,998	0,002	20,350
-0,5				182,7 (l)	0,9		0,894	0,827		0,997	0,003	20,290
-0,1				178,0 (l)	0,9		0,895	0,166		0,999	0,001	20,180
-0,2				173,0 (l)	0,9		0,901	0,331		0,998	0,001	20,040
-1				177,3 (l)	0,9		0,905	1,651		0,995	0,005	20,120
-0,1				165,0 (l)	0,9		0,909	0,166		0,999	0,001	19,870
-1,1				163,5 (l)	0,9		0,921	1,616		0,994	0,008	18,830
-0,1				167,7 (l)	0,9		0,906	0,166		0,999	0,001	19,930
0				172,4 (l)	0,9		0,900	0,000		1,000	0,000	20,020
0				186,3 (l)	0,9		0,884	0,000		1,000	0,000	20,390
0				179,1 (l)	0,9		0,892	0,000		1,000	0,000	20,190
24,9				278,2 (l)	0,6	0,712	0,883		0,163	0,837		25,203
23,8		8,9	-56,6		0,6	0,729	0,896	2,187	0,167	0,827	0,008	25,206
23,6		9,0	-56,6	277,7 (l)	0,6	0,731	0,896	2,003	0,167	0,827	0,005	25,192
27,2			-56,5	263,8 (l)	0,7	0,672	0,899		0,106	0,864		23,095
25,3		9,3	-56,7	270,6 (l)	0,7	0,707	0,913	1,419	0,111	0,885	0,004	23,072
17,8				280,0 (v)	0,3	0,796	0,857		0,432	0,568		34,144
12,6			-56,7		0,1							
25,4		9,4	-56,7	273,4 (l)	0,6	0,705	0,882	1,222	0,163	0,834	0,003	25,364
25,6			-56,6	312,8 (l)	0,7	0,701	0,908		0,110	0,890		22,981
18,1				285,0 (v)	0,2	0,783	0,834		0,565	0,435		39,217
	-1,3			157,7 (l)	0,9		0,929	2,143		0,993	0,007	19,700
	-2,6			198,6 (l)	0,9		0,900	4,232		0,987	0,013	20,610
25,4			-56,5		0,1							
19,4			-56,6	301,0 (v)	0,3	0,780	0,845		0,427	0,573		56,438
21,0				280,0 (v)	0,3	0,762	0,833		0,422	0,578		34,787
12,3				290,0 (v)	0,4	0,844	0,906		0,341	0,659		29,880
29,7			-56,6	C	0,6							
17,7		9,9	-56,8		0,2	0,798	0,837	0,223	0,568	0,431	0,000	39,207
30,3		6,6	-56,6	278,0 (l)	0,8	0,581	0,925	2,770	0,057	0,935	0,008	21,435
19,6		9,2	-56,6		0,1	0,779	0,801	1,615	0,743	0,256	0,001	46,661
18,2			-56,6		0	0,792	0,792		1,000	0,000		55,574
20,7		9,3	-56,6		0,2	0,767	0,814	1,419	0,559	0,440	0,002	40,075
19,8				310,0 (v)	0,3	0,776	0,842		0,426	0,574		34,531
	-1,0			162,2 (l)	0,9		0,921	1,651		0,995	0,005	19,780
	-1,1				0,9							
	-0,1				0,9							
	-1,0				0,9							
13,0			-56,6		0,05							
4,8			-56,6		0,4							
19,3		9,5	-56,6		0,2	0,782	0,825	1,024	0,563	0,435	0,001	39,646
17,9					0,05							
22,3			-56,5		0,5							
21,9					0,1							
22,2			-56,6		0,05							
19,8			-56,6		0,2							
24,9			-56,6		0,6							
24,5		9,0	-56,6		0,4	0,719	0,834	2,003	0,308	0,688	0,004	31,418
22,7		8,5	-56,6		0,4	0,743	0,851	2,959	0,315	0,679	0,006	31,073
20,1			-56,6		0,4							
22,5		8,7	-56,6		0,5	0,746	0,878	2,580	0,235	0,759	0,008	27,756
22,7			-56,5		0,4							
20,5					0,2							
20,3		9,2	-56,6		0,3	0,771	0,841	1,615	0,426	0,571	0,003	34,731
	0,0				0,9							
	-0,1				0,9							
	0,0				0,9							
	-0,4				0,9							
	-1,6				0,8							
-0,1				178,0 (l)	0,9		0,895	0,166		0,999	0,001	20,180
0,0				173,2 (l)	0,9		0,899	0,000		1,000	0,000	20,040
-0,2					0,9							
0,0				156,3 (l)	0,9		0,916	0,000		1,000	0,000	19,660
0,2				203,6 (l)	0,9		0,861	0,000		1,000	0,000	20,930
0,0				154,0 (l)	0,9		0,919	0,000		1,000	0,000	19,610
0,0				152,0 (l)	0,9		0,921	0,000		1,000	0,000	19,570
-0,1				161,3 (l)	0,9		0,912	0,166		0,999	0,001	19,790
20,1		9,7		288,0 (v)	0,5	0,773	0,885	0,626	0,242	0,757	0,001	27,542
21,6		9,9	-56,7	298,0 (v)	0,55	0,756	0,886	0,223	0,204	0,786	0,001	26,321
13,3			-56,8		0,1							
	-1,9			185,0 (l)	0,9		0,907	3,117		0,980	0,010	20,310
	-1,8			148,1 (l)	0,9		0,942	2,956		0,991	0,009	19,510
	-2,2			142,7 (l)	0,9		0,952	3,598		0,988	0,011	19,390
	-1,6			151,5 (l)	0,9		0,938	2,632		0,992	0,008	19,550
	-1,8			158,0 (l)	0,9		0,934	2,956		0,991	0,009	19,680
	-0,9				0,9							
5,1				135,6 (l)	0,9							
0,0				153,9 (l)	0,9		0,919	0,000		1,000	0,000	19,610
0,0				167,1 (l)	0,9		0,905	0,000		1,000	0,000	19,900
-0,1				155,0 (l)	0,9		0,919	0,166		0,999	0,001	19,650
6,5				151,3 (l)	0,9							

ANEXO 1 - Propriedades das inclusões fluidas submetidas a microtermometria.

R-27C - VEIO DE QUARTZO (Mina Itapicuru)														
	Th CO2 (l)	Tf g	Tf ckt	Tf CO2	TH	GP	dCO2	dT	S	XCO2	XH2O	XNaCl	VT	
R-27C (1a)	25,5		9,1	-56,8	281,6 (l)	0,6	0,704	0,884	1,810	0,162	0,833	0,005	25,365	
	28,5		7,6	-56,8	254,8 (l)	0,7	0,644	0,911	4,618	0,102	0,885	0,013	23,278	
	28,4				251,7 (l)	0,7	0,645	0,891		0,102	0,898		23,200	
	27,0			-56,5	267,0 (l)	0,7	0,676	0,900		0,106	0,894		23,079	
	26,3		7,5	-56,6	273,0 (l)	0,7	0,690	0,926	4,798	0,109	0,878	0,014	23,095	
	27,3					0,7								
	27,4					0,8								
	27,1					0,8								
	27,7		9,0	-56,5		0,4	0,663	0,800	2,003	0,291	0,704	0,004	32,203	
	28,1					0,7								
	21,8		8,0	-56,6		0,7	0,754	0,941	3,890	0,117	0,872	0,011	22,851	
	23,4		8,3	-56,5	287,0 (l)	0,7	0,734	0,932	3,334	0,115	0,876	0,009	22,938	
	20,4		8,5	-56,6		0,4	0,770	0,868	2,959	0,322	0,671	0,006	30,713	
	22,2		8,5	-56,6	301,3 (l)	0,6	0,749	0,855	2,959	0,317	0,677	0,006	30,989	
	21,7		8,8	-56,6	312,0 (v)	0,5	0,755	0,882	2,389	0,237	0,757	0,006	27,671	
	0,0					0,9								
	-0,5			137,0 (l)		0,9		0,939	0,827		0,997	0,003	19,310	
R-27C (1b)	30,6		9,7	-56,6	228,6 (l)	0,7	0,562	0,865	0,626	0,091	0,908	0,002	23,645	
	23,1		9,1	-56,8	294,8 (v)	0,5	0,738	0,871	1,810	0,233	0,762	0,004	27,838	
	24,1		9,0	-56,7	299,5 (v)	0,2	0,725	0,781	2,003	0,545	0,453	0,003	41,345	
	23,1					0,6								
	27,7				297,5 (l)	0,6	0,661	0,862		0,153	0,847		25,513	
	29,1		7,3	-56,7		0,5	0,628	0,829	5,154	0,206	0,781	0,013	28,834	
	27,9		9,1	-56,6	291,8 (l)	0,7	0,659	0,900	1,810	0,104	0,891	0,005	23,254	
	26,0		7,0	-56,6		0,5	0,696	0,865	5,681	0,223	0,763	0,014	28,183	
	26,9					0,6								
	30,2					0,6								
		-0,9			255,1 (l)		0,9		0,798	1,487		0,995	0,005	22,84
		-1,9			259,5 (l)		0,9		0,810	3,117		0,990	0,010	22,75
		-0,1			286,7 (l)		0,9		0,719	0,166		0,999	0,001	25,100
		-0,3			295,3 (l)		0,9		0,706	0,497		0,998	0,002	25,640
	R-27C (2a)	29,2					0,4							
30,7			9,2	-56,7	292,5 (l)	0,5	0,554	0,778	1,615	0,186	0,810	0,004	29,601	
30,4			9,5	-56,6	289,1 (l)	0,4	0,575	0,744	1,024	0,263	0,735	0,002	33,526	
30,9			9,5	-56,6	283,7 (l)	0,5	0,532	0,765	1,024	0,180	0,817	0,003	29,831	
31,3			9,5	-56,6	267,5 (l)	0,6	0,518	0,806	1,024	0,125	0,872	0,003	26,537	
29,9					288,0 (l)	0,6	0,596	0,836		0,140	0,860		25,919	
				-56,6		0,7								
31,0				-56,6	287,0 (l)	0,6	0,466	0,784		0,113	0,887		26,747	
30,3					282,1 (l)	0,6	0,576	0,828		0,136	0,864		26,044	
30,2			9,1	-56,7	285,5 (l)	0,5	0,586	0,795	1,810	0,195	0,800	0,005	29,279	
	0,0			229,5 (l)		0,7		0,823	0,000		1,000	0,000	21,890	
R-27C (3b)	24,9			-56,6		0,2								
	19,8			-56,7	265,0 (v)	0,4	0,776	0,865		0,323	0,677		30,545	
	29,4			-56,6	285,0 (l)	0,8	0,616	0,920		0,059	0,941		21,267	
	23,0			-56,7		0,1								
	23,1			-56,7	305,0 (v)	0,4	0,737	0,841		0,312	0,688		31,059	
		0,0			173,7 (l)		0,9		0,898	0,000		1,000	0,000	20,080
		0,0			175,5 (l)		0,9		0,896	0,000		1,000	0,000	20,100
		0,0			247,9 (l)		0,9		0,792	0,000		1,000	0,000	22,740
		0,0			229,2 (l)		0,9		0,823	0,000		1,000	0,000	21,880
		0,0			178,8 (l)		0,9		0,893	0,000		1,000	0,000	20,190
	-0,1					0,9								
	0,0			246,4 (l)		0,9		0,795	0,000		1,000	0,000	22,660	
R-27C (4a)	0,0				179,5 (l)		0,9		0,892	0,000		1,000	0,000	20,200
	0,1				156,8 (l)		0,9		0,916	0,000		1,000	0,000	19,670
	0,0				222,9 (l)		0,9		0,833	0,000		1,000	0,000	21,620
	0,0				145,6 (l)		0,9		0,927	0,000		1,000	0,000	19,440
	0,1				152,5 (l)		0,9		0,920	0,000		1,000	0,000	19,580
	-0,1				151,0 (l)		0,9		0,923	0,166		0,999	0,001	19,570
	0,0				155,8 (l)		0,9		0,917	0,000		1,000	0,000	19,650
	29,2		9,7	-56,5	270,1 (l) C	0,5	0,625	0,810	0,626	0,205	0,793	0,002	28,419	
	30,4		9,4	-56,6	254,6 (l)	0,6	0,575	0,829	1,222	0,137	0,860	0,003	26,172	
	30,3				264,9 (l)	0,7	0,576	0,870		0,092	0,908		23,467	
23,4		9,8	-56,6	286,0 (v)	0,3	0,734	0,812	0,425	0,414	0,585	0,001	35,486		
31,3		9,4	-56,5	264,9 (l)	0,7	0,518	0,853	1,222	0,084	0,912	0,003	23,853		
30,8		9,8	-56,6	305,0 (v)	0,4	0,544	0,724	0,425	0,252	0,747	0,001	34,018		
26,9		9,8	-56,7	281,0 (v)	0,3	0,679	0,774	0,425	0,396	0,603	0,001	36,630		
26,7		9,6	-56,7		0,2	0,683	0,746	0,825	0,530	0,468	0,001	42,703		
25,1		9,7	-56,6	287,0 (v)	0,6	0,710	0,881	0,626	0,164	0,835	0,002	25,346		
25,4		9,5	-56,6		0,1	0,705	0,735	1,024	0,724	0,275	0,001	50,185		
28,5		9,7	-56,7		0,7	0,644	0,890	0,626	0,102	0,896	0,002	23,326		
28,0					0,5									
	-0,9				175,2 (l)		0,9		0,907	1,487		0,995	0,005	20,100
	-1,6				178,0 (l)		0,9		0,911	2,632		0,992	0,008	20,120
	-0,6				151,2 (l)		0,9		0,928	0,993		0,997	0,003	19,550
	-0,6				160,0 (l)		0,9		0,919	0,993		0,997	0,003	19,730
	-0,5				146,3 (l)		0,9		0,931	0,827		0,997	0,003	19,480
	-0,4				139,7 (l)		0,9		0,936	0,662		0,998	0,002	19,330
	-0,6				142,6 (l)		0,9		0,935	0,993		0,997	0,003	19,390
	-0,6				C		0,9							
	0,1				150,2 (l)		0,9		0,922	0,000		1,000	0,000	19,530
					145,5 (l)		0,9							
	-0,6				151,4 (l)		0,9		0,927	0,993		0,997	0,003	19,560

ANEXO 1 - Propriedades das inclusões fluidas submetidas a microtermometria.

R-35 - VEIO DE QUARTZO (Garimpo Maravilha)														
	Th CO2 (l)	Tf g	Tf clt	Tf CO2	TH	GP	dFCO2	dT	S	XCO2	XCH4	XH2O	XNaCl	VT
R-35 (1a)	21,3		6,5	-57,8	345,0 (v)	0,3	0,730	0,847	6,540	0,404	0,008	0,576	0,012	34,497
	22,0			-57,7		0,1								
	23,7		8,7	-57,7	317,0 (l)	0,6	0,680	0,903	2,579	0,153	0,005	0,836	0,007	24,784
	22,7		10,5	-57,9		0,4	0,690	0,847	0,020	0,291	0,009	0,700	0	30,475
	23,4					0,5								
	23,0		10,4	-57,9	285,0 (v)	0,3	0,690	0,819	0,000	0,387	0,012	0,600	0	34,699
	23,1		10,1	-57,9	271,0 (l)	0,6	0,690	0,894	0,020	0,155	0,005	0,840	0	24,804
	22,5		9,9	-57,8	289,0 (v)	0,3	0,680	0,825	0,223	0,380	0,015	0,604	0	34,350
	23,4					0,2								
	22,1					0,2								
	23,7		9,6	-57,9		0,3	0,610	0,821	0,825	0,352	0,019	0,628	0,002	33,759
	22,9					0,1								
	23,0		8,6			0,3								
	22,9					0,4								
	24,1		10,3	-57,8	299,0 (v)	0,3	0,610	0,814	0,000	0,352	0,019	0,630	0	33,944
		-1,5			236,0 (l)	0,9		0,839	2,469			0,992	0,008	21,860
		-4,0				0,9								
R-35 (1b)	24,2			-57,6		0,4								
	25,1		9,3	-57,7	323,0 (l)	0,6	0,630	0,893	1,418	0,143	0,004	0,848	0,004	24,645
	21,0		8,1	-57,9	277,5 (l)	0,7	0,690	0,935	3,706	0,106	0,002	0,881	0,010	22,751
	22,8		9,2	-57,3		0,6	0,730	0,900	1,614	0,166	0,002	0,829	0,004	25,042
	25,2		9,3	-57,6	288,5 (l)	0,7	0,680	0,916	1,418	0,105	0,002	0,889	0,004	22,890
	24,8					0,5								
	24,4					0,4								
	24,5					0,5								
	22,6		7,9	-57,7	275,0 (v)	0,3	0,720	0,830	4,073	0,401	0,008	0,583	0,008	34,891
	24,8		8,9	-57,5	294,0 (v)	0,3	0,689	0,805	2,196	0,391	0,008	0,597	0,004	35,479
	23,1			-57,7		0,4								
	24,6		9,5	-57,5	262,4 (l)	0,7	0,680	0,917	1,024	0,105	0,002	0,890	0,003	22,810
	20,9			-57,8		0,3								
	24,7					0,4								
	24,5		9,5	-57,6		0,3	0,670	0,807	1,024	0,381	0,012	0,606	0,002	35,058
R-35 (1c)	23,8					0,4								
	23,6					0,6								
	23,7			-57,8		0,4								
	23,5			-57,9		0,5								
	22,0		9,7	-57,7	287,0 (l)	0,6	0,720	0,901	0,625	0,162	0,003	0,833	0,002	24,850
	22,0					0,4								
	21,8					0,4								
	21,1		9,2	-57,9	302,0 (l)	0,6	0,720	0,910	1,614	0,160	0,005	0,831	0,005	24,695
	22,4		9,0	-58	307,0 (v)	0,3	0,650	0,833	2,003	0,366	0,019	0,611	0,004	33,842
	21,8		10,9	-58,4	273,0 (v)	0,2	0,530	0,816	0,000	0,425	0,042	0,533	0	36,940
		-0,8			171,0 (l)	0,9		0,910	1,322			0,996	0,004	19,980
		-2,3				0,9								
		-2			200,8 (l)	0,9		0,892	3,278			0,990	0,010	20,640
		-2,1				0,9								
		-0,2			181,0 (l)	0,9		0,892	0,331			0,999	0,001	20,240
	-0,3				0,9									
	-1,4			237,0 (l)	0,9		0,836	2,306			0,993	0,007	21,900	
R-35 (1d)	23,7					0,2								
	23,5		-2,5	-58	310,0 (v)	0,4								
	24,4		10,8	-57,9	307,0 (l)	0,7	0,690	0,912	0,000	0,107	0,002	0,891	0	22,880
	10,2					0,2								
	12,6					0,1								
	23,4			-57,8	305,0 (v)	0,2								
	23,1			-57,5		0,3								
	22,9			-57,9	265,0 (v)	0,1								
	21,8		8,4	-57,9	262,0 (v)	0,4	0,690	0,864	3,147	0,287	0,012	0,694	0,007	30,160
	20,5					0,0								
	7,0		9,6	-58,1	273,0 (v)	0,1	0,830	0,896	1,212	0,709	0,045	0,244	0,001	42,050
	17,8			-57,9		0,05								
	15,6					0,05								
	17,6			-58,0		0,05								
	16,2					0,05								
11,7			-58,1		0,05									
R-35 (1e)	10,2		7,0	-58,1	315,0 (l)	0,5	0,830	0,951	5,681	0,244	0,010	0,732	0,014	26,458
	23,1		9,8	-58,1	333,0 (v)	0,1	0,600	0,769	0,424	0,649	0,041	0,309	0	46,797
	20,5					0,1								
	20,9					0,2								
	21,4		9,3	-58,1	356,0 (v)	0,5	0,700	0,885	1,418	0,215	0,009	0,772	0,003	27,085
	21,7				241,1 (l)	0,6								
R-35 (1f)	22,3		8,8	-58,1	336,0 (v)	0,4	0,640	0,863	2,388	0,269	0,014	0,711	0,005	29,682
		-5,4				0,9								
		-5,5				0,9								
		-5,3				0,9								
R-35 (1g)		-5,4				0,9								
		-1,2			285,0 (l)	0,8		0,749	1,979			0,994	0,006	24,370
		-5,3			277,0 (l)	0,9		0,842	8,237			0,973	0,027	22,680
		-2,0				0,9								
R-35 (1h)		-0,1			281,0 (l)	0,9		0,731	0,166			0,999	0,001	24,690
	22,2		10,4	-58,0	270,0 (v)	0,3	0,650	0,829	0,000	0,366	0,019	0,615	0	33,803
	20,5		8,4			0,2								
	22,0					0,1								
	21,5			-58,0		0,1								
	21,4		10,5	-58,0	285,0 (v)	0,1	0,500	0,792	0,000	0,579	0,072	0,350	0	44,071
	21,6			-58,1		0,2								
	21,2					0,1								
	21,3					0,3								
	21,5		10,2	-58,1	295,0 (v)	0,2	0,580	0,815	0,020	0,450	0,039	0,511	0	37,710
R-35 (1i)	21,2					0,3								
	20,8			-58,0		0,1								
		-5,6				0,9								
	20,6		10,4	-58,2	298,0 (v)	0,2	0,600	0,822	0,000	0,458	0,040	0,502	0	37,663
	22,1				275,0 (v)	0,1								
		-2,4				0,9								
21,0					0,3									

ANEXO 1 - Propriedades das inclusões fluidas submetidas a microtermometria.

R-37 - VEIO DE QUARTZO (Garimpo Coxo de Dentro)														
	Th CO2 (l)	Tf g	Tf cIt	Tf CO2	TH	GP	dFCO2	dT	S	XCO2	XCH4	XH2O	XNaCl	VT
R-37 (1a)	14,5		8,7	-56,5		0,4	0,826	0,901	2,580	0,338		0,657	0,005	29,989
	15,0		7,9	-56,6	C	0,3	0,822	0,883	4,074	0,441		0,552	0,007	33,721
	13,8			-56,6		0,1								
	17,1		8,5	-56,6		0,4	0,803	0,888	2,959	0,332		0,662	0,006	30,278
	16,3		8,2	-57,0		0,05	0,790	0,821	3,520	0,843	0,017	0,138	0,002	49,253
	19,3		8,9	-56,6		0,6	0,782	0,918	2,197	0,177		0,818	0,006	24,886
	22,5				220,0 (l) C	0,9								
	27,6		8,5	-56,6		0,7	0,665	0,908	2,959	0,105		0,886	0,008	23,213
	18,7		9,2	-56,6	270,8 (v)	0,6	0,788	0,918	1,615	0,178		0,818	0,004	24,860
	13,0			-57,0		0								
	18,6		9,8	-56,6	C	0,6	0,789	0,912	0,425	0,178		0,821	0,001	24,878
18,5			-56,6	C	0,5									
R-37 (1b)	9,9					0,05								
	22,1					0,7								
	14,6			-57,2		0,05								
	24,4			-57,0		0,8								
	18,9		6,7	-57,0	345,0 (v)	0,3	0,770	0,863	6,199	0,421	0,004	0,564	0,011	34,195
	18,2					0,25								
	19,6				321,0 (l) C	0,7								
	17,3		7,9	-56,8	340,0 (v)	0,25	0,801	0,857	4,074	0,497		0,496	0,006	36,409
	23,0		8,5	-56,7		0,6	0,739	0,904	2,959	0,169		0,823	0,008	25,130
	20,7		9,1	-56,8		0,55	0,767	0,898	1,810	0,206		0,790	0,004	26,216
	20,0		8,2	-56,9		0,6	0,774	0,921	3,521	0,175		0,816	0,009	24,908
	16,2		9,3	-56,9	270,0 (v)	0,15	0,811	0,840	1,419	0,655		0,344	0,002	41,770
	18,5					0,25								
	22,6		9,2	-56,9	315,0 (l)	0,65	0,744	0,913	1,615	0,142		0,854	0,004	23,971
	19,1		9,0	-56,7	337,0 (v)	0,3	0,784	0,851	2,003	0,430		0,567	0,004	34,479
	21,3				330,0 (v) C	0,35								
	18,5			-56,8	265,0 (v)	0,1								
	17,8		7,7	-56,7	275,0 (v)	0,25	0,797	0,854	4,438	0,496		0,497	0,007	36,514
	16,0				255,0 (v)	0,1								
29,0		8,8	-56,9	292,0 (l)	0,8	0,631	0,933	2,389	0,061		0,932	0,007	21,329	
21,1		7,6	-57,0		0,55	0,750	0,909	4,618	0,200	0,002	0,787	0,012	26,103	
R-37 (2a)	-5,2			-56,8		0,05								
	25,2		9,1	-56,6	293,0 (v) C	0,4	0,708	0,827	1,810	0,305		0,691	0,004	31,566
	15,6		7,7	-56,6	288,0 (v) C	0,45	0,817	0,912	4,438	0,291		0,699	0,010	28,505
	13,6		7,8	-56,6	305,0 (v)	0,35	0,834	0,901	4,256	0,389		0,603	0,008	31,578
	8,1					0,1								
	30,5		8,5	-56,6	217,6 (l)	0,8	0,569	0,923	2,959	0,055		0,936	0,009	21,459
	28,9		9,1	-56,6	250,5 (l)	0,75	0,634	0,911	1,810	0,080		0,915	0,005	22,294
	6,0			-56,7		0,1								
		-2,9			138,8 (l)	0,9		0,963	4,702			0,985	0,015	19,350
		-3,5			130,5 (l)	0,9		0,976	5,624			0,982	0,018	19,210
	-0,5			157,4 (l)	0,9		0,921	0,827			0,997	0,003	19,700	
	-2,9				0,9									
R-37 (2b)	5,4			-56,7		0,1								
	-0,1			-56,9		0								
	9,9		7,1	-56,6	288,0 (v) C	0,3	0,863	0,915	5,507	0,452		0,538	0,010	32,962
	-5,0			-56,8		0								
	9,9		8,0	-56,8	296,0 (v)	0,35	0,863	0,919	3,890	0,397		0,596	0,007	31,152
	-3,1					0,1								
	-3,2					0,05								
	4,1					0,05								
	-18,6			-56,8		0,05								
	-11,8			-56,6		0,05								
7,8			-56,7		0,1									
R-37 (3a)	-3,5			-56,9		0,05								
	7,9			-57,0		0,05								
	28,3		10,2	-57,1	260,0 (v) C	0,45	0,600	0,809	0,020	0,230	0,002	0,767	0,000	29,732
	11,9		9,5	-57,2	210,0 (v)	0,05	0,820	0,855	1,024	0,839	0,026	0,130	0,000	47,381
	19,9			-57,1	265,0 (v) C	0,35								
	29,5					0								
	18,1		6,5	-57,0	286,0 (v) C	0,45	0,780	0,907	6,540	0,279	0,003	0,703	0,015	28,597
	22,2		8,2	-57,1	351,0 (v)	0,55	0,740	0,898	3,520	0,198	0,002	0,791	0,009	26,236
	3,2			-57,0		0,05								
	10,8		9,2	-57,4	279,0 (v)	0,1	0,830	0,871	1,614	0,732	0,023	0,244	0,001	43,253
21,7			-57,2		0,1									
25,6		7,5	-56,9	337,0 (l)	0,6	0,702	0,897	4,798	0,162		0,825	0,013	25,336	
R-37 (4a)		-3,2				0,9								
		-3,3			174,0 (l)	0,9		0,934	5,319			0,983	0,017	20,020
		-3,2			182,0 (l)	0,85		0,925	5,166			0,983	0,017	20,220
		-3,2			160,0 (l)	0,9		0,947	5,166			0,983	0,017	19,750
		-2,8			138,0 (l)	0,9		0,962	4,546			0,986	0,014	19,310
		-2,5			148,0 (l)	0,9		0,95	4,074			0,987	0,013	19,510
	-2,6			146,0 (l)	0,9		0,953	4,232			0,987	0,013	19,450	

ANEXO 1 - Propriedades das inclusões fluidas submetidas a microtermometria.

R-38 - VEIO DE QUARTZO (Garimpo Coxo de Dentro)														
	Th CO2 (l)	Tf g	Tf clt	Tf CO2	TH	GP	dfCO2	dT	S	XCO2	XCH4	XH2O	XNaCl	VT
R-38 (1a)	23,2			-58,3		0,1								
	25,1		10,1	-58,4	353,0 (v)	0,3	0,560	0,809	0,020	0,333	0,018	0,649	0	33,547
	25,9					0,1								
	30,6		10,0			0,4								
	30,5		10,2	-57,2	349,0 (l) C	0,6	0,450	0,844	0,020	0,109	0,001	0,890	0	24,735
	22,1				356,0 (v)	0,2								
	23,8			-57,1		0,05								
	30,9				333,0 (l) C	0,6								
	25,1			-57,1		0,1								
	25,5			-56,9		0,05								
	24,1		9,8	-58,2		0,5	0,620	0,870	0,424	0,196	0,008	0,795	0,001	26,857
	30,4		7,3	-57,2	367,0 (v) L	0,7	0,450	0,915	5,154	0,073	0,001	0,911	0,015	22,458
	19,4			-58,5		0,65								
	26,0					0,2								
		-1,0			216,0 (l)	0,9		0,859	1,651			0,995	0,005	21,210
		-1,8			249,0 (l)	0,9		0,825	2,956			0,991	0,009	22,290
R-38 (2a)	20,3					0,05								
	21,1			-57,1		0,05								
	28,1			-56,9		0,1								
	28,6		8,7	-56,9	278,0 (l)	0,6	0,642	0,862	2,580	0,150		0,843	0,007	25,737
	16,9			-56,9		0,3								
	16,7			-56,8		0,2								
	17,9		8,1	-56,8		0,05	0,796	0,807	3,706	0,862		0,137	0,002	50,163
	21,7			-57,0		0,05								
	18,6		9,0	-56,6		0,05	0,789	0,800	2,003	0,861		0,138	0,001	50,550
	17,2					0,2								
	15,4					0,05								
	23,6		9,2	-57,0	301,0 (l)	0,7	0,710	0,923	1,614	0,110	0,001	0,884	0,004	22,848
	23,0					0,2								
	4,9			-56,8		0,05								
2,1			-56,8		0,1									
R-38 (2b)	23,4					0,2								
	24,2			-56,9		0,05								
	29,2		9,9	-56,9	255,0 (l)	0,8	0,625	0,918	0,223	0,061		0,939	0,001	21,370
	25,5					0,3								
	17,4					0,05								
	29,0		9,7	-57,0	295,0 (l)	0,6	0,550	0,861	0,625	0,130	0,001	0,867	0,002	24,962
	29,1			-56,9		0,8								
	22,5			-57,0		0,1								
	28,3					0,4								
	26,8					0,7								
	28,8		9,2	-56,9	283,0 (l)	0,7	0,637	0,892	1,615	0,101		0,894	0,005	23,343
	27,9					0,6								
	28,0		8,6	-57,0		0,6	0,600	0,877	2,769	0,140	0,001	0,851	0,007	25,090
	R-38 (3a)		-19,9			155,9 (l)	0,9		1,079	22,286			0,919	0,081
		-19,2			149,4 (l)	0,9		1,081	21,804			0,921	0,079	19,630
		-19,8			152,4 (l)	0,9		1,082	22,217			0,919	0,081	19,680
		-20,7			143,1 (l)	0,9		1,094	22,822			0,916	0,084	19,570
R-38 (4a)	29,0		7,3	-57,8		0,5	0,450	0,863	5,154	0,152	0,005	0,830	0,014	26,228
	-3,0					0,05								
	-16,0			-57,2		0,05								
	23,6			-57,5		0,1								
	28,6					0,1								
	29,1		6,4	-57,8		0,4	0,450	0,827	6,709	0,209	0,009	0,765	0,017	29,449
	30,4		7,5	-57,7	299,0 (l)	0,6	0,350	0,896	4,797	0,085	0,003	0,898	0,014	23,284
	30,2		8,2	-57,7	272,0 (l)	0,7	0,450	0,910	3,520	0,072	0,001	0,916	0,010	22,366
		-1,7				0,9								
		-2,2				0,9								
	-2				0,9									
			-57,7		0,6									

ANEXO 1 - Propriedades das inclusões fluidas submetidas a microtermometria.

R-38 - VEIO DE QUARTZO (Garimpo Coxo de Dentro)															
	Th CO2 (l)	Tf g	Tf clt	Tf CO2	TH	GP	dfCO2	dT	S	XCO2	XCH4	XH2O	XNaCl	VT	
R-38 (4b)	25,2			-58,1		0,1									
	28,1		7,9	-57,5	332,0 (v)	0,2	0,500	0,745	4,073	0,438	0,014	0,541	0,007	40,355	
	28,0		8,3	-57,5	320,0 (v)	0,3	0,500	0,786	3,334	0,315	0,010	0,668	0,007	34,041	
	22,2			-57,6		0,2									
	26,0			-57,2		0,05									
	28,6					0,4									
	27,3		8,7	-57,6		0,3	0,490	0,797	2,579	0,308	0,013	0,674	0,006	33,350	
	28,6					0,1									
	28,0			-57,3		0,05									
	28,2		8,6	-57,9	290,0 (l)	0,8	0,500	0,953	2,769	0,048	0,001	0,943	0,008	20,588	
	29,0					0,4									
	28,1			-57,2		0,2									
	28,6					0,4									
		-0,5				190,0 (l)	0,9		0,885	0,827			0,997	0,003	20,490
		-0,2				194,0 (l)	0,9		0,877	0,331			0,999	0,001	20,590
		-0,6				185,0 (l)	0,9		0,892	0,993			0,997	0,003	20,330
		-0,6					0,9								
		-0,3					0,9								
		-15,4				175,0 (l)	0,9		1,036	18,946			0,933	0,067	20,000
		-15,2					0,9								
		-15,3				189,2 (l)	0,9		1,023	18,865			0,933	0,067	20,270
		-15,3				170,6 (l)	0,9		1,039	18,865			0,933	0,067	19,940
		-14,9				171,5 (l)	0,9		1,036	18,535			0,934	0,066	19,970
		-15,0				189,2 (l)	0,9		1,021	18,618			0,934	0,066	20,270
		-15,3					0,9								
		-14,8					0,9								
						198,6 (l)	0,9								
		-15,1				193,2 (l)	0,9		1,018	18,701			0,934	0,066	20,330
		-15,4				175,0 (l)	0,9		1,036	18,946			0,933	0,067	20,000
		-15,2					0,9								
		-15,3				189,2 (l)	0,9		1,023	18,865			0,933	0,067	20,270
		-15,3				170,6 (l)	0,9		1,039	18,865			0,933	0,067	19,940
		-14,9				171,5 (l)	0,9		1,036	18,535			0,934	0,066	19,970
	-15,0				189,2 (l)	0,9		1,021	18,618			0,934	0,066	20,270	
	-15,3					0,9									
	-14,8					0,9									
					198,6 (l)	0,9									
	-20,8				157,3 (l)	0,9		1,083	22,888			0,916	0,084	19,770	
	-23,6				159,1 (l)	0,9									
	-15,5				154,1 (l)	0,9		1,055	19,690			0,932	0,068	19,690	
	-23,5				158,6 (l)	0,9									
	-22,2				161,4 (l)	0,9									
	-23,4				161,0 (l)	0,9									
	-23,1				168,9 (l)	0,9									
	-22,4					0,9									
	-19,3				148,8 (l)	0,9		1,082	21,873			0,921	0,079	19,610	
	-16,5				118,6 (l)	0,9		1,089	19,819			0,929	0,071	19,180	
	-19,1				154 (l)	0,9		1,076	21,734			0,921	0,079	19,700	
	-17,1				114,5 (l)	0,9		1,095	20,279			0,927	0,073	19,140	
	-18,9				145,0 (l)	0,9		1,083	21,593			0,922	0,078	19,560	
	-19,9				159,8 (l)	0,9		1,076	22,286			0,919	0,081	19,790	

ANEXO 1 - Propriedades das inclusões fluidas submetidas a microtermometria.

ERC-GE-01 - VEIO DE QUARTZO (Garimpo Goela da Ema)														
	Th CO2 (l)	Tf g	Tf clt	Tf CO2	TH	GP	dTfCO2	dT	S	XCO2	XCH4	XH2O	XNaCl	VT
ERC-GE-01 (1a)	20,7		6,5	-57,7	360,0 (v)	0,3	0,730	0,852	6,540	0,400	0,012	0,576	0,012	34,283
	20,1		8,3	-57,7	280,0 (v)	0,15	0,710	0,813	3,334	0,599	0,025	0,372	0,004	42,315
	17,5			-57,9		0								
	23,7			-57,8		0,05								
	22,1		8,2		330,0 (v) C	0,2								
	19,2		8,0	-57,7	340,0 (v)	0,1	0,730	0,808	3,890	0,701	0,029	0,267	0,003	45,939
	20,1				C	0,1								
	21,4			-57,6	C	0,05								
	10,6			-58,0		0								
8,4			-57,7		0									
ERC-GE-01 (2a)	16,7		8,5	-57,4	296,0 (v)	0,2	0,770	0,85	2,958	0,537	0,022	0,437	0,004	38,481
	1,8			-57,9		0								
	18,8					0,1								
	18,8			-57,7		0,1								
	13,6		7,1	-57,1	235,0 (v) C	0,4	0,820	0,916	5,506	0,332	0,003	0,653	0,012	29,716
	11,7			-57,7		0,1								
	10,7				238,0 (v) C	0,3								
	17,2		9,3	-57,2		0,4	0,780	0,884	1,418	0,319	0,007	0,672	0,003	30,091
	23,4		7,4	-57,8	335,0 (v)	0,25	0,610	0,819	4,976	0,408	0,021	0,561	0,009	36,094
	15,3					0,1								
	12,1			-57,6		0,05								
15,0		9,2	-57,6	230,0 (v) C	0,15	0,770	0,851	1,614	0,617	0,026	0,356	0,002	40,885	
ERC-GE-01 (2b)	15,2					0,05								
	22,4		9,5	-56,7		0,1	0,747	0,772	1,024	0,735		0,264	0,001	48,126
	18,1		8,7	-57,0	270,0 (v)	0,15	0,770	0,827	2,579	0,630	0,013	0,355	0,003	42,108
	25,5		9,3	-56,6	320,0 (v)	0,55	0,704	0,867	1,419	0,192		0,804	0,004	26,693
	23,2					0,2								
	17,2			-56,8		0								
	25,9		9,0	-56,9	310,0 (l)	0,55	0,697	0,867	2,003	0,191		0,804	0,005	26,733
	25,4		9,8	-56,6		0,25								
	24,0					0,5								
	21,7			-56,8		0,35								
	23,1			-56,7		0								
ERC-GE-01 (3a)	18,9		9,2	-57,2	280,0 (v)	0,25	0,760	0,842	1,614	0,475	0,010	0,513	0,003	36,494
	19,9				298,0 (v)	0,45								
	19,2					0,15								
	21,0		9,8	-57,0		0,5	0,750	0,880	0,424	0,234	0,002	0,763	0,001	27,508
	18,6					0,05								
	20,6					0,25								
	18,1		9,9	-56,9	293,0 (v)	0,15	0,794	0,824	0,223	0,650		0,350	0	42,401
	19,8		10,4	-57,1	287,0 (v)	0,2	0,750	0,821	0,000	0,542	0,011	0,447	0	39,484
	18,1		9,5	-57,2		0,05	0,770	0,804	1,024	0,841	0,017	0,142	0	50,150
	18,7					0,25								
	21,4		10,1	-56,7	295,0 (l)	0,5	0,759	0,875	0,021	0,239		0,761	0	27,683
19,2					0									
19,6					0,05									
23,1		10	-57,0	273,0 (l)	0,8	0,720	0,941	0,020	0,069	0,001	0,931	0	21,054	

ANEXO 1 - Propriedades das inclusões fluidas submetidas a microtermometria.

JB2221 - VEIO DE QUARTZO (Garimpo Jaqueira)														
	Th CO2 (l)	Tf g	Tf clt	Tf CO2	TH	GP	dfCO2	dT	S	XCO2	XCH4	XH2O	XNaCl	VT
JB2221 (1a)	2,8			-57,9	210,0 (v) C	0,1								
	3,7				230,0 (v) C	0,6								
	-0,1			-58,0		0,05								
	-14,4			-57,9	220,0 (v) C	0,2								
	6,8			-58,5		0,1								
	-0,1			-58,0		0								
	1,0			-57,8		0								
	5,4				286,0 (v)	0,3								
	-7,9				230,0 (v)	0,1								
	-4,1					0,5								
JB2221 (2a)	6,1			-57,3		0,1								
	-0,1			-57,5		0,05								
	2,8			-57,4		0								
	3,1					0,1								
	3,0					0,3								
	-1,0					0,05								
	2,1					0,05								
	7,8		7,0	-57,2		0,5	0,860	0,959	5,681	0,255	0,005	0,726	0,013	26,409
	-11,1					0,2								
	-11,2			-57,3		0,05								
	-4,5					0,05								
	11,5					0,2								
	3,6			-57,3		0								
	5,9			-57,3		0,05								
	21,7		9,0	-57,0	290,0 (l) C	0,75	0,740	0,945	2,003	0,091	0,001	0,902	0,006	21,854
	21,0		7,0	-56,9	300,0 (v) C	0,7	0,760	0,954	5,681	0,118	0,000	0,866	0,016	22,775
	-7,8			-57,6		0								
6,2			-57,4		0									
10,1					0									
	-5,8					0,8								
JB2221 (2b)	15,7			-57,4		0								
	22,5		10,2	-57,3		0,8	0,710	0,944	0,000	0,067	0,001	0,932	0,000	20,973
	-9,5			-57,5		0,05								
	21,3					0,9								
	1,2			-57,5		0,05								
	21,5					0,8								
JB2221 (3a)	17,7		9,0	-57,2	300,0 (v) C	0,5	0,780	0,904	2,003	0,241	0,002	0,752	0,005	27,147
	26,3			-57,2	319,6 (l)	0,7								
	26,0			-56,9	L	0,85								
	18,6			-57,1	351,0 (v)	0,2								
	24,3				263,4 (l)	0,8								
	24,6			-56,9		0,9								
	26,5				L	0,9								
	-9,1			-57,2		0								
	3,5		9,0	-57,3	275,0 (v)	0,4	0,880	0,952	2,958	0,345	0,007	0,642	0,006	28,792
	24,4			-57,3		0,8								
	9,8			-57,2		0								
	9,0			-57,4		0								
	24,2					0,8								
	10,1		9,8	-57,3		0,5	0,840	0,929	0,424	0,252	0,005	0,742	0,001	26,630
	-7,0			200,0 (l)	0,9		0,947	10,481			0,965	0,035	20,510	
	-12,0				0,9									
	-12,0			202,0 (l)	0,9		0,982	15,956			0,945	0,055	20,600	
JB2221 (3b)	22,8					0,7								
	12,9		9,2	-57,6		0,5	0,810	0,924	1,614	0,243	0,008	0,746	0,004	26,710
	20,1		7,1	-57,3		0,3	0,740	0,854	5,506	0,403	0,012	0,574	0,010	34,217
	9,3			-57,4		0								
	24,7					0,8								
	23,0					0,7								
	11,9			-58,0		0								
	7,1			-58,1		0								
	8,9			-58,0		0								
	25,1					0,1								
	25,2					0,8								
	9,6			-57,9		0,5								
	9,2					0,2								
	10,3			-57,5		0,3								

Anexo 2 - Análise global de voláteis com espectrômetro de massa quadrupólo, por meio do esmagamento das amostras de quartzo.

R-23B (Quartzo)															
Crush	6511A	6511B	6511C	6511D	6511E	6511F	6511G	6511H	6511I	6511J	6511K	6511L	6511M	6511N	6511O
Counts	2908,21	6782,065	9918,108	5826,819	14776,17	20654,13	60933,78	9481,156	9736,801	8524,577	13523,78	19562,29	23442,69	73735,37	50581
Problem															
Offscale	CO2		CO2		CO2		CH4	CH4							
Ar max.	0,014034	0,003652	0,007539	0,002994	0,004518	0,001238	0,004768	0,000000	0,003859	0,004087	0,003939	0,004340	0,004497	0,004174	0,004133
H2	0,347398	0,215627	0,376983	0,302968	0,307075	0,169244	0,208063	0,493492	0,303915	0,336096	0,263999	0,223632	0,236372	0,094327	0,121488
He	0,000700	0,000295	0,001949	0,000247	0,001727	0,000332	0,000455	0,001671	0,002880	0,002043	0,002771	0,002833	0,001909	0,002081	0,002636
CH4	1,120939	0,752009	1,273388	0,594657	1,374237	0,501593	0,561831	2,357863	0,283214	0,285204	0,438663	0,406069	0,698636	0,185854	0,241845
H2O	94,107590	92,874730	73,050290	95,038850	85,397830	90,408040	89,419450	76,522570	74,267000	78,776500	79,671100	72,881750	76,685600	80,199420	76,821740
N2	1,093537	0,270448	0,672420	0,293223	0,324959	0,000000	0,337587	0,285571	0,202900	0,295167	0,139445	0,226355	0,314799	0,244444	0,191718
O2	0,118085	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
H2S	0,000000	0,000117	0,000000	0,000000	0,000943	0,000000	0,000000	0,000368	0,000300	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000232
Ar	0,014034	0,003652	0,007539	0,002994	0,004518	0,001238	0,004768	0,000000	0,003859	0,004087	0,003939	0,004340	0,004497	0,004174	0,004133
CnHm	0,031022	0,032287	0,147346	0,019590	0,050882	0,023726	0,039549	0,154044	0,061900	0,054980	0,049910	0,061592	0,067377	0,049813	0,054425
CO2	3,166695	5,850650	24,469750	3,747481	12,537690	8,895734	9,428146	20,184420	24,873710	20,245720	19,429970	26,192490	21,990330	19,219360	22,561260
SO2	0,000000	0,000189	0,000337	0,000000	0,000151	0,000095	0,000160	0,000000	0,000326	0,000202	0,000197	0,000945	0,000487	0,000527	0,000537
N2/Ar	78	74	89	98	72	0	71		53	72	35	52	70	59	46
CO2/CH4	2,8	7,8	19,2	6,3	9,1	17,7	16,8	8,6	87,8	71,0	44,3	64,5	31,5	103,4	93,3
CO2/N2	2,89582794	21,633187	36,3906014	12,7803193	38,5824225		27,9280813	70,6808175	122,591283	68,5907532	139,337675	115,714466	69,8551457	78,6246688	117,679466

R-25 (Quartzo)											
Crush	6513A	6513B	6513C	6513D	6513E	6513F	6513G	6513H	6513I	6513J	6513N
Counts	212793,5	651328,9	1104824	1667939	964838,7	430794,5	769501	294682,4	180334,2	253842,6	90221,44
Problem											
Offscale											
Ar max.	0,018644	0,003054	0,002135	0,001892	0,001242	0,002674	0,001898	0,002381	0,002732	0,003370	0,001373
H2	0,571076	0,105656	0,083432	0,077219	0,057512	0,109306	0,064231	0,119164	0,190198	0,143197	0,226429
He	0,009198	0,004693	0,002205	0,001863	0,002517	0,003596	0,003146	0,003966	0,006893	0,004520	0,009280
CH4	0,108640	0,051810	0,032099	0,027921	0,050318	0,062115	0,047164	0,071193	0,115700	0,123325	0,095900
H2O	64,269190	75,639820	83,834560	89,555330	86,807450	77,400470	79,723910	74,784520	67,140410	72,778390	87,745050
N2	1,228108	0,157628	0,147530	0,183606	0,113453	0,178600	0,160283	0,154766	0,140271	0,167044	0,050250
O2	0,182945	0,000000	0,000000	0,001998	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
H2S	0,000000	0,000142	0,000041	0,000070	0,000075	0,000120	0,000052	0,000107	0,000072	0,000060	0,000000
Ar	0,018644	0,003054	0,002135	0,001892	0,001242	0,002674	0,001898	0,002381	0,002732	0,003370	0,001373
CnHm	0,070939	0,084457	0,050174	0,037185	0,039795	0,063833	0,064020	0,070861	0,092057	0,077746	0,026988
CO2	33,539830	23,952710	15,847820	10,112920	12,927630	22,179270	19,935300	24,793050	32,311660	26,702350	11,844440
SO2	0,001427	0,000034	0,000000	0,000000	0,000002	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000285
N2/Ar	66	52	69	97	91	67	84	65	51	50	37
CO2/CH4	308,7	462,3	493,7	362,2	256,9	357,1	422,7	348,3	279,3	216,5	123,5
CO2/N2	27,3101633	151,957685	107,420781	55,0796136	113,94731	124,183903	124,375868	160,196593	230,351512	159,852195	235,709545

Anexo 2 - Análise global de voláteis com espectrômetro de massa quadrupólo, por meio do esmagamento das amostras de quartzo.

R-35 (Quartzo)										
Crush	6514A	6514B	6514C	6514D	6514E	6514F	6514G	6514H	6514I	6514J
Counts	91585,3	96263,01	97686,03	58302,23	100312	101174,4	291886,9	118928,1	145562,1	232690,7
Problem										
Offscale										
Ar max.	0,007688	0,010290	0,008450	0,005988	0,007102	0,007875	0,010052	0,007904	0,007927	0,011147
H2	0,232421	0,207031	0,158939	0,271865	0,238850	0,237426	0,140013	0,173152	0,165198	0,207137
He	0,011549	0,010032	0,011111	0,009624	0,010480	0,009158	0,010289	0,008897	0,010119	0,014801
CH4	2,570895	3,731589	3,287332	2,891225	2,612260	3,648528	2,638312	1,617894	2,779094	3,263818
H2O	27,574990	30,074590	36,810350	27,627330	15,813450	12,039520	30,935500	33,075520	17,124310	19,290360
N2	0,000000	0,000000	0,591523	0,000000	0,561984	0,000000	0,984340	3,081034	0,534624	0,943980
O2	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
H2S	0,000647	0,000346	0,000309	0,000420	0,000674	0,000732	0,000514	0,000626	0,000709	0,000443
Ar	0,007688	0,010290	0,008450	0,005988	0,007102	0,007875	0,010052	0,007904	0,007927	0,011147
CnHm	0,200934	0,176221	0,172335	0,174862	0,214611	0,214679	0,172680	0,168885	0,241091	0,202267
CO2	69,400890	65,789900	58,959650	69,018690	80,540600	83,842090	65,108300	61,866090	79,136830	76,066050
SO2	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000096	0,000000
N2/Ar	0	0	70	0	79	0	98	390	67	85
CO2/CH4	27,0	17,6	17,9	23,9	30,8	23,0	24,7	38,2	28,5	23,3
CO2/N2			99,67439954		143,3148583		66,14415047	20,07965183	148,0232844	80,58018415

R-38 (Quartzo)									
Crush	6515B	6515C	6515D	6515E	6515F	6515G	6515H	6515I	6515J
Counts	8442,572	18488,62	34492,33	8479,241	16191,67	34106,06	81250,57	106544,3	626953,6
Problem									
Offscale						CO2			
Ar max.	0,000000	0,001835	0,006264	0,001568	0,007101	0,005222	0,004670	0,002449	0,003881
H2	0,815368	0,440707	0,358606	0,801565	0,855596	0,284101	0,183041	0,150818	0,058087
He	0,000000	0,000833	0,000185	0,000000	0,000318	0,001565	0,000714	0,001653	0,001471
CH4	1,666304	2,290147	3,044186	5,175665	5,144238	0,884312	0,514962	0,771209	0,551548
H2O	62,482220	66,891450	79,825490	81,704830	63,998170	81,447490	83,143140	81,180060	90,174540
N2	0,028052	0,157221	0,594924	0,334714	0,838113	0,428101	0,303722	0,179533	0,025684
O2	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
H2S	0,000629	0,000480	0,000000	0,000000	0,000000	0,000115	0,000000	0,000048	0,000016
Ar	0,000000	0,001835	0,006264	0,001568	0,007101	0,005222	0,004670	0,002449	0,003881
CnHm	0,103199	0,082573	0,101890	0,137564	0,184455	0,073459	0,038478	0,049627	0,023611
CO2	34,902290	30,134190	16,068040	11,843790	28,970670	16,874800	15,810700	17,654050	9,160820
SO2	0,001946	0,000571	0,000423	0,000290	0,001350	0,000831	0,000566	0,000555	0,000353
N2/Ar		86	95	213	118	82	65	73	7
CO2/CH4	20,9	13,2	5,3	2,3	5,6	19,1	30,7	22,9	16,6
CO2/N2	1244,206797	191,6672285	27,00855908	35,3848167	34,56656475	39,41781015	52,05655442	98,3333946	356,677527

Anexo 2 - Análise global de voláteis com espectrômetro de massa quadrupólo, por meio do esmagamento das amostras de quartzo.

[illegible]