



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA, ISOTÓPICA E
GEOQUÍMICA DAS ROCHAS DA SERRA CALALASTE,
PUNA AUSTRAL, NOROESTE ARGENTINO**

GIANA MÁRCIA DOS SANTOS

Dissertação de Mestrado n° 230

Orientador: Prof. Dr. Márcio Martins Pimentel

Brasília
2007



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA, ISOTÓPICA E
GEOQUÍMICA DAS ROCHAS DA SERRA CALALASTE,
PUNA AUSTRAL, NOROESTE ARGENTINO**

GIANA MÁRCIA DOS SANTOS

Dissertação de Mestrado nº 230

Banca examinadora:

Márcio Martins Pimentel (Universidade de Brasília – Orientador)

Nilson Francisquini Botelho (Universidade de Brasília – examinador interno)

José G. Viramonte (Universidade Nacional de Salta, Argentina – examinador externo)

Brasília

2007

Minha mãe

O tempo não pára. A saudade é que faz as coisas pararem no tempo...

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	vi
AGRADECIMENTOS.....	vii
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
RESUMEN.....	xi
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 APRESENTAÇÃO	1
1.2 OBJETIVOS.....	2
1.3 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO	4
1.4 MÉTODOS DE TRABALHO	5
2. GEOLOGIA REGIONAL.....	7
2.1 INTRODUÇÃO	7
2.2. TECTÔNICA REGIONAL.....	11
2.2.1 O Ciclo Brasileiro-Panafricano (850 Ma – 500 Ma)	12
2.2.2 O Ciclo Gondwaniano (535 – 160 Ma - Cambriano Inferior – Jurássico).....	15
2.2.3 Ciclo Andino (Cretáceo inferior - presente).....	16
2.3 EVOLUÇÃO DO CONHECIMENTO SOBRE A ÁREA DE ESTUDO	17
3. GEOLOGIA DA ÁREA E PETROGRAFIA.....	21
(i) Unidade Metavulcanossedimentar.....	23
Petrografia da Unidade Metavulcânica	25
Metatufos ácidos vesiculados.....	25
Riolitos	26
Rochas metavulcânicas félsicas	29
Petrografia da Unidade Metassedimentar	29
Grauvacas.....	29
Meta-arenitos.....	33
Filitos.....	34
Metamargas	38
Produtos de alteração hidrotermal ou metamorfismo de contato (hornfels)	39
(ii) Unidade Ígnea.....	43
Petrografia da Unidade Ígnea	46
Metagabros.....	46
Albitito	49
Diques de hornblenda-gabro	49
Cumulados ultramáficos.....	53
Veios ultramáficos.....	57

4. LITOGEOQUÍMICA	58
4.1 METAGABROS	58
Geoquímica de Terras Raras e aranhagramas	61
Ambientes Tectônicos	64
4.2 ROCHAS ULTRAMÁFICAS.....	67
Geoquímica de Terras Raras e aranhagramas	68
4.3 ROCHAS VULCÂNICAS	69
Geoquímica de Terras Raras e aranhagramas	70
4.4 ROCHAS METASSEDIMENTARES.....	71
Ambientes Tectônicos e proveniência.....	72
5. ISÓTOPOS DE Sm-Nd e U-Pb.....	76
6. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES	85
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Fig. 1. 1 – Mapa das Províncias Geológicas Argentinas (Ramos, 1999). Destaque para a PUNA.	3
Fig. 1. 2 – Imagem de satélite de Antofagasta de la Sierra, sem escala (fonte: <i>GoogleEarthPro</i>).....	4
Fig. 1. 3 – Mapa de localização e principais vias de acesso a Serra Calalaste	5

CAPÍTULO 2

Fig. 2. 1 – Feições geológicas da Puna e localização da área de estudo (Ramos, 1999). Destaque para as Faixas Eruptivas Oriental e Ocidental e para o lineamento Calama-Olapato-Toro, que divide a Puna Austral da Puna Setentrional (Alonso <i>et al.</i> , 1984).....	9
Fig. 2. 2 – vegetação e geomorfologia características da Puna Austral na Serra Calalaste.....	10
Fig. 2. 3 – Figura esquemática do norte da Argentina e de países vizinhos mostrando crátons Proterozóicos e Neoproterozóicos, além de cinturões móveis que resultaram se suas interações (Fuck <i>et al.</i> , 2007).....	14
Fig. 2. 4 – Imagem LANDSAT RGB 741 e mapa regional da Puna Austral na Província de Catamarca, com localização da área de estudo. Destaques para o Salar de Antofalla e Serra Calalaste, ambos feições regionais aproximadamente NS (Seggiaro <i>et al.</i> , 2000).....	19
Fig. 2.4 (cont.) – Legenda referente ao mapa geológico regional da Puna Austral na Província de Catamarca	20

CAPÍTULO 3

Fig. 3. 1 – Imagem esquemática das Quebradas Tramontana e Cortaderas Chica (sem escala e sem referências cartográficas – fonte: <i>Google EarthPro</i>).....	21
Fig. 3. 2 – Mapa geológico de detalhe (1:25.000) e de pontos da porção central da Serra Calalaste.....	22
Fig. 3. 2 (cont.) – Legenda referente ao mapa geológico de detalhe da porção central da Serra Calalaste.....	22
Fig. 3.3 – Perfil EW da seqüência metavulcanossedimentar: exposições de possíveis <i>boudins</i> macroscópicos de grauvacas e intercalações de arenitos e filitos. Os números se referem à identificação dos pontos GPS.....	24
Fig. 3. 4 – Perfil EW da seqüência metavulcanossedimentar: pacotes que apresentam típica deformação ordoviciana limitados por zonas de cisalhamento. Os números se referem à identificação dos pontos GPS.....	24
Fig. 3. 5 – contato metagabro e pelito (P38)	25
Fig. 3. 6 – alternância entre arenito e pelito (P20)	25
Fig. 3. 7 – alternância entre pelito e filito (P22).....	25
Fig. 3. 8 – contato entre grauvacas e filito (P18).....	25
Fig. 3. 9 – metatufo ácido (amostra 5715, escala 5 cm).....	28
Fig. 3. 10 – fotomicrografia da textura geral da amostra 5715 (4x, polarizadores descruzados à esquerda e cruzados à direita).....	28
Fig. 3. 11 – fotomicrografia da textura geral da amostra 5719 (4x, polarizadores descruzados à esquerda e cruzados à direita).	28
Fig. 3. 12 – Riolito foliado (P6, amostra 5716).....	28
Fig. 3. 13 – Contato pelito e riolito (amostra 5712, 4x, polarizadores descruzados à esquerda e cruzados à direita).....	28
Fig. 3. 14 – fotomicrografia da textura geral do riolito (amostra 5716, 4x, polarizadores cruzados)	28
Fig. 3. 15 – textura glomeroporfírica em riolito (amostra 5716, 4x, polarizadores cruzados).....	32
Fig. 3. 16 – textura antipertítica em riolito (amostra 5716, 4x, polarizadores cruzados).....	32
Fig. 3. 17 – golfos de corrosão em grão de quartzo (amostra 5716, 4x, polarizadores cruzados).....	32
Fig. 3. 18 – bolsões de clorita em riolito (amostra 5712, 4x, polarizadores cruzados)	32

Fig. 3. 19 – cristais de clorita e titanita formados a partir de biotita (amostra 5716, 4x, polarizadores descruzados).....	32
Fig. 3. 20 – textura geral das rochas metavulcânicas félsicas (amostra 5970, 4x, polarizadores cruzados).....	32
Fig. 3. 21 – aspecto geral do afloramento de grauvas deformadas (vista para N) (P1, amostras 5708A e 5708B)	35
Fig. 3. 22 - clastos de quartzo e plagioclásio em meio a matriz filossilicática em grauvaça (amostra 5949, 4x, polarizadores cruzados).....	35
Fig. 3. 23 – clasto de quartzo engolfado e sombra de pressão preenchida por clorita em grauvaça (amostra 5948, 4x, polarizadores descruzados)	35
Fig. 3. 24 – grãos de quartzo estirados e grãos de plagioclásio em meio a matriz essencialmente clorítica (amostra 5949, 4x, polarizadores descruzados).....	35
Fig. 3. 25 – cristal de plagioclásio deformado em grauvaça (amostra 5937A, 4x, polarizadores cruzados).....	35
Fig. 3. 26 – ocelo em clasto de plagioclásio contornado por fraturas em grauvaça (amostra 5976C, 4x, polarizadores descruzados à esquerda e polarizadores cruzados à direita)	35
Fig. 3. 27 – cristais de mica branca fina e grão de zircão zonado em grauvaça (amostra 5941, 10x, polarizadores cruzados).....	36
Fig. 3. 28 – matriz rica em filossilicatos (domínio lepidoblástico) e clastos de quartzo em grauvaça (amostra 5937A, 10x, polarizadores cruzados).....	36
Fig. 3. 29 – cristais de plagioclásio e quartzo contornados pelo domínio lepidoblástico dos filossilicatos em grauvaça deformada (amostra 5708B, 4x, polarizadores cruzados).....	36
Fig. 3. 30 – Ocelos de agregados policristalinos de quartzo e feldspato contornados pelo domínio lepidoblástico dos filossilicatos (muscovita) em grauvaça deformada (amostra 5708A, 4x, polarizadores cruzados à esquerda e descruzados à direita)	36
Fig. 3. 31 – ocelos de filossilicatos e grão euédrico de zircão (amostra 5948A, 10x, polarizadores cruzados).....	36
Fig. 3. 32 – fragmento lítico composto principalmente por filossilicatos orientados e grão arredondado de zircão em grauvaça (amostra 5952A, 10x, polarizadores cruzados)	36
Fig. 3. 33 – aspecto do fragmento lítico composto principalmente por filossilicatos (amostra 5952A, 4x, polarizadores descruzados)	37
Fig. 3. 34 – fragmento lítico (intraclastos) de meta-tufo ácido (amostra 5947, 10x, polarizadores descruzados).....	37
Fig. 3. 35 – agregado policristalino composto por grãos de quartzo em contatos interdigitados em grauvaça (amostra 5952A, 4x, polarizadores cruzados).....	37
Fig. 3. 36 – fragmento lítico (<i>fiamme</i> ? Púmice? Hialoclastito?) com forma sigmoidal em grauvaça (amostra 5936B, 4x, polarizadores descruzados).....	37
Fig. 3. 37 – fragmento lítico composto por minerais opacos com forma sigmoidal em grauvaça (amostra 5937A, 4x, polarizadores descruzados).....	37
Fig. 3. 38 – arenito feldspático (amostra 5718, 10x, polarizadores cruzados)	37
Fig. 3. 39 – cimento carbonático e grãos de quartzo arredondados em arenito conglomerático (amostra 5947, 4x, polarizadores cruzados).....	40
Fig. 3. 40 – fragmento lítico composto por opacos com forma sigmoidal em arenito conglomerático (amostra 5947, 4x, polarizadores descruzados).....	40
Fig. 3. 41 – cristais de quartzo (amostra 5959Si, 10x, polarizadores cruzados à esquerda e descruzados à direita).....	40
Fig. 3. 42 – aglomerados de matéria carbonosa e grãos de clorita em quartzito (amostra 5966, 4x, polarizadores descruzados à esquerda e cruzados à direita).....	40
Fig. 3. 43 – estilólitos sedimentares e tectônicos em pelito (amostra 5959 pelito, 4x, polarizadores cruzados à esquerda e descruzados à direita)	40
Fig. 3. 44 – foliação Sn+1 marcada nos níveis mais cloríticos em filito (amostra 5942B, 4x, polarizadores descruzados à esquerda e cruzados à direita)	40
Fig. 3. 45 – pelito (amostra 5712 pelito, 4x, polarizadores descruzados à esquerda e cruzados à direita).....	41
Fig. 3. 46 – metamarga composta por grãos de carbonato, mica branca fina e clorita (amostra 5953A, 4x, polarizadores cruzados).....	41
Fig. 3. 47 – produto de metassomatismo ou cisalhamento, composto por cristais de plagioclásio em contatos suturados, epidoto e clorita (amostra 5964A, 20x, polarizadores cruzados à esquerda e descruzados à direita).....	41
Fig. 3. 48 – Grão de quartzo com engolfamento e mica <i>fish</i> de clorita em rocha alterada (produto de metassomatismo ou cisalhamento, amostra 5723, 4x, polarizadores descruzados).....	41

Fig. 3. 49 – aspecto do metagabro maciço (P37)	44
Fig. 3. 50 – metagabro foliado limitado por zona de cisalhamento NE ao fundo (P7, amostra 5711)	44
Fig. 3. 51 – aspecto geral do metagabro com textura ofítica/subofítica preservada em escala de afloramento (P37).....	44
Fig. 3. 52 – corpo de metagabro fraturado, localizado na Quebrada Cortaderas Chica (P43, amostra 5986C)	44
Fig. 3. 53 – veios paralelos de calcita deformada dentro de corpo de metagabro (P33)	44
Fig. 3. 54 – detalhe do veio de calcita deformado (P33).....	44
Fig. 3. 55 – Veio de quartzo discordante que corta rochas ultramáficas (P41)	45
Fig. 3. 56 – Metagabro foliado e metagabro maciço (P7, amostra 5713).....	45
Fig. 3. 57 – perfil do corpo principal de metagabros – corpos básicos e ultrabásicos limitados por zonas de cisalhamento paralelas em encaixante metassedimentar	50
Fig. 3. 58 – detalhe do dique de hornblenda-gabro que corta o corpo de metagabro principal (amostras 5981, 5982)	50
Fig. 3. 59 – detalhe da lente de metagabro dentro do pacote metassedimentar	50
Fig. 3. 60 – detalhe das lentes ultramáficas dentro do pacote metassedimentar.....	50
Fig. 3. 61 – perfil do corpo de metagabro principal dentro de zona de cisalhamento: o pacote metavulcanossedimentar consiste na rocha encaixante dos corpos básicos e ultrabásicos	51
Fig. 3. 62 – aspecto geral da rocha ultramáfica fresca (amostras 5973, 5979).....	51
Fig. 3. 63 – veio discordante de calcita e clorita (a esquerda, vertical) e detalhe de veios de clorita e calcita (a direita, horizontais) em rocha ultramáfica (amostras 5974 e 5975)	51
Fig. 3. 64 – cristais finos e esqueléticos de plagioclásio em microgabro (amostra 5971, 4x, polarizadores cruzados).....	52
Fig. 3. 65 – grão com núcleo de piroxênio preservado e bordas alteradas para anfibólio (amostra 5983, 4x, polarizadores cruzados).....	52
Fig. 3. 66 – alteração do piroxênio a anfibólio (amostra 5986C, 4x, polarizadores cruzados)	52
Fig. 3. 67 – alteração de anfibólio a clorita e textura ofítica preservada com cristais de plagioclásio saussuritizados (amostra 5711, 4x, polarizadores cruzados).....	52
Fig. 3. 68 – núcleo de hornblenda de alta temperatura e bordas de hornblenda de baixa temperatura (amostra 5964B, 10x, polarizadores descruzados).....	52
Fig. 3. 69 – Textura ofítica preservada em metagabro (amostra 5717, 4x, polarizadores cruzados)	52
Fig. 3. 70 – cristais de plagioclásio saussuritizado e cristais grandes de zoisita e clinozoisita em metagabro (amostra 5711, 10x, polarizadores descruzados).....	54
Fig. 3. 71 – grãos de anfibólio alterados para clorita e cristais lamelares de penina em metagabro (amostra 5959, 4x, polarizadores cruzados).....	54
Fig. 3. 72 – massa de alteração composta por clorita <i>l. s.</i> e cristais de epidoto em metagabro (amostra 5983, 4x, polarizadores cruzados).....	54
Fig. 3. 73 – massa composta por cristais finos de clorita e grãos de epidoto com núcleos alterados em metagabro (amostra 5959, 4x, polarizadores descruzados).....	54
Fig. 3. 74 – cristais de plagioclásio <i>cumulus</i> , anfibólio <i>intercumulus</i> e carbonato em albitito (amostra 5972, 4x, polarizadores cruzados).....	54
Fig. 3. 75 – fenocristal de plagioclásio dobrado em albitito (amostra 5972, 4x, polarizadores cruzados).....	54
Fig. 3. 76 – textura subofítica preservada em dique de hornblenda-gabro (amostra 5981, 4x, polarizadores descruzados).....	56
Fig. 3. 77 – cristal de apatita castanho e massa composta por rutilo em dique de hornblenda-gabro (amostra 5982, 10x, polarizadores descruzados)	56
Fig. 3. 78 – olivina <i>cumulus</i> e piroxênio <i>intercumulus</i> em rocha ultramáfica pouco alterada (amostra 5979, 4x, polarizadores cruzados à direita e paralelos à esquerda).....	56
Fig. 3. 79 – pseudomorfo de olivina tremolitizado e serpentizado em rocha ultramáfica pouco alterada (amostra 5973, 10x, polarizadores descruzados).....	56
Fig. 3. 80 – pseudomorfos de olivina alterados para tremolita/actinolita, talco e carbonato. Clorita <i>intercumulus</i> é formada a partir de antigos cristais de anfibólio (amostra 5978, 10x, polarizadores cruzados)	56
Fig. 3. 81 – cristais de magnetita e massa de alteração formada por tremolita/actinolita, talco e carbonato. Nota-se obliteração quase total dos pseudomorfos de olivina e alteração de anfibólio para penina (amostra 5969, 4x, polarizadores cruzados).....	56
Fig. 3. 82 – veio ultramáfico composto predominantemente por clorita, com carbonato subordinado (amostra 5974, 4x, polarizadores descruzados a esquerda e cruzados à direita).....	57

Fig. 3. 83 – veio ultramáfico composto predominantemente por carbonato com penina subordinada (amostra 5975, 4x, polarizadores descruzados a esquerda e cruzados à direita)..... 57

CAPÍTULO 4

Fig. 4. 1 – diagrama discriminante SiO_2 vs $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ para rochas plutônicas (Cox, Bell, Pankhurst, 1979). Diques de hornblenda gabro (círculos vazios) e gabros (círculos vermelhos, azuis e verdes).....	59
Fig. 4. 2 – diagrama de classificação $\log \text{Nb}/\text{Y} - \log \text{Zr}/\text{TiO}_2$ (Floyd e Winchester, 1975). As amostras 5711, 5981 e 5982 não podem ser individualizadas no gráfico pois plotam junto aos metagabros representados pelos símbolos verdes, que se encontram sobre a linha do campo de andesitos/basaltos. Diques de hornblenda gabro (círculos vazios) e gabros (círculos vermelhos, azuis e verdes).....	59
Fig. 4. 3 - diagrama AFM (campo de Irvine e Baragar, 1971). Diques de hornblenda-gabro (círculos vazios) e gabros (círculos vermelhos, azuis e verdes).....	59
Fig. 4. 4 – diagramas binários do tipo Harker (1909), com MgO como índice de diferenciação, para os elementos maiores das amostras de metagabros (círculos vermelhos, azuis e verdes) e diques de hornblenda gabro (círculos vazios).....	60
Fig. 4. 5 – diagramas de ETR normalizado ao condrito (Sun e McDonough, 1989) e aranhogramas normalizados ao manto primitivo (Sun e McDonough, 1989) para os metagabros dos grupos 1 (vermelho), 2 (azul) e 3 (verde e albitito roxo).....	62
Fig. 4. 6 – diagrama discriminante Zr-Nb-Y para basaltos (Meschede, 1986). AI, basaltos alcalinos intra-placa; AII, basaltos alcalinos intra-placa e toleítos intra-placa; B, E-MORB; C, toleítos intra-placa e basaltos de arco vulcânico; D, N-MORB e basaltos de arco vulcânico. Metagabros grupos 1 (vermelho), 2 (azul) e 3 (verde).....	66
Fig. 4. 7 – diagrama discriminante Ti-Zr-Sr para basaltos (Pearce e Cann, 1973). A, toleítos de arco de ilha; B, basaltos calci-alcalinos; C, MORB. Metagabros grupos 1 (vermelho), 2 (azul) e 3 (verde).....	66
Fig. 4. 8 – diagrama discriminante Ti-Zr-Y para basaltos (Pearce e Cann, 1973). A, toleítos de arco de ilha; B, MORB, toleítos de arco de ilha e basaltos calci-alcalinos; C, basaltos calci-alcalinos; D, basaltos intra-placa. Rochas que plotam no campo B podem fornecer resultados ambíguos. Metagabros grupos 1 (vermelho), 2 (azul) e 3 (verde).....	66
Fig. 4. 9 – diagrama discriminante $\text{MnO}-\text{TiO}_2-\text{P}_2\text{O}_5$ para basaltos e basalto-andesitos (45-54% SiO_2) (Mullen, 1983). MORB; OIT, toleíto de ilha oceânica o toleíto <i>seamount</i> ; OIA, basalto alcalino de ilha oceânica ou basalto alcalino de <i>seamount</i> ; CAB, basalto calci-alcalino de arco de ilha; IAT, toleíto de arco de ilha; Bon, boninito. O campo dos boninitos ocupa o setor rico em MnO do campo dos CAB. Metagabros grupos 1 (vermelho), 2 (azul) e 3 (verde).....	66
Fig. 4. 10 – diagrama $\text{MgO}-\text{FeO}_{\text{total}}-\text{Al}_2\text{O}_3$ (Pearce et al., 1977). O diagrama só pode ser usado para rochas subalcalinas com variação de SiO_2 entre 51 e 56% de peso (amostras secas). 1, <i>spreading center island</i> ; 2, arco de ilha e margem continental ativa; 3, MORB; 4, ilhas oceânicas; 5, continentais. Metagabros grupos 1 (vermelho), 2 (azul) e 3 (verde).....	67
Fig. 4. 11 – diagrama discriminante para basaltos baseado nas covariâncias entre K-Ta, com Yb como fator normalizante (Pearce, 1982). VAB, basaltos de arco vulcânico; WPB, basaltos intra-placa. Basaltos de arco vulcânico são subdivididos em toleíticos (TH), calci-alcalinos (CA) e shoshoníticos (SHO). MORB e basaltos intra-placa são subdivididos em toleíticos (TH), transicionais (TR) e alcalinos (ALK). Basaltos alcalinos de arco vulcânico também plotam no campo alcalino. Metagabros grupos 1 (vermelho), 2 (azul) e 3 (verde).....	67
Fig. 4. 12 – diagramas do tipo Harker (1909) com MgO como índice de diferenciação para elementos maiores das amostras de rochas ultra-máficas.....	68
Fig. 4. 13 – diagrama de ETR dos cumulados ultramáficos normalizado ao condrito (Sun e McDonough, 1989). B- Aranhograma dos cumulados ultramáficos normalizados ao manto primitivo (Sun e McDonough, 1989).....	69
Fig. 4. 14 – diagrama TAS (Le Maitre, 1989) para rochas vulcânicas (metatufo ácido e riolito).....	70
Fig. 4. 15 – diagrama de ETR das rochas vulcânicas normalizado ao condrito (esquerda, Sun e McDonough, 1989). Aranhograma das rochas vulcânicas normalizado ao manto primitivo (direita, Sun e McDonough, 1989).....	71
Fig. 4. 16 – diagrama de ETR normalizados a media de folhelhos norte americano (NASC – Gromet et al., 1984). Azul – grauvaca; vermelho – filito; marrom – quartzito; verde – arenito feldspático.....	72

- Fig. 4. 17 – diagramas de função discriminante de assinaturas de suítes de arenitos-argilitos (Roser e Korsh, 1988). Esquerda: através de elementos maiores (Função discriminante 1 = $1,773 \text{ TiO}_2 + 0,607 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 0,76 \text{ Fe}_2\text{O}_3_{\text{total}} - 1,5 \text{ MgO} + 0,616 \text{ CaO} + 0,509 \text{ Na}_2\text{O} - 1,224 \text{ K}_2\text{O} - 9,09$; Função discriminante 2 = $0,445 \text{ TiO}_2 + 0,07 \text{ Al}_2\text{O}_3 - 0,25 \text{ Fe}_2\text{O}_3_{\text{total}} - 1,142 \text{ MgO} + 0,438 \text{ CaO} + 1,475 \text{ Na}_2\text{O} + 1,426 \text{ K}_2\text{O} - 6,861$). Direita: através de razões entre elementos maiores (Função discriminante 1 = $30,638 \text{ TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - 12,541 \text{ Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3 + 7,329 \text{ MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 12,031 \text{ Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 35,402 \text{ K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 6,382$; Função discriminante 2 = $56,500 \text{ TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - 10,879 \text{ Fe}_2\text{O}_3_{\text{total}}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 30,875 \text{ MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 5,404 \text{ Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 11,112 \text{ K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 3,89$)..... 73
- Fig. 4. 18 – diagramas discriminantes para arenitos (Bhatia, 1983) baseados em: representação binária TiO_2 vs $\text{Fe}_2\text{O}(\text{total}) + \text{MgO}$ (esquerda) e representação binária de $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ vs $(\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{total})+\text{MgO})$ (direita)..... 74

CAPÍTULO 5

- Fig. 5. 1 – fotografia dos grãos de zircão prismáticos analisados por LA-ICPMS (tamanho aproximado do grão prismático: 300 μm)..... 77
- Fig. 5. 2 – concórdia U-Pb LA-ICPMS de zircão de riolito exposto na Serra Calalaste..... 77
- Fig. 5. 3 – diagrama $\epsilon_{\text{Nd}(t)}$ versus Tempo mostrando as composições isotópicas de Nd dos metagabros e diques de hornblenda-gabro estudados. O círculo se refere aos valores de $\epsilon_{\text{Nd}(t)}$ das amostras 80
- Fig. 5. 4 – diagrama $\epsilon_{\text{Nd}(t)}$ versus Tempo mostrando as composições isotópicas de Nd das rochas metassedimentares, metavulcânicas, cumulados e diques ultrabásicos. Os círculos se referem aos valores de $\epsilon_{\text{Nd}(t)}$ das amostras 81

LISTA DE TABELAS**CAPÍTULO 3**

Tab. 3. 1 – porcentagem modal de minerais nas amostras de metagabro da Serra Calalaste	46
--	----

CAPÍTULO 4

Tab 4. 1 – Razões de elementos traço para as rochas metassedimentares da Serra Calalaste	75
--	----

CAPÍTULO 5

Tab. 5. 1 – Dados de Sm-Nd e U-Pb para as amostras de metagabros, ultramáficas, veios ultramáficos e de hornblenda gabro, rochas vulcânicas e metassedimentares	82, 83
---	--------

Tab. 5. 2 – Tabela de resultados isotópicos U-Pb por LA-ICP-MS de zircão para o riolito (amostra 5716) da Serra Calalaste	84
---	----

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Márcio Martins Pimentel. Sem ele, impossível.

Aos queridos professores do IG, que estiveram presentes todos esses anos (sete e meio!), José Oswaldo de Araújo Filho, José Affonso Brod, Marcel Auguste Dardenne, Raul Minas Kuyumjian e Edi Mendes Guimarães. Em especial aos meus “co-orientadores”, Elton Luiz Dantas, Reinhardt Adolfo Fuck, Nilson Francisquini Botelho e José Elói Guimarães Campos. Obrigada pelas discussões, idéias e opiniões... Elas foram e sempre serão muito valiosas pra mim!

Às amigas de sala Ana Maria Correa, Lys Matos e Stella Bijos. Aos amigos do instituto, Cristiane Moura, André Sabóia (Dardenninho), Ricardo Carlos de Oliveira (Mestre), Tati Almeida, Aline Evaristo, Aline Lemos, Samuel Neto, Mariana Negrão, Luciano Gonçalves (Cabelera), Danielle Cunha, Diogo de Sordi, Gloria Obando.

À galera que já tomou outro rumo fora da UnB, Gabriel Chianelli, Lara Nigro, Marcos Alberto Vasconcelos, Osmar Samir Baxe, Rafaela Andraus Portugal, Andrei Dignart, Tiago Rabelo e Dângelo Victor Gonçalves.

A Sérgio Luiz Junges, Bárbara Lima, Sandrine Araújo, Jorge Laux, Josineusa Brilhante, Cristiano de Oliveira Ferreira, Maria Emília Schutesky, Karin Milene Bender e Carolina Prescott (a galera da geocrono), por todos os momentos agradáveis, pelas análises, discussões, convivência, paciência, gentilezas e festinhas...

A Marcus Flávio Nogueira Chiarini, em homenagem ao desespero conjunto... (“é nós”, Marcão!!) Muito obrigada pelo cafézinho das 5 de todo dia, pelos papos, ajuda nos trampos braçais e nos assuntos da vida...

À Francisca das Chagas Morais e Adalgisa Ferreira, obrigada pelas conversas e pelas lâminas que vocês fizeram pra mim. Ainda bem que eu tenho sorte, hein?? Entre os motivos da sorte, seguramente está conhecer vocês.

A todos os funcionários do Instituto de Geociências, em especial à Francisca Rodrigues Freitas e Rômulo Franco de Melo, pelo bom humor e maravilhosa presença sempre. Realmente a secretaria é muuuuito melhor com vocês por lá! A Dione Moreira de Souza, Rogério Lourenço, Abel Nunes, Edson Carlos dos Santos (DAA), pela super agilidade nos perrengues burocráticos e técnicos que a gente é obrigado a resolver. Valeu mesmo!!

À Sonia di Cunzolo, José Maria Viramonte, José Germán Viramonte, Natália Hauser, Máximo Matteini, Ricardo Pereyra (Chiqui), Choppi (o motorista/faz tudo mais incrível do

Pinheiro, G. M. S.

mundo!), Gerardo N. Páez, Silvina Guzman, Carolina Montero e Abel Schalamuk, os amigos gringos que deram uma ajuda no desenvolvimento deste trabalho.

Às meninas queridas do meu espanhol, que eu nunca conheceria se não fosse essa aula... Valeu pela força e pelas risadas, Tininha, Gigi e Jack (Maria Cristina Oliveira, Gizeli e Jaqueline Martins)! E valeu pela ajuda no português, Tininha!

À galera querida da geologia espalhada por esse Brasil e mundo.

INREMI e SIG (CONICET), ambos de La Plata, órgãos geológicos argentinos que eu tive a oportunidade de conhecer e usar suas instalações. E claro, à todas as pessoas que trabalham por lá e foram muito gentis comigo. Em especial Claudia Patrícia Pereyra e José Molina, que me ajudaram um monte com a preparação das amostras (cortar, triturar, moer etc.). Se não fossem vocês, meu trabalho por lá teria sido muito menos prazeroso!! Muito obrigada!

A Antônio Luiz Furtado, jardineiro do IG, pelos “bons dias” de todos esses dias!

Ao Instituto Geonorte (Universidade Nacional de Salta, UNSA), Laboratórios ACME, Laboratório de Geocronologia da UnB e Laboratório de raios-X da Universidade de Brasília, por todas as análises presentes neste trabalho.

À CAPES pela bolsa de mestrado.

Aos Meus amigos “extra-curriculares”, Julia Brussi, Fernanda Miziara, Daniela Cureau, Catarina Bastos Daniel, Jana Koosah, Julia Souto, Felipe Tironi, Frederico Cunha, Guilherme Santinon, Marcos Terra, Pedro Salgado, César Bulcão. A convivência com vocês é inspiradora e sempre será, por muito tempo ainda...

Obrigada àquelas pessoas que não estão citadas aqui, seja por “seqüela” ou falta de tempo nesse finalzinho. E também àquelas que já se foram do nosso mundo, mas que fazem ou fizeram parte da minha vida e que de alguma forma influenciaram minha esquisita pessoa...

À minha tia Niobe Merola Ponte que está passando uns dias conosco nessa etapa final da minha vida acadêmica. Sua presença é linda sempre!

A Tiago Palma, “reaparecido” na minha vida um dia depois da apresentação desta dissertação e meu melhor presente de 2007, sem dúvida.

Por último, à pessoa mais importante desse mundo pra mim... Meu especial agradecimento à minha querida mainha (que também é meu pai), Celeida Márcia dos Santos, que dispensa comentários. Sem ela, absolutamente nada... Te amo muito.

E claro, às maravilhosas e grandiosas energias universais, que fluem constantemente, permitindo que toda essa gama de coincidências diárias exista (aqui inclui-se a Lei de Murphy!) e fazem da nossa vida simplesmente o que ela deve ser...

Pinheiro, G. M. S.

RESUMO

A Serra Calalaste é uma elevação topográfica N-S localizada na Província Geológica da Puna Austral. Dados geológicos são escassos para essa área, onde as unidades ígnea e metavulcanossedimentar são interpretadas como geradas em distintos ambientes tectônicos (bacia de *foreland*, retroarco, remanescentes ofiolíticos, entre outros).

Estudos petrográficos de amostras coletadas nas Quebradas Tramontana e Cortaderas Chica, localizadas na porção central da Serra Calalaste, permitiram identificar uma unidade ígnea (Complexo Máfico-Ultramáfico Tramontana, CBUT), representada principalmente por metagabros, localmente relacionados à cumulos ultramáficos. Essa unidade se encontra associada ao Complexo Vulcanossedimentar Cortaderas Chica (CVSCC), representado na área por rochas vulcânicas ácidas, metatufos, grauvacas, arenitos e filitos, com metamargas subordinadas. Estas rochas constituem as rochas encaixantes da unidade ígnea e estão metamorfizadas em fácies xisto-verde.

Estudos de isótopos e geoquímica permitiram identificar três grupos distintos de metagabros, possivelmente formados em um mesmo ambiente, porém submetidos a diferentes graus de deformação e alteração. Os metagabros do Grupo 1 mostram características similares a basaltos do tipo N-MORB, bastante primitivos, enquanto os do Grupo 2 apresentam características transicionais e os do Grupo 3 mostram características mais evoluídas. Dados de isótopos corroboram para diferentes graus de contaminação crustal dos três grupos, que mostram distintos valores de $\epsilon_{Nd(t)}$.

As rochas da seqüência metavulcanossedimentar apresentam padrões de ETR bastante homogêneos, além de características químicas que indicam contribuições importantes de fontes ígneas félsicas. Essas rochas foram possivelmente depositadas em uma bacia de retroarco sob regime de correntes de turbidez. Os valores de T_{DM} obtidos são similares aos de várias rochas expostas na Província da Puna e sugerem que a fonte dessas rochas seja comum.

A idade U-Pb por LA-ICPMS obtida em zircão de riolito (492 ± 3 Ma) é interpretada como idade de cristalização ígnea. Dados de Sm-Nd indicam que a unidade ígnea é derivada do manto depletado ($\epsilon_{Nd(t)}$ levemente negativos a positivos), com alguma contaminação crustal, enquanto a unidade metavulcanossedimentar mostra valores $\epsilon_{Nd(t)}$ compatíveis com contaminação crustal ou mistura de fontes antigas ($\epsilon_{Nd(t)}$ exclusivamente negativos). Dessa forma, os dados aqui apresentados favorecem um modelo de arco magmático continental ativo ao longo da margem oeste de Gondwana durante o final do Cambriano e início do Ordoviciano.

ABSTRACT

The Calalaste Range is a N-S topographic elevation located in the Austral Puna Geological Province. Geological data is sparse for this area, where the igneous and metavolcanosedimentary rock units are interpreted as generated in distinct tectonic environments (foreland basin, retroarc, oceanic basin, among others).

Petrographic studies of samples collected in the Quebradas Tramontana and Cortaderas Chica, in the central part of the Calalaste Range, allowed the identification of an igneous unit (Tramontana Mafic-Ultramafic Complex, CBUT), represented especially by metagabbros, locally associated with ultramafic cumulates. This unit is associated with the Cortaderas Chica Volcanosedimentary Complex (CVSCC), represented in the area by acid volcanic rocks, metatuffs, greywackes, sandstones and phyllites, with subordinated metamarls. These rocks are the country-rocks for the mafic-ultramafic rocks of the CBUT and are metamorphosed in greenschist facies.

Geochemical and isotopic studies allowed the identification of three distinct groups of metagabbros, possibly formed in the same environment, but submitted to different levels of deformation and alteration. Group 1 shows primitive geochemical characteristics, similar to N-MORB basalts, whereas group 2 shows transitional characteristics and group 3 shows evolved characteristics. Isotopic data suggests that the 3 groups display different levels of crustal contamination, and each of them show distinct $\epsilon_{Nd(t)}$ values.

The rocks of the metavolcanosedimentary unit show very homogeneous REE patterns and chemical characteristics that indicate an important contribution from felsic igneous fonts. These rocks were most likely deposited in a retroarc basin in an environment of turbidity flow currents. The T_{DM} values obtained in this work are similar to the ones obtained from various rocks exposed in the Puna Geological Province, and therefore suggest a common font for these rocks.

The LA-ICPMS zircon U-Pb age for a rhyolite (495 ± 3 Ma) is interpreted as the age of igneous crystallization. Sm-Nd isotopic data indicate that the igneous unit is derived from the depleted mantle ($\epsilon_{Nd(t)}$ values positive to slightly negative) with some crustal contamination, whereas the metavolcanosedimentary unit shows $\epsilon_{Nd(t)}$ compatible with crustal derivation or mixture of older fonts ($\epsilon_{Nd(t)}$ exclusively negative). Therefore, the data presented here favours a model in which, during the late Cambrian and early Ordovician, a continental magmatic arc was active along the western margin of Gondwana.

RESUMEN

La Sierra Calalaste es una elevación topográfica N-S ubicada en la Provincia Geológica de la Puna Austral. Los datos geológicos para esa área son escasos, donde las unidades ígnea y metavolcanosedimentaria son interpretadas como generadas en distintos ambientes tectónicos (cuenca de *foreland*, retroarco, remanentes ofiolíticos, entre otros).

Los estudios petrográficos de las muestras colectadas en las Quebradas Tramontana y Cortaderas Chica, en el tramo central de la Sierra Calalaste, permitieron identificar una unidad ígnea (Complejo Máfico-Ultramáfico Tramontana, CBUT), representada principalmente por metagabros, localmente asociados a cumulos ultramáficos. Esa unidad se encuentra asociada al Complejo Volcanosedimentario Cortaderas Chica (CVSCC), representado en el área por rocas volcánicas ácidas, metatobas, grauvacas, areniscas y filitas, con metamargas subordinadas. Esas rocas constituyen las rocas de caja del CBUT y están metamorfisadas en facies esquistos verdes.

Los estudios de isótopos y geoquímica permitieron identificar tres grupos distintos de metagabros, posiblemente formados en un mismo ambiente, pero sometidos a diferentes grados de deformación y alteración. Los metagabros del Grupo 1 muestran características similares a los basaltos de tipo N-MORB, mientras que los del Grupo 2 presentan características transicionales y los del Grupo 3 muestran características más evolucionadas. Los datos isotópicos sugieren diferentes grados de contaminación cortical en los tres grupos, que muestran distintos $\epsilon_{Nd(t)}$.

Las rocas de la secuencia metavolcanosedimentaria presentan patrones de ETR muy semejantes, además de características químicas que indican importantes contribuciones de fuentes ígneas félsicas. Esas rocas fueron posiblemente depositadas en una cuenca de retroarco, en un ambiente dominado por corrientes de turbidez. Los valores T_{DM} obtenidos son similares a los obtenidos para varias rocas de la Provincia Geológica de la Puna, y sugieren que la fuente de esas rocas sea común.

La edad U-Pb por LA-ICPMS obtenida en circones de riolita (492 ± 3 Ma) es interpretada como la edad de cristalización de la roca. Los datos Sm-Nd indican que la unidad ígnea es derivada del manto deprimido ($\epsilon_{Nd(t)}$ poco negativos y positivos), mientras que la unidad metavolcanosedimentaria muestra valores $\epsilon_{Nd(t)}$ compatibles con contaminación cortical o mezcla de fuentes antiguas ($\epsilon_{Nd(t)}$ exclusivamente negativos). Los datos aquí presentados sugieren un modelo en el cual, a finales del Cámbrico e inicio del Ordovícico, un arco magmático continental era activo en el margen oeste del Gondwana.

CAPÍTULO 7

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aceñolaza, F. G. & Toselli, A. J. 1973. Consideraciones estratigráficas y tectónicas sobre el Paleozoico Inferior del noroeste argentino. *In: II Congreso Latinoamericano de Geología, Actas 2*, 755-764.
- Aceñolaza, F. G.; Miller, H.; Tosseli, A. J. (Eds.) 1990. *El Ciclo Pampeano en el Noroeste Argentino*. Universidad Nacional de Tucumán, Serie Correlación Geológica, vol. 4, 227 pp.
- Allmendinger, R., Jordan, T., Palma, M., Ramos, V.A. 1982. Perfil Estructural en la Puna Catamarqueña (25°-27°S), Argentina. *In: Quinto Congreso Latinoamericano de Geología, Buenos Aires, Argentina, Actas I*, 499-518.
- Allmendinger, R.; Ramos, V. A.; Jordan, T.; Palma, M.; Isacks, B. 1983. Paleogeography and Andean structural geometry, northwestern Argentina. *Tectonics*, **2**:1-16.
- Alonso, R. N., Viramonte, J. G., Gutierrez, R. 1984. Puna Austral. Bases para el subprovincialismo geológico de la Puna Argentina. *In: IX Congreso Geológico Argentino, San Carlos de Bariloche, Actas I*, 43-63.
- Argañaraz, R. A. & Rojas, W. 1999. Prospección aurífera en la Sierra de Calalaste, Antofagasta de la Sierra, Catamarca. *In: XIV Congreso Geológico Argentino, Salta, Argentina, Actas II*, 374-377.
- Astini, R. A. 1996. Las fases diastóricas del Paleozoico Medio en la Precordillera del oeste Argentino - evidencias estratigráficas. *In: XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración e Hidrocarburos, Buenos Aires, Actas V*, 509-526.
- Bahlburg, H.; Hervé, F. 1997. Geodynamic evolution and tectonostratigraphic terranes of Northwestern Argentina and Northern Chile. *Geological Society of America Bulletin*, **109**:869-884.
- Baranzangi, M. & Isacks, B. L. 1976. Spatial distribution of earthquakes and subductions of the Nazca Plate beneath South America. *Geology*, **4**: 686-692.
- Bathia, M. R. 1983. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. *Journal of Geology*, **91**:611-627.
- Becchio, R., Lucassen, F., Kasemann, G., Franz, G., Viramonte, J.G. 1999. Geoquímica y sistemática isotópica de rocas metamórficas del Paleozoico Inferior. Noroeste de Argentina y Norte de Chile (21-27 S). *Acta Geológica Hispánica*, **34**: 273-299.
- Blasco, G., Villar, L., Zappettini, E. O. 1996. El Complejo Ofiolítico desmembrado de la Puna Argentina, Provincias de Jujuy, Salta y Catamarca. *In: XIII Congreso Geológico Argentino e III Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Buenos Aires, Actas III*, 653-667.
- Bock, B.; Bahlburg, H.; Wörner, G.; Zimmermann, U. 2000. Tracing Crustal Evolution in the Southern Central Andes from Late Precambrian to Permian with Geochemical and Nd and Pb Isotope Data. *The Journal of Geology*, **108**:515-535.
- Bonarelli, G. 1913. Epirogenia y paleogeografía de Sudamérica. *Physis I*, **5**:221-240.
- Bonarelli, G. 1915. Epirogenia y paleogeografía de Sudamérica. *Physis I*, **8**:499-522.

- Brackebusch, L. 1883. Estudios sobre la Formación Petrolífera de Jujuy. Academia Nacional de Ciencias de Córdoba, *Boletín 5*: 137-252.
- Brito Neves, B.B. 1999. América do Sul: quatro fusões, quatro físsões e o processo acrescionário Andino. *Rev. Bras. Geociências*, São Paulo, **29**:3, 379-392.
- Brito Neves, B.B.; Campos Neto, M.C.; Fuck, R.A. 1998. From Rodínia to Western Gondwana: an approach to the Brasiliano-PanAfricano cycle and orogenic collage. *Episodes*, Ottawa, **22**:3, 155-166.
- Campos Neto, M. C.; Figueiredo, M. C. H. 1995. The Rio-Doce Orogeny, southeastern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **8**:143-162.
- Carrapa, B.; Adelman, D.; Hilley, G. E.; Mortimer, E.; Sobel, E.R.; Strecker, M. R. 2005. Oligocene range uplift and development of plateau morphology in the southern central Andes. *Tectonics*, **24**:doi: 10.1029/2004TC001762.
- Conti, C. M.; Rapallini, A.; Coira, B.; Koukharsky, M. 1996. Paleomagnetic evidence of an early Paleozoic rotated terrane in northwest Argentina. A clue for Gondwana-Laurentia interaction? *Geology*, **24**:953-956.
- Cox, K. G.; Bell, J. D.; Pankhurst, R. J.; 1979. *The interpretation of igneous rocks*. George Allen & Unwin, London, 450 pp.
- Cullers, R. L.; Basu, A.; Suttner, L. J. 1988. Geochemical signature of provenance in sand-size material in soils and stream sediments near the Tobacco Root batholith, Montana, USA. *Chemical Geology*, **70**:335-348.
- Cullers, R. L. 1994. The controls on the major and trace element variation of shales, siltstones and sandstones of Pennsylvanian-Permian age from uplifted continental blocks in Colorado to platform sediment in Kansas, USA. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **58**:4955-4972.
- Cullers, R. L. 2000. The geochemistry of shales, siltstones and sandstones of Pennsylvanian-Permian age, Colorado, USA: Implications for Provenance and metamorphic studies. *Lithos*, **51**:181-203.
- Cullers, R. L.; Podkovyrov, V. N. 2000. Geochemistry of the Neoproterozoic Lakhanda shales in southeastern Yakutia, Russia: Implications for mineralogical, provenance control and recycling. *Precambrian Research*, **104**:77-93.
- Dalziel, I. W. D. 1992. On the organization of American plates in the Proterozoic and the breakout of Laurentia. *SGA Today*, **2**:237-241.
- Di Cunzolo, comunicação pessoal. *Tese de doutorado em andamento*. Universidade de Tucumán, Argentina.
- DePaolo D. J., 1981. A neodymium and strontium isotopic study of the Mesozoic calc-alkaline granitic batholiths of the Sierra Nevada and Peninsular Ranges. *California Journal Geophysical Research*, **86**:10470-10488
- Du Toit A. L., 1937. *Our wandering continents: An Hypothesis of Continental Drifting*. Edinburgh (Oliver and Boyd). 366 pp.?

- Floyd, P. A. & Winchester, J. A. 1975. Magma-type and tectonic setting discrimination using immobile elements. *Earth and Planetary Science Letters*, **27**:211-218.
- Furque, G. & Cuerda, A. J. 1979. Ordovícico Argentino. *Publicación Especial de la Asociación Geológica Argentina, Serie B*: 1-56.
- Fuck, R.A.; Brito Neves, B.; Schobbenhaus, C. 2007. Rodinia descendants in South América. *Precambrian Research*, doi:10.1016/j.precamres.2007.04.018
- Gioia, S.M.C., Pimentel, M., 2000. The Sm-Nd isotopic method in the Geochronology Laboratory of University of Brasilia. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* **72**: 219-245.
- Göetze, H. J.; Schmidt, S.; Strunk, S.; 1988. Central Andean gravity field and its relation to crustal structures. In: H. Bahlburg, C. Breitzkreuz, P. Giese (eds.) *The Southern Central Andes*. Lecture Notes in Earth Sciences, **17**:199-209.
- Gromet, L. P.; Dimek, R. F.; Haskin, L. A. & Korotev R. L. 1984. The "North American Shale Composite": its compilation, major and trace element characteristics. *Geochimica e Cosmochimica Acta*, **48**:2469-2482.
- Harker, A., 1909. *The natural history of igneous rocks*. Methuen, London.
- Hargrove, U. S.; Martin, M. W.; Hanson, R.E.; Singletary, S.; Bowring, S.; Munyanyiwa, H. 1998. Tectonic inversion of the Paleo and Neoproterozoic metamorphic rocks in Zambesi Belt, Mt. Darwin area, NE Zimbabwe. *Geological Society of America Abstract Programs*, **30**:292.
- Harrington H, 1975. South America. In: Fairbridge, R. (Ed.). *The encyclopedia of world regional geology*, **1**:456-465. Reinhold Book. Co. New York.
- Hongn, F.; Seggiaro, R.; Guillou, J.; Godeas, M.; Segal, S.; Pezzutti, N.; Ferpozzi, L. 2003. *Geología y metalogénesis del Eopaleozoico del tramo central de la Sierra de Calalaste, provincia de Catamarca*. Contribuciones Técnicas No. 22. Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, Buenos Aires, 51 pp.
- Irvine, T. N. & Baragar, W. R. A. 1971. A guide to chemical classification of common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **8**:523-548.
- Isacks, B. L. 1988. Uplift of the central Andean plateau and bending of the Bolivian orocline. *Journal of Geophysical Research*, **93**:3211-3231.
- James D. E., 1971. Andean crustal and upper mantle structure. *Journal of Geophysical Research*, **76**, 3246-3271.
- James, D. E. & Sacks, I. S. 1999. Cenozoic formation of the Central Andes: A geophysical perspective. In: Skinner, B. F. (eds.) *Geology and Ore Deposits of the Central Andes*. Geologists, Society of Economic, Special Publication No 7, 1-25.
- Jezeq, P.; Willner, A. P.; Aceñolaza, F. G. & Miller, H. 1985. The Puncoviscana through-large basin of Late Precambrian to Early Cambrian age on the Pacific edge of the Brazilian shield. *Geologische Rundschau*, **74**: 573-584.
- Jordan, T.; Isacks, B.; Allmendinger, R.W.; Brewer, J.A.; Ramos V.A.; Ando C.J. 1983. Andean tectonics related to geometry of subducted Nazca plate. *Geological Society of America Bulletin* **94**:341-361.

- Kay, S. M.; Coira, B.; Viramonte, J. G. 1994. Young mafic back-arc volcanic rocks as indicators of continental lithospheric delamination beneath the Argentine Puna plateau, Central Andes. *Journal of Geophysics Research*, **99**:323-339.
- Keidel, J. 1927. *Sobre las relaciones geológicas entre la Puna y la Cordillera Principal o Cordillera de los Andes*. Academia Nacional de Ciências, *Boletín* 30: 295-307.
- Kleine, T.; Mezger, K.; Zimmermann, U.; Münker, C.; Bahlburg, H. 2004. Crustal Evolution along the Early Ordovician Proto-Andean Margin of Gondwana: Trace Element and Isotope Evidence from the Complejo Igneo Pocitos (Northwestern Argentina). *The Journal of Geology*, **112**:503-520.
- Kley, J.; Müller, J.; Tawackoli, S.; Jaconshagen, V.; Manutsoglu, E. 1997. Pre-Andean and Andean-age deformation in the eastern and southern Bolivia. *Journal of South America Earth Sciences*, **10**:1-19.
- Kraemer, P. E.; Escayola, M. P. & Martino, R. D. 1995. Hipótesis sobre la evolución tectónica neoproterozoica de las Sierras Pampeanas de Córdoba (30° 40' - 32° 40'), Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, **50**: 47-59.
- Le Maitre, R. W.; Bateman, P.; Dudek, A.; Keller, J.; Lameyre Le Bas, M. J.; Sabine, P. A.; Schmid, R.; Sorensen, H.; Streckeisen, A.; Woolley, A. R. & Zanettin, B., 1989. *A Classification of igneous rocks and glossary of terms*. Blackwell, Oxford.
- Lucassen, F.; Wilke, H. G.; Viramonte, J. G.; Becchio, R.; Franz, G.; Laber, A. Wemmer, K.; Vroon, P. 1996. The Paleozoic of the Central Andes (18°-26° S) – a metamorphic view (abstract). In: Third International Symposium on Andean geodynamics, St. Malo, França, ORSTOM editions, Paris, *Abstract Volume*, 779-782
- Lucassen, F., Becchio, R., Wilke, H. G., Franz, G., Thirlwall, M.F., Viramonte, J. G., Wemmer, K. 2000. Proterozoic-Paleozoic development of the basement of Central Andes (18°-26°S) - a mobile belt of the South American Craton. *Journal of South American Earth Sciences*, **13**:697-715.
- Ludwig, K. R. 2003. *Isoplot/Ex 3.00: A geochronological toolkit for Microsoft Excel*. Berkeley Geochronology Center.
- Lugmair G. W. and Marti K., 1975, Lunar initial $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$: differential evolution of the lunar crust and mantle. *Earth and Planetary Science Letters*, **27**, 79-84.
- Maringa, J.; Hanson, R. E.; Martin, M. W.; Singletary, S. J.; Bowring, S. A. 1998. Timing of polyphase ductile deformation at deep to mid-crustal levels in the Neoproterozoic Zambesi belt, NE Zimbabwe. *Geological Society of America Abstract Programs*, **30**:292.
- McLennan, S. M. 2001. Relationships between the trace element composition of sedimentary rocks and upper continental crust. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, **2**(4): doi:10.1029/2000GC000109
- McQuarrie, N. & DeCelles, P. 2001. Geometry and structural evolution of the central Andean back-thrust belt, Bolivia. *Tectonics*, **20**: 669-692.
- Meschede, M 1986. A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram. *Chemical Geology*, **56**: 207-218.

- Méndez, V.; Navarini, A.; Plaza, D.; Viera, O. 1973. Faja Eruptiva de la Puna Oriental. *In: Congreso Geológico Argentino, Córdoba, Actas 4*, 89-100.
- Mon, R. & Hongn, F. 1991. Structures of the precambrian and lower Paleozoic basement of the Central Andes between 22 and 32 S. *Lat. Geol. Rund.*, **80**:745-758.
- Mullen, E. D. 1983. MnO/TiO₂/P₂O₅: a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implication for petrogenesis. *Earth and Planetary Science Letters*, **62**:53-62.
- Omarini, R.; Viramonte, J. G.; Cordani, U.; Salfity, J.; Kawashita, K. 1984. Estudio geocronológico Rb/Sr de la Faja Eruptiva de la Puna en el sector de San Antonio de los Cobres, Provincia de Salta, Argentina. *In: IX Congreso Geológico Argentino, San Carlos de Bariloche, Actas 3*, 146-158.
- Omarini, R. H. & Sureda, R. J. 1994. El basamento centroandino y sus cuencas marginales entre el rift Irúyico (515 Ma) y la colisión Oclóyica (435 Ma). *In: VII Congreso Geológico Chileno, Actas I*, 491-498.
- Omarini, R. H.; Sureda, R.J.; Götze, H.J.; Seilacher, A.; Plüger, F. 1999. The Pucoviscana folded belt: a testimony of Late Proterozoic Rodinia fragmentation and the collisional pre-Gondwanic episodes. *Geologische Rundschau*, **88**:76-97.
- Palma, M. A.; Parica, P. D.; Ramos, V. A. 1986. El granito Archibaca: su edad y significado tectónico, Provincia de Catamarca. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, **41**: 414-419.
- Palma, M. A.; Brisson, I.; Vujovich, G. 1990. Geología del Bloque Paleozóico de la Quebrada Honda, Puna Catamarqueña. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, **XLV**:145-158.
- Pankhurst, R. J.; Rapela, C. W.; Saavedra, J.; Baldo, E.; Dahlquist, J.; Pascua, I.; Fanning, C.M. 1998. The Famatinian magmatic arc in the Central Sierras Pampeanas: an Early to Middle Ordovician continental arc on the Gondwana margin. *In: R. J. Pankhurst, C.W. Rapela (eds.) The Proto-Andean Margin of Gondwana*. Geological Society of London Special Publication, 142, 343-367.
- Pankhurst, R. J.; Rapela, C. W. 1998. The proto-Andean margin of Gondwana: an introduction. *In: Pankhurst, R. J.; Rapela, C. W. (eds.) The Proto-Andean margin of Gondwana*. Geological Society of London, Special Publications No. **142**, 1-9
- Pearce, J. A. & Cann, J. R. 1973. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analysis. *Earth and Planetary Science Letters*, **19**:290-300.
- Pearce, T. H.; Gorman, B. E. & Birkett, T. C. 1977. The relationship between major elements chemistry and tectonic environment of basic and intermediate volcanic rocks. *Earth and Planetary Science Letters*, **36**: 121-132.
- Pearce, J. A. 1982. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. *In: Thorpe, R. S. (eds.) Andesites*. John Wiley & Sons, Nova York, 525-548.
- Powell, C. M. 1995. Arc Neoproterozoic glacial deposits preserved on the margin of Laurentia related to the fragmentation of two supercontinents: comments. *Geology*, **23**:1053-1054.
- Ramos, V. A.; Jordan, T.; Allmendinger, R. W.; Kay, S. M.; Cortés, J. M.; Palma, M. A. 1984. Chilenia: un terreno alóctono en la evolución Paleozóica de los Andes Centrales. *In: IX Congreso Geológico Argentino, Actas 2*, 84-106.

- Ramos, V. A.; Jordan, T. E.; Allmendinger, R. W.; Mpodozis, C.; Kay, S. M.; Cortes, J. M.; Palma, M. A. 1986. Paleozoic terranes of the central Argentine-Chilean Andes. *Tectonics*, **5**:855-880.
- Ramos, V. A. 1988. Tectonics of the Late Proterozoic - Early Paleozoic: a collisional history of southern South America. *Episodes*, **11**:168-174.
- Ramos, V. A. & Vujovich, G. I. 1995. New appraisal on the southwestern Gondwana terranes and their Laurentian affinities: Laurentian-Gondwanan connections before Pangea. *I. G. C. P. Field Conference Project 376 Abstracts* 31-32.
- Ramos, V. A. 1999. Las Provincias Geológicas del Territorio Argentino. In: Caminos, R. (ed.) *Geología Argentina*. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Anales 29 – **3**:41-96.
- Ramos, V. A. 2000. The Southern Central Andes. In: U. G. Cordani E. J. Milani, A. Thomaz Filho, D. A. Campos (eds.) *Tectonic Evolution of South America*. 31st International Geological Congress, 561-604.
- Rapalini, A. E. & Astini, R. A. 1998. Paleomagnetic confirmation of the Laurentian origin of the Argentine Precordillera. *Earth and Planetary Science Letters*, **155**:1-14.
- Rapela, C. W.; Pankhurst, R. J.; Casquet, C.; Baldo, E.; Saavedra, J.; Galindo, C.; Fanning, C. M. 1998. The Pampean Orogeny of the southern proto-Andes: Cambrian continental collision in the Sierras de Córdoba. In: Pankhurst, R. J. & Rapela, C. W. (eds.) *The Proto-Andean Margin of Gondwana*. Geological Society of London Special Publications **142**,181-217.
- Renne, P.R.; Ernesto, M.; Pacca, I. G.; Glen, J.M.; Prevot, M.; Perrin, M. 1992. The age of Paraná flood volcanism, rifting of Gondwanaland and the Jurassic-Cretaceous boundary. *Science*, **258**(5084):975-979.
- Roser, B. P.; Korsch, R. J. 1988. Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data. *Chemical Geology*, **67**: 119-139.
- Salfity, J.; Omarini, R.; Baldis, E., Gutierrez, W. 1975. Consideraciones sobre la evolución geológica del Precámbrico y Paleozoico del Norte Argentino. In: II Congreso Íbero-Americano de Geología Económica, Buenos Aires, *Actas IV*, 341-361.
- Salfity, J. A.; Malanca, S.; Brandán, M. E.; Monaldi, C. R.; Moya, M. C. 1984. La fase Guandacol (Ordovícico) en el noroeste de la Argentina. In: IX Congreso Geológico Argentino, *Actas I*, 555-567.
- Salfity, J.A., 1985. Lineamentos transversales al rumbo andino en el noroeste argentino, *4º Congreso Geológico Chileno*, Antofagasta. *Actas 2*: 119- 137.
- Seggiaro, R. E.; Hongn, F. D.; Clavero, J. 2000. *Hoja Geológica 2769-II - Paso de San Francisco - Provincia de Catamarca*. Subsecretaria de Minería de la Nación - Servicio Geológico Minero Argentino - Instituto de Geología y Recursos Minerales, Buenos Aires, vol. Boletín No. 294, 56 pp.
- Stacey, J. S. & Kramers, J. D. 1975. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two stage model. *Earth and Planetary Science Letters*, **26**:207-221.
- Stanistreet, I. G.; Kukla, P. A.; Henry, G. 1991. Sedimentary response to a Late Proterozoic Wilson Cycle: The Damara Orogen and Nama Foreland, Namibia. *Journal of African Earth Sciences*, **13**:141-156.

- Stump, E. 1987. Construction on the Pacific Margin of Gondwana during the Pannotian cycle. *In: McKenzie, G.D. (ed.) Gondwana Six: Stratigraphy, sedimentology and paleontology*. American Geophysics Union, Geophysics Monographies, **41**:77-87.
- Sun, S. S. & McDonough, W. F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *In: Saunders, A. D. e Norry, M. J. (eds.) Magmatism in ocean basins*. Geological Society of London Special Publications 42, 313-345.
- Sureda, R. J. & Omarini, R. H. 1999. Evolución geológica y nomenclatura pre-Gondwánica en el Noroeste de Argentina (1800-160 Ma). *Acta Geológica Hispánica*, **34**: 197-225.
- Sureda, R.J.; Omarini, R.H.; Alonso, R.N. 1999. El Ciclo Pannotiano: la perspectiva histórica y las nuevas definiciones. *In: 14 Congreso Geológico Argentino, Actas I*, 21-27.
- Sureda, R. J.; Omarini, R. H.; Matteini, M. 2002. La evolución magmática del basamento en el noroeste argentino y sus implicancias geológicas para el Precámbrico de los Andes Centrales. *In: XI Congreso Peruano de Geología, Lima, Peru*: 213-217.
- Taylor, S. R. & McLennan, S. M. 1985. *The Continental Crust: its Composition and Evolution*. Blackwell, London, 312 pp.
- Thomas, W. A. 1991. The Appalachian Ouachita rifted margin of Southeastern North America. *Geological Society of America Bulletin*, **103**:415-431.
- Thomas, W. A. & Astini, R. A. 1996. The Argentine Precordillera: a traveler from the Ouachita embayment of North American Laurentia. *Science*, **273**:752-757.
- Torsvik, T. H.; Smethurst, M. A.; Meert, J. G.; van der Voo, R.; McKerrow, W. S.; Brasier, M. D.; Sturt, B. A.; Walderhaug, H. J. 1996. Continental break-up and collision in the Neoproterozoic and Paleozoic: a tale of Baltica and Laurentia. *Earth Sciences Reviews*, **40**: 229-258.
- Turner, J. C. M. 1960. Estratigrafía de la Sierra de Santa Victoria y adyacencias. *Boletín de la Academia Nacional de Ciencias de Córdoba*, **51**: 163-196.
- Turner, J. M. 1964. *Descripción Geológica de la Hoja 7C - Nevado de Cachi (Provincia de Salta)*. Dirección Nacional de Geología y Minería, Buenos Aires, Boletín 99, 78 pp.
- Turner, J. C. M. 1972. Puna. *In: Leanza A. F. (ed.) Geología Regional Argentina*. Academia Nacional de Ciencias de Córdoba, **I**:91-116.
- Turner, J. C. M. & Méndez, V. 1975. Geología del sector oriental de los Deptos. Santa Victoria e Iruya, Salta. *Boletín de la Academia Nacional de Ciencias de Córdoba*, **71**:11-24.
- Turner, S.; Regelous, M.; Kelley, S.; Haweswoorth, C. J.; Mantovani, M. 1994. Magmatism and continental break-up in the South Atlantic: high precision ⁴⁰Ar/³⁹Ar geochronology. *Earth and Planetary Science Letters*, **121**: 333-348.
- Viramonte, J. G.; Omarini, R. H.; Araña Saavedra, V.; Aparicio, A.; García Cacho, L. A.; Parica, P. 1984. Edad, genesis y mecanismos eruptivos de las riolitas granatíferas de San Antonio de los Cobres, provincia de Salta. *IX Congreso Geológico Argentino, Actas vol. III*:216–233.

- Viramonte, J. M.; Becchio, R. A.; Viramonte, J. G.; Pimentel, M. M.; Martino, R. D. 2007. Ordovician igneous and metamorphic units in southeastern Puna: New U-Pb and Sm-Nd data and implications for the evolution of northwestern Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, **25**:106-120.
- Wigger, P.; Schmitz, M.; Araneda, M.; Asch, G.; Baldzuhn, S.; Giese, P.; Heinsohn, W. D.; Martinez, E.; Ricaldi, E.; Röwer, P.; Viramonte, J. 1994. Variation in the crustal structure of the Southern Central Andes deduced from seismic refraction investigations. In: *Tectonics of the Southern Central Andes*, Springer Verlag, Berlin, 23-48.
- Wilson, T. J.; Grunow, A. M.; Hanson, R.E. 1997. Chemistry and isotopic ages of metamorphic basement and intrusions. *VIII Congreso Geológico Chileno*, **Actas 2**:1593-1597.
- Wood, D. A. 1980. The application of Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province. *Earth and Planetary Science Letters*, **50**:11-30.
- Zimmermann, U.; Kay, S. M.; Bahlburg, H. 1999. Petrography and Geochemistry of southern Puna (NW Argentina) Pre-Late Ordovician gabbroic to ultramafic units, intermediate plutonites and their host units: a guide to evolution of the western margin of Gondwana. In: XIV Congreso Geológico Argentino, Salta, Argentina, *Actas II*, 143-145.
- Zimmermann, U. & Van Staden, A. 2002. Quebrada Tramontana in the Sierra Calalaste: a keyregion in the evolution of the Ordovician in the Northwestern Argentina. In: XV Congreso Geológico Argentino, El Calafate, Argentina, *Actas 1*:139-146.
- Zimmermann, U.; Luna Tula, G.; Marchioli, A.; Narvaéz, G.; Olima, H.; Ramírez, A. 2002. Análisis de procedência de la Formación Falda Ciénaga (Ordovícico Médio, Puna Argentina) por petrografía sedimentária, elementos trazas e isotopía de Nd. *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología*, **9**:1-24.