

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**GEOTERMOBAROMETRIA, GEOQUÍMICA, GEOCROLOGIA
E EVOLUÇÃO TECTÔNICA DAS ROCHAS DA FÁCIES XISTO
AZUL NAS ÁREAS DE JAMBALÓ (CAUCA)
E BARRAGÁN (VALLE DEL CAUCA), COLÔMBIA**

Andrés Bustamante Londoño

Orientador: Prof. Dr. Caetano Juliani

TESE DE DOUTORAMENTO

Programa de Pós-Graduação em Mineralogia e Petrologia

SÃO PAULO
2008

BUSTAMANTE, A., 2008. *Geotermobarometria, geoquímica, geocronologia e evolução tectônica das rochas da fácies xisto azul nas áreas de Jambaló (Cauca) e Barragán (Valle del Cauca), Colômbia*. 179 p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

*“Não há assunto tão
velho que não possa
ser dito algo de novo
sobre ele”*

Fiodor Dostoievski

AGRADECIMENTOS

Não há muitas palavras que possam expressar o imenso agradecimento que eu tenho com meu professor e amigo Dr. Caetano Juliani, quem sempre se mostrou disposto a ajudar e que proporcionou uma orientação da altíssima qualidade.

Ao projeto FAPESP **2004/10203-7**: “Petrogênese, metamorfismo e evolução tectônica dos xistos azuis dos Andes na Colômbia, Equador e Chile”.

À *Fundación para la Promoción de la Investigación y la Tecnología del Banco de la República de Colombia* pelos projetos **1.819**: “*Evolución geológica de los esquistos azules y rocas asociadas del área de Jambaló, Departamento de Cauca, Colombia*” e **2.178**: “*Petrogénesis de los esquistos azules y rocas asociadas del área de Barragán, Valle del Cauca*”.

A CNPq e CAPES bolsas de doutorado.

Ao prof. Andrés Velásquez, diretor do *Observatorio Sismológico del Suroccidente (OSSO)*, Colômbia; pela imensa ajuda nos contatos com o pessoal responsável pelas autorizações necessárias para visitar a área de Toribío e Jambaló, além da excelente estada que gentilmente nos ofereceu durante algumas semanas em Cali. Ao pessoal do *Observatorio Sismológico del Suroccidente (OSSO)*, especialmente a Cristina Rosales e o Jorge Eduardo Mendoza.

Ao Senhor Guillermo Santamaria, peça fundamental nos contatos com o pessoal da *U.M.A.T.A* de Toribío.

Na cidade de Toribío, foi indispensável o atendimento e o acompanhamento nos trabalhos de campo, por isso o Senhor Diretor da *U.M.A.T.A* de Toribío, Efigenio Hernández merece meus mais sinceros agradecimentos. Além dele, os “*animadores ambientales*” e o pessoal da *U.M.A.T.A* de Toribío: Albeiro, Alejandra, Antonio, Astrid, Bernardo, Bertulfo, Dora, Efraín, Ferney, Jacqueline, Juan Pablo, Leyner e Lizardo; assim como a todo o pessoal dos diferentes *Cabildos* e os *Alguaciles* e Guardas Indígenas que estiveram sempre dispostos a colaborar para o tranqüilo transcorrer do trabalho de campo.

Igualmente, merecem meus agradecimentos os Senhores Governadores, em março de 2005, dos *Resguardos* de **Tacueyó**: Oscar Wilde Cuchillo; **Toribío**: Plinio Trochez Ascue; **San Francisco**: Milciades Musicue e **Jambaló**: Andrés Betancurt. Também gostaria agradecer aos Senhores Coordenadores do *Proyecto Nasa*, Nelson Lemus e do *Plan Ambiental Agropecuario*, Jaime Díaz. Em Jambaló, agradeço ao Senhor Diretor da *U.M.A.T.A*, Edgar Ramos e a Senhora Coordenadora do *Plan Agro-Ambiental*, Maria Eugenia Ulcue, assim como a prefeitura do referido município.

Ao geólogo Carlos Mario Echeverri Misas pela ajuda no trabalho de campo na região de Toribío e Jambaló.

Para os trabalhos de campo na região de Barragán, contei com a ajuda do Senhor Edinson Ramírez Orozco, e a Senhora Maria Antonieta “*La Chilindrina*” a quem expresse igualmente meus mais sinceros agradecimentos. Também contei com a ajuda da *Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC)*.

A minha amiga e colega de aventuras nos terrenos de xistos azuis, Thaís Hyppolito.

A Profa. Dra. Marion B.I. Weber Scharff da *Universidad Nacional de Colombia, Medellín*, pelos impecáveis e apropriados aportes em diferentes tópicos, principalmente relacionados à química mineral e metamorfismo.

Ao Prof. Dr. Eric J. Essene pela continua ajuda durante o desenvolvimento deste trabalho e pela ajuda na microsonda eletrônica da *University of Michigan*. Igualmente ao técnico Carl Henderson do *Electron Microbeam Analysis Laboratory (EMAL)* da *University of Michigan*, nos Estados Unidos.

Ao Prof. Dr. Martin Reich da *Universidad de Chile*, pela ajuda durante o período de permanência na cidade de *Ann Arbor* nos EUA.

Ao geólogo Pablo Castro, que perdeu dez dias de seu tempo comigo, procurando por um corpo de xistos azuis que **não** existe na região de Pijao, Quindío (Colômbia).

No departamento de Geologia da *Universidad Eafit*, agradeço o apoio das professoras Dra. Gloria Toro Villegas e MSc. Gloria Sierra Lopera e o diretor do departamento e professor MSc. Geovanny Bedoya Sanmiguel. Também os funcionários dos laboratórios de geologia Maria Isabel Acevedo e Wilton Echavarría. Com todos eles fico muito grato pela disposição de ajuda na hora de realizar o trabalho de campo e no tratamento das amostras.

Aos Professores Doutores do Instituto de Geociências Johann Hans Daniel Schorscher, Silvio Roberto Farias Vlach, Gergely Andrés Julio Szabó, Fábio Ramos Dias de Andrade, Cláudio Riccomini e Romalino dos Santos Fragoso César pela amizade e a ajuda constante no transcurso da pesquisa.

Aos funcionários do Instituto de Geociências, Ana Paula Cabanal, Magali Poli Fernandes Rizzo, Marcos Monsueto, Tadeu Caggiano, Henrique Martins e Angelica Dolores de Mello Morente.

Aos profissionais do Laboratório de Laminação do Instituto de Geociências, Cláudio Hopp, Luiz Mogueira, Paulo Molinaro e Paulo Morgato, devido à rapidez e ao trabalho de alta qualidade utilizado em todas as fases desta pesquisa.

Ao pessoal das tertúlias e colóquios, às vezes proscritos, Lucas Warren, Fernanda Quaglio, Marcelo Januario (geólogo da Bale), Marlei Chamani, Carlos Henrique Grohmann, Samar dos Santos Steiner, Letícia Constantino, Luis Fernando Roldan e todos aqueles que nos acodem para dispersar suas mentes da continua e inabalável perscruta geológica no *restaurant français "Franboix"*.

Ao Paul Duhart, amigo de varias aventuras e pela disposição em ajudar no geológico e no cotidiano.

Aos colegas Agustín Cardona, Marta Edith Velásquez e Alejandro Salazar e a minha amiga Arianna.

Ao colega Marcello Dias Fernandes.

Ao filósofo Vladimir de Oliva Mota sua esposa, a lingüista Christine Arndt e toda sua família, por serem os guias e anfitriões na linda cidade de Aracaju durante o XLIII Congresso Brasileiro de Geologia.

A minha esposa, Paula, por todo e por me agüentar e esperar por tanto tempo meus extensos trabalhos de campo e até a mudança de *cosmovisión* logo depois de visitar a região de Toribío e Jambaló, além da grande ajuda na parte gráfica da elaboração desta tese.

Tenho imensa gratidão com todas as pessoas que fazem da vida no Instituto de Geociências e no dia a dia uma boa razão para continuar compartilhando o devenir.

RESUMO

Apesar da importância das rochas da fácies xisto azul para o entendimento da dinâmica das zonas de subducção no passado, pouquíssimos estudos de mapeamento, geoquímica, geotermobarometria, geocronologia e de evolução tectônica têm sido feitos em rochas desse tipo na Colômbia.

Na Cordilheira Central dos Andes colombianos ocorrem duas unidades rochas de alta razão P/T, uma delas na região de Jambaló (Departamento de Cauca) e outra na região de Barragán (Departamento de Valle de Cauca).

Na região de Jambaló destaca-se a presença de lentes de xistos azuis em uma área constituída predominantemente por rochas da fácies xisto verde. Estas rochas representam núcleos preservados dos processos retrometamórficos que afetam as rochas de alta pressão durante a exumação. Os dados de geoquímica obtidos no conjunto de rochas de Jambaló indicam uma evolução dos protolitos a partir de rochas básicas e intermediárias de arcos de ilhas e de MORB. Usando o software TWQ 1.02, foram obtidos dados P e T que mostram uma forte descompressão acompanhada por quedas relativamente pequenas na temperatura para o as rochas da fácies xisto azul. A pressão tem uma variação entre ~14 e 7 kbar com uma diminuição da temperatura entre ~400 e 300 °C. Para as rochas da fácies xisto verde observa-se uma descompressão (8,2 – 6,6 kbar) seguida de um leve aquecimento (463 – 500 °C), possivelmente devido à sua colocação junto a lascas tectônicas aquecidas em zonas de cavalgamentos. O conjunto dos dados $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ mostram que o metamorfismo da fácies xisto azul de Jambaló têm idade predominante próxima de 63 Ma, com indicações de possíveis idades até mais antigas que 71 Ma, apesar do melhor intervalo situar-se entre 66 e 61 Ma (Maastrichtiano–Daniano). Isso posiciona a exumação dos xistos azuis de Jambaló no final do Cretáceo até o início do Terciário, pois considerando que foram datadas as principalmente paragonita e, subordinadamente fengita, associadas à foliação milonítica nas rochas da fácies xisto azul, a idade mínima do metamorfismo seria um pouco mais antiga e as idades obtidas representariam o evento de exumação, que tem relação direta com a geração de foliação milonítica.

Na região de Barragán é constituída por predominantemente xistos azuis e possíveis retro-eclogitos e a geoquímica caracteriza os protolitos das rochas da fácies xisto azul e anfibolito como formados em N-MORB. Os dados de geotermobarometria obtidos para o conjunto de rochas de Barragán indicam que as amostras pertencentes à fácies anfibolito sofreram uma forte descompressão (~15 – 9,2 kbar) seguida de um leve aumento na temperatura (639 – 665 °C) o que sugere que estas rochas tenham alcançado a fácies eclogito. As rochas da fácies xisto azul por sua parte, mostram uma leve queda na pressão (9,5 – 9,3 kbar) e uma leve queda na temperatura (399 – 397 °C), associada à transição das fácies xisto azul para xisto verde. A idade $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ obtida em um metapelito associado com os xistos azuis, apresentou uma idade de ~120 Ma, o que sugere que o metamorfismo na fácies xisto azul seja mais antigo (125 – 150 Ma) dependendo do modelo de geração e exumação que seja considerado.

Todo o conjunto de dados sugere duas coisas principais, a primeira que não há relação entre os xistos azuis e rochas associadas da região de Barragán e as de Jambaló e a segundo que pode ser considerado um modelo evolutivo de xistos azuis Andino, diferente aos modelos Franciscano e Alpino.

ABSTRACT

Despite the importance of the blueschist facies rocks to unravel the dynamic of subduction zones in the past, few detailed studies including mapping, geochemistry, geothermobarometry, geochronology and tectonic evolution has been made in rock with these characteristics in Colombia.

In Central Cordillera of the Colombian Andes are found two geologic units with rocks of high P/T ratio, one of them in Jambaló area (Cauca department,) and other in Barragán area (Valle de Cauca Department).

In Jambaló area crops out several lenses of blueschists in an area that consists predominantly of greenschist facies rocks. These rocks represent preserved cores of retrometamorphic processes that affect the rocks of high pressure during exhumation. Geochemical data obtained in Jambaló rocks, indicate a trend of protoliths varying from basic to intermediate rocks in a possible islands arc and MORB settings. Using software TWQ 1.02, were obtained data of P and T that show a strong decompression with relatively small decrease in temperature for the blueschist facies rocks. The pressure ranges between ~ 14 and 7 kbar with a decrease in temperature between 400 and ~ 300°C. For greenschist facies rocks of Jambaló the decompression (8.2 – 6.6 kbar) was followed by a slight temperature increasing (463–500°C), possibly due to the juxtaposition with hot tectonic slabs in thrusting zones. The $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ data shows that the blueschist facies rocks from Jambaló rocks have predominant metamorphism age close to 63 Ma, but are also indications of possible ages older than 71 Ma, despite the best interval is estimated between 66 and 61 Ma (Maastrichtian–Danian), corresponding to exhumation processes of blueschist facies rocks, because the dated micas (paragonite and phengite) was crystallized during the development of the mylonitic foliation.

In Barragán area, the geochemical data indicate that the protoliths of blueschist and amphibolite facies rocks correspond to N-MORB. Geothermobarometrical data indicate that the samples of amphibolites facies were affected by strong decompression (~ 15 to 9.2 kbar), followed by a slight increase in temperature (639 – 665 °C), which suggests that these rocks have reached eclogite facies. The blueschist facies rocks on its region, showed a slight pressure (9.5–9.3 kbar) and a slight temperature drops (399–397 °C), associated with the transition from blueschist to greenschist facies rocks. Geochronology by $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ method, obtained in a metapelite rock associated to the blueschist facies rocks, gives an age of ~ 120 Ma, which suggests that the metamorphism in blueschist facies is older (125–150 Ma) depending on the model of generation and exhumation considered.

The entire set of data suggests two important keys, the first that there are no relationship between blueschist and associated rocks from Barragán and Jambaló areas, and second that would be considered a model of Andean blueschist generation different to Franciscan and Alpine models.

ÍNDICE

	INTRODUÇÃO	1
1	LOCALIZAÇÃO E ACESSOS ÀS ÁREAS DE ESTUDO	3
2	OBJETIVOS	4
3	MATERIAIS E MÉTODOS	5
3.1	Levantamentos bibliográficos	5
3.2	Levantamentos de campo e amostragem	5
3.3	Petrografia	6
3.4	Química mineral	7
3.5	Geotermobarometria	7
3.6	Geoquímica de rochas	8
3.7	Geocronologia Ar–Ar e K–Ar	9
4	SÍNTESE BIBLIOGRÁFICA FUNDAMENTAL	11
4.1	Metamorfismo e Litotipos da Fácies Xisto Azul	11
4.2	Contexto Geológico e Tectônico da Cordilheira Central dos Andes Colombianos	13
4.3	Metamorfismo na Cordilheira Central dos Andes Colombianos	14
4.4	Geologia das Áreas de Estudo	19
5	DESCRIÇÃO DOS PERFIS DA REGIÃO DE JAMBALÓ	22
5.1	Resguardo de Tacueyó	22
5.1.1	<i>Balastrea La Luz</i>	22
5.1.2	<i>Córrego San Diego ou El Barrial</i>	22
5.1.3	<i>Mina La Manuela setor La Calera</i>	23
5.2	Resguardo de Toribío	23
5.2.1	<i>Córrego Vichiquí</i>	24
5.3	Resguardo de San Francisco	24
5.3.1	<i>Córrego Elasio</i>	24
5.3.2	<i>Córrego Río Chiquito</i>	24
5.3.3	<i>Córrego Flayó</i>	24
5.3.4	<i>Córrego La Primicia</i>	25
5.3.5	<i>Córrego Quinamayó</i>	25
5.4	Resguardo de Jambaló	25
5.4.1	<i>Córrego El Asio</i>	26
5.4.2	<i>Córrego Muñoz</i>	26
5.4.3	<i>Córrego Cansa Bobos</i>	26
5.4.4	<i>Córrego Calambaz</i>	27
5.4.5	<i>Estrada Jambaló – San Francisco</i>	27
6	PETROGRAFIA MICROSCÓPICA	28
6.1	Mica-glaucofânio xistos e glaucofânio micaxistos	28
6.2	Clorita-plagioclásio xistos	34
6.3	Mármore	39
6.4	Quartzitos milonitizados	41
6.5	Epidositos	44
6.6	Estilpnomelano-muscovita-albita-anfibólio-quartzo xisto	46
6.7	Keratófiros	49
6.8	Metaultramáficas	51
6.9	Quartzo-monzonito	51
7	DESCRIÇÃO DOS PERFIS DA REGIÃO DE BARRAGÁN	55
7.1	<i>Estrada Barragán – Santa Lucía</i>	55
7.2	<i>Estrada Barragán – Tuluá</i>	55
7.3	<i>Estrada Barragán – Cumbarco</i>	56
8	PETROGRAFIA MICROSCÓPICA	57
8.1	Rochas na fácies xisto azul	57
8.2	Rochas na fácies anfíbolito	62
8.3	Serpentinitos	68

8.4	Grafita-clorita-muscovita-quartzo xistos	69
8.5	Protocataclasitos	71
8.6	Grafita-clorita-andaluzita-andesina-granada-muscovita xisto com titanita	71
9	QUÍMICA MINERAL DA REGIÃO DE JAMBALÓ	76
9.1	Rochas da fácies xisto azul	76
9.1.1	<i>Anfibólio sódico</i>	76
9.1.2	<i>Granada</i>	81
9.1.3	<i>Mica branca</i>	83
9.1.4	<i>Clorita</i>	86
9.1.5	<i>Minerais do grupo do epidoto</i>	88
9.1.6	<i>Plagioclásio</i>	89
9.1.7	<i>Carbonato</i>	89
9.1.8	<i>Titanita</i>	90
9.2	Rochas da fácies xisto verde	90
9.2.1	<i>Anfibólio</i>	90
9.2.2	<i>Granada</i>	92
9.2.3	<i>Clorita</i>	93
9.2.4	<i>Mica branca</i>	93
9.2.5	<i>Plagioclásio</i>	95
9.2.6	<i>Rutilo e titanita</i>	95
9.2.7	<i>Epidoto</i>	96
9.2.8	<i>Estilpnomelano</i>	96
10	QUÍMICA MINERAL DA REGIÃO DE BARRAGÁN	97
10.1	Rochas da Fácies Xisto Azul	97
10.1.1	<i>Anfibólio sódico</i>	97
10.1.2	<i>Pumpellyita</i>	100
10.1.3	<i>Clorita</i>	101
10.1.4	<i>Lawsonita</i>	102
10.1.5	<i>Titanita e rutilo</i>	102
10.1.6	<i>Carbonato</i>	102
10.1.7	<i>Minerais do grupo do epidoto</i>	102
10.1.8	<i>Mica Branca</i>	102
10.1.9	<i>Plagioclásio</i>	103
10.2	Rochas da fácies anfibolito	104
10.2.1	<i>Anfibólio</i>	104
10.2.2	<i>Granada</i>	107
10.2.3	<i>Plagioclásio</i>	111
10.2.4	<i>Minerais do grupo do epidoto</i>	111
10.2.5	<i>Clorita</i>	112
10.2.6	<i>Titanita e rutilo</i>	112
11	GEOTERMOBAROMETRIA: Conceitos, calibrações e aplicações	113
11.1	Geotermobarômetros internamente consistentes	115
11.2	Cálculos da região de Jambaló	116
11.3	Cálculos da região de Barragán	123
12	GEOQUÍMICA DA REGIÃO DE JAMBALÓ	131
13	GEOQUÍMICA DA REGIÃO DE BARRAGÁN	144
14	GEOCRONOLOGIA ⁴⁰AR/³⁹AR DA REGIÃO DE JAMBALÓ	154
15	GEOCRONOLOGIA ⁴⁰AR/³⁹AR DA REGIÃO DE BARRAGÁN	160
16	DISCUSSÃO E CONCLUSÕES DO METAMORFISMO DAS ÁREAS DE ESTUDO	162
16.1	Jambaló	162
16.2	Barragán	167
	Referências bibliográficas	170
	FIGURAS	
1.1	<i>Localização e vias de acesso na área de Barragán.</i>	3

Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

