



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA

---

**TESE DE DOUTORADO**

**HIDROGEOQUÍMICA DO BAIXO E MÉDIO RIO  
MADEIRA E DE SEUS PRINCIPAIS TRIBUTÁRIOS,  
AMAZONAS – BRASIL**

**Tese apresentada por:**

**MARIA MIREIDE ANDRADE QUEIROZ**

**Orientadora: Profa. Dra. Adriana Maria Coimbra Horbe (UFAM)**

**Coorientador: Prof. Dr. Candido Augusto Veloso Moura (UFPA)**

---

Belém  
2011

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

---

Q3h Queiroz, Maria Mireide Andrade

Hidroggeoquímica do baixo e médio rio Madeira e de seus principais tributários, Amazonas – Brasil / Maria Mireide Andrade Queiroz; Orientador: Adriana Maria Coimbra Horbe – 2011  
xv, 101 f.: il.

Tese (Doutorado em Geoquímica) – Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2011.

1. Sedimentos dissolvidos. 2. Sedimentos em suspensão. 3. Sedimento de fundo. 4. Isótopos de Sr-Pb. 5. Rio Madeira (AM). I. Horbe, Adriana Maria Coimbra, *orient.* II. Universidade Federal do Pará. III. Título.

CDD 22° ed.:551.304098113

---



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**  
**Instituto de Geociências**  
**Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica**

## **HIDROGEOQUÍMICA DO BAIXO E MÉDIO RIO MADEIRA E DE SEUS PRINCIPAIS TRIBUTÁRIOS, AMAZONAS – BRASIL**

TESE APRESENTADA POR:

**MARIA MIREIDE ANDRADE QUEIROZ**

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

Data da defesa: 30/08/2011.

Banca Examinadora:

Prof.ª ADRIANA MARIA COIMBRA HORBE  
(Orientadora/UFAM)

Prof. JEAN LOUIS GUYOT  
(Membro/IRD-UnB)

Prof. DANIEL MARCOS BONOTTO  
(Membro/UNESP)

Prof. JEAN-MICHEL LAFON  
(Membro/UFPA)

Prof. MARCO ANTONIO GALARZA TORO  
(Membro/UFPA)

*Dedicado aos meus pais, meus irmãos,  
sobrinhos e amigos pelo incentivo para a  
realização desta tese.*

## AGRADECIMENTOS

À Deus por me guiar nas estradas da vida;

À Profa. Dra. Adriana M. Coimbe Horbe (IG/UFAM), pela orientação, revisões, paciência imprescindível para desenvolvimento desta tese;

À Companhia de Desenvolvimento de Recursos Hídricos (COHIDRO), pelo apoio logístico nas etapas de coleta de campo;

A todos que contribuíram direta e indiretamente para realização deste trabalho, em especial: A Universidade Federal do Para (UFPA), Instituto de Geociências (IG), através do Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica (PPGG), pela infra-estrutura prestada;

Ao CNPq pela concessão de bolsa de estudo;

À Universidade Federal do Amazonas (UFAM), através do Departamento Geociências (DEGEO), pelo suporte laboratorial;

Ao pesquisador Dr. Candido Augusto V. Moura, pela co-orientação;

As amigas Rose Brabo, Elma Oliveira, Etiana Oliveira e Iza do Laboratório de Geologia Isotópica da UFPA por todo o apoio e pelo coleguismo durante parte deste trabalho;

Ao Laboratório de Geologia Isotópica da Universidade Federal do Pará, pela disposição nas análises isotópicas.

*“Se consegui ver mais adiante é por que  
me apoiei em ombros de gigantes.”*  
Isaac Newton.

## RESUMO

Este trabalho enfoca o estudo das águas e dos sedimentos do rio Madeira e de seus afluentes entre Porto Velho e sua foz no Amazonas, NE do Amazonas, com o objetivo de avaliar a variação composicional das águas e dos sedimentos transportados pelos grandes rios da Amazônia e determinar a influência do ambiente tropical da Amazônia e da diversidade geológica. Nas águas foram analisados os íons maiores, os elementos traços, incluindo os ETR e isótopos de Sr, em três períodos hidrológicos, vazante, cheia e transição para a vazante entre 2009 e 2010. Nos sedimentos foi realizado o estudo com base em análises granulométricas, mineralógicas e químicas, incluindo isótopos de Pb. Constatou-se que há um controle do ciclo hidrológico na química das águas, mas que atua de modo diferenciado segundo a ordem de grandeza dos elementos dissolvidos. Tanto na água do rio Madeira como na dos tributários a maioria dos elementos traços têm maior diluição na cheia, enquanto para os ETR isso ocorre na vazante, assim como a razão isotópica do Sr é menor também nesse período. Há influência da vegetação bem como da geologia na química das águas bem evidente na diferença entre a composição química das águas do rio Madeira proveniente dos Andes e a dos tributários provenientes do ambiente cratônico estável do sul da Amazônia. O conjunto de dados mostra que os sedimentos de fundo do rio Madeira têm granulometria, mineralogia e química distintas de seus principais tributários. Os sedimentos do rio Madeira são mais arenosos, têm maior quantidade de quartzo, menor conteúdo de  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $K_2O$ ,  $MgO$ ,  $Na_2O$ ,  $TiO_2$ ,  $P_2O_5$ ,  $MnO$  e elementos-traço, e a maturidade aumenta de montante para jusante. Dentre os sedimentos dos tributários, os rios Machado e, secundariamente o rio Marmelos, são os que mais se aproximam da composição dos sedimentos do rio Madeira, enquanto os sedimentos do Jamari, com maior proporção de  $TiO_2$ , Zr, Y, Nb, Ga, Hf, U, Ta e ETR é o mais distinto. Apesar do ambiente de intenso intemperismo e erosão, em condições tropicais úmidas, a que estão submetidas as rochas drenadas pela bacia do rio Madeira, os valores das razões Th/Co, Th/Pb, Th/Yb, Al/Pb, Zr/Co e a composição isotópica de Pb indicam fontes distintas para os sedimentos de fundo estudados. Os sedimentos do rio Madeira seriam provenientes, principalmente, de rochas máficas enquanto que os sedimentos de seus tributários teriam como fonte essencialmente rochas félsicas.

Palavras-Chave: Rio Madeira, composição química, sedimentos dissolvidos, sedimentos em suspensão, sedimento de fundo e isótopos de Sr-Pb.

## ABSTRACT

The present work addresses the Madeira River along with its effluents' waters and sediments, from the city of Porto Velho right down its mouth into the Amazonas river, aiming to determine the compositional and mineralogical influence brought about by sediments carried by the large Amazonian rivers with headwaters, in the Andes, originating from cratonic rocks. Major ions, trace elements, including REEs, and Sr isotopes were analyzed in the waters during three hydrological periods, low water, high water and transition, between 2009 and 2010. On sediments we carried out a study based on granulometric, mineralogical, chemical, including Pb isotop, analyses. There is an apparent hydrological cycle control on the chemistry of the waters, yet it acts in a differentiated mode according to the dissolved element order of greatness, since in both the Madeira river and its tributaries water, most trace elements present greater dilution in high water, whereas for REEs, this occurs in low water, along with the Sr isotopic ratio showing to be lower in the latter. There is influence of both vegetation and geology on the chemistry of the waters, which becomes quite evident in the difference between the Madeira river water, originating from the Andes, and that of its tributaries originating from the southern Amazonian stable cratonic environment, presenting low erosive capacity, therefore generating more diluted waters. Data shows the Madeira River's bed sediments to be granulometric, mineralogical and chemically distinct from those of its main affluents. Madeira River sediments are sandier, present larger quantity of quartz, lower content of  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{MnO}$  and trace elements, and their maturity increases downriver. Among tributary sediments, those from the Machado and then Marmelos Rivers are the ones showing to be closer to Madeira River's sediment composition, while Jamari sediments, with higher  $\text{TiO}_2$ , Zr, Y, Nb, Ga, Hf, U, Ta and REE are the most distinct ones. Despite the intensive weathering and erosion environment, in the humid tropical conditions, to which rocks drained by Madeira River basin, are submitted to, Th/Co, Th/Pb, Th/Yb, Al/Pb, Zr/Co ratios and Pb isotopic composition values indicate distinct sources for the studied sediments. Madeira River sediments would originate mainly from mafic rocks, while those from its tributaries would essentially have felsic rocks as their source.

**Keywords:** Madeira River, dissolved sediments, suspended sediments, bed sediments and Sr-Pb isotopes.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA

## PARECER

### Sobre a Defesa Pública da Tese de Doutorado de MARIA MIREIDE ANDRADE QUEIROZ

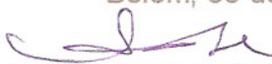
A banca examinadora da tese de doutorado de MARIA MIREIDE ANDRADE QUEIROZ intitulada “HIDROGEOQUÍMICA DO BAIXO E MÉDIO RIO MADEIRA E DE SEUS PRINCIPAIS TRIBUTÁRIOS, AMAZONAS BRASIL”, composta pelos Professores Doutores **Adriana Maria Coimbra Horbe** (Orientadora-UFAM), **Daniel Marcos Bonotto** (UNESP), **Jean Michel Lafon** (UFPA), **Jean Louis Guyot** (IRD-UnB), **Marco Antonio Galarza Toro** (UFPA) após a apresentação oral e arguição da candidata, emite o seguinte parecer:

A candidata fez uma apresentação pública do conteúdo do seu trabalho de forma adequada. Na arguição ela respondeu aos questionamentos feitos pelos membros da banca examinadora.

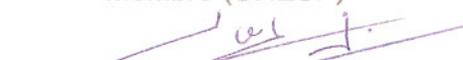
O documento foi elaborado na forma de agregação de três artigos científicos, sendo dois submetidos a revistas nacionais e um a periódico especializado no exterior. A banca identificou alguns problemas que devem ser corrigidos durante a revisão dos artigos correspondentes.

Com base no exposto, a banca examinadora, considera a candidata aprovada.

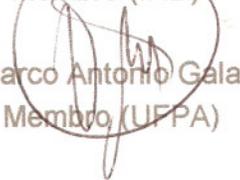
Belém, 30 de agosto de 2011.

  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Adriana Maria Coimbra Horbe  
Membro (Orientadora-UFAM)

  
Prof. Dr. Daniel Marcos Bonotto  
Membro (UNESP)

  
Prof. Dr. Jean Michel Lafon  
Membro (UFPA)

  
Prof. Dr. Jean Louis Guyot  
Membro (IRD)

  
Prof. Dr. Marco Antonio Galarza Toro  
Membro (UFPA)