



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

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 502

**PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DE FORMAÇÕES
FERRÍFERAS BANDADAS E A GÊNESE DE CAVERNAS DA
SERRA NORTE, CARAJÁS, PARÁ**

Dissertação apresentada por:

SORAIA DA SILVA ABREU

Orientador: Prof. Dr. Moacir José Buenano Macambira (UFPA)

Coorientador: Prof. Dr. Joel Buenano Macambira (UFPA)

**BELÉM
2017**

Dados Internacionais de Catalogação de Publicação (CIP)
Biblioteca do Instituto de Geociências/SIBI/UFPA

Abreu, Soraia da Silva, 1990-
Petrografia e geoquímica de formações ferríferas bandadas e a
gênese de cavernas da Serra Norte, Carajás, Pará / Soraia da Silva
Abreu. – 2017.

xi, 60 f. : il. ; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientador: Moacir José Buenano Macambira

Coorientador: Joel Buenano Macambira

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará,
Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia
e Geoquímica, Belém, 2017.

1. Cavernas – Carajás, Serra dos (PA). 2. Formações
(Geologia) - Carajás, Serra dos (PA). 3. Minérios de ferro –
Carajás, Serra dos (PA). 4. Intemperismo – Carajás, Serra dos
(PA). I. Título.

CDD 22. ed. 551.447098115



Universidade Federal do Pará
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DE FORMAÇÕES
FERRÍFERAS BANDADAS E A GÊNESE DE CAVERNAS DA
SERRA NORTE, CARAJÁS, PARÁ**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR

SORAIA DA SILVA ABREU

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

Data de Aprovação: 22 / 05 / 2017

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Moacir José Buenano Macambira
Orientador-UFPA

Prof. Dr. Basile Kotschoubey
Membro-UFPA

Prof. Dr. Rômulo Simões Angélica
Membro-UFPA

*Ao Deus da minha Salvação, à minha mãe,
Daurilene Oliveira e meu esposo Douglas Martins.*

AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus, que tem me alcançado com sua graça e misericórdia e que tornou todos os meus sonhos em realidade. Deus é fiel e poderoso!

À minha mãe, Daurilene Oliveira, meu maior exemplo de vida, que sem dúvida foi minha principal motivadora a nunca desistir de lutar pelos meus sonhos. Ao meu pai Luíz Abreu que também foi fundamental para que eu chegasse até aqui. À minha família, minha irmã Carla, meus irmãos Ismael, Sorato e João Luiz por sempre ter acreditado na minha capacidade e me incentivado nos momentos de luta.

Ao meu esposo Douglas Martins, apoio sempre presente nas horas mais difíceis da minha vida acadêmica, obrigada amor por toda paciência e compreensão nos meus dias de ausência, por sempre acreditar que tudo daria certo, por confiar e me motivar sempre.

A minha amiga Érica Cabral, parceira de pesquisa, que entendia perfeitamente todas as minhas crises por ter vivido a mesma experiência. Agradeço a Ádrian Gomes, mais que amiga, sempre me apoiando e torcendo para que tudo desse certo na minha caminhada. À amiga Marcela Santos, parceira de vida e de profissão.

Há pessoas que mesmo estando longe conseguem nos dar apoio incondicional, é o caso da minha amiga-irmã Ádria Patrícia, minha conselheira, psicóloga e intercessora, obrigada por cada palavra, oração e paciência amiga.

Ao amigo e professor Antônio Emídio, aquele que acreditou em mim incondicionalmente e confiou no meu trabalho.

Ao meu Orientador Moacir Macambira, por todas as discussões e conhecimento compartilhado.

Ao meu Co-Orientador Joel Macambira, homem sábio e humilde que sempre compartilhou seu conhecimento com muita paciência e entusiasmo.

À gestora do PROCAV, Daniele Gonçalves, que teve grande sabedoria ao conduzir esse projeto, obrigada pela oportunidade de aprender com você, te admiro muito.

Aos geólogos da Vale, Carlos Teles e Rafael Guimarães, pelo auxílio nas etapas de campo.

Agradeço à Universidade Federal do Pará, ao programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica pela infra-estrutura oferecida para realização do trabalho.

À todos os estudantes, professores, consultores e colaboradores do projeto PROCAV, em especial à empresa Vale S. A., pelo apoio financeiro em todas as etapas do projeto e pela concessão de minha bolsa de mestrado, assim como também agradeço à CAPES pela fornecimento de bolsa no último ano da pesquisa.

RESUMO

Atualmente, o número de cavernas em formações ferríferas conhecidas no Brasil ultrapassa quatro mil. No entanto, o número de trabalhos de pesquisas sobre o assunto ainda está reduzido, principalmente com relação à gênese dessas cavernas, logo, o conhecimento ainda está pouco avançado. Este trabalho objetiva entender os processos responsáveis pela formação das cavernas desenvolvidas em jaspilitos e minério de ferro da Formação Carajás, no platô N4, na Unidade Espeleológica de Carajás, além de posicionar a formação das cavernas na evolução do relevo e do minério. O estudo se baseou em análises petrográficas e geoquímicas do jaspilito apresentando variados graus de alteração intempérica, com o objetivo de entender a evolução mineralógica, textural e geoquímica dessas rochas divididas em quatro subgrupos: A) Jaspilito Fresco (JF); B) Jaspilito Pouco Alterado (JPA); C) Jaspilito Muito Alterado (JMA) e D) Minério de Ferro (MN). Essas análises foram fundamentais para o entendimento dos processos de remoção da sílica, bem como do enriquecimento em ferro no perfil de alteração. A principal característica petrográfica do JF é a presença de minerais opacos como a hematita-1, magnetita e rara maghemita, além dos minerais silicosos como o jaspe e o *chert*. O JF não apresenta sinais de dissolução de sílica e o bandamento encontra-se preservado. O JPA é caracterizado pelo aparecimento de minerais secundários como a goethita e hematita-2, há sinais de dissolução da sílica evidenciados pela presença de microcavidades de dissolução. No JMA os cristais de magnetita encontram-se totalmente substituídos pela hematita-2, e há hematita-3 em poucas ocorrências; cavidades de dissolução são mais abundantes nesse litotipo. O MN é a categoria com maiores sinais de alteração intempérica, caracterizado pela presença marcante de hematita-3 e quase nenhuma sílica, logo, o acamamento é praticamente ausente. As análises químicas concordam com a petrografia. Fe e Si no JF somam mais de 98% do total, com teor de SiO₂ variando de 42,61 a 62,51 % e o de Fe₂O_{3t} de 35,92 a 56,48 %. Por outro lado, no MN verificou-se grande perda de SiO₂ cujo teor varia de 2,75 a 0,51 % e de Fe₂O_{3t} com teor significativamente maior, variando de 94,35 a 97,71%. Os elementos-traço demonstram leve diminuição de teor do JF ao MN, indicando uma mobilidade notável desses elementos no perfil de alteração, com exceção de Zn e Pb, que apresentam pequeno aumento de teor. No JF, a média de \sum ETR é de 6,7 ppm, passando para 15,2 ppm no MN, demonstrando maior concentração desses elementos no topo do perfil de alteração. A gênese das cavernas estudadas esteve inicialmente relacionada aos processos químicos de dissolução e lixiviação da sílica. Essa dissolução foi ocasionada pela infiltração de fluidos de origem meteórica, os quais percolaram

preferencialmente nos planos de acamamento silicosos do jaspilito por serem mais vulneráveis à dissolução. Posteriormente, processos de erosão em sub-superfície aceleraram a redução de volume, com abatimentos do material residual e consequente formação das cavernas. Os fenômenos que atuaram na formação das cavernas são os mesmos que condicionaram a formação do minério friável, pois à medida que a sílica era lixiviada formando as microcavidades de dissolução, o ferro (Fe_2O_3) era relativamente concentrado, chegando a um teor de até 97%. Os dados químicos, mineralógicas e texturais indicam que os fluidos que transformaram o JF em MN e, paralelamente geraram as cavernas, são de origem meteórica. A dissolução não foi o único fenômeno que atuou no processo, outros fatores também tiveram um papel importante no processo, em particular no controle da percolação e da migração das águas meteóricas para canais preferenciais de dissolução e erosão, a saber, fatores estruturais, hidrológicos, litoestratigráficos, abatimento e rocha selante.

Palavras chave: cavernas; formação ferrífera; minério de ferro; intemperismo; Carajás.

ABSTRACT

Currently, the number of rocky caves in Brazil exceeds four thousand. However, the number of researches on this subject is still low, mainly with respect to the caves genesis. Consequently, the knowledge about the subject is still little developed. This research aims to understand the main factors responsible for the formation of caves associated with Jaspilite in N4 plateau, at Carajás Speleological Unit, and additionally positioning the formation of the caves in the evolution of the relief and the ore. The research was based on petrographic and geochemical analyses of Jaspilite with varying degree of weathering, seeking to understand the mineralogical, textural and geochemical evolution in four subgroups: A) Fresh Jaspilite (JF); B) Little Altered Jaspilite (JPA); C) Very Altered Jaspilite (JMA) and D) Iron Ore (MN). These analyses were fundamental to understand silica removal processes, as well as iron enrichment in the alteration profile. The main petrographic feature of the Fresh Jaspilite is the minerals components consisting mainly of hematite-1, magnetite and rare maghemite, in addition to silica minerals such as jasper and chert; Fresh Jaspilite shows no signs of dissolution of the silica and the rock banding is preserved. The Little Altered Jaspilite is characterized by the appearance of secondary minerals, such as goethite and hematite-2; there are signs of dissolution of the silica evidenced by the presence of micro-dissolution cavities. In the Very Altered Jaspilite, magnetite crystals are totally replaced by secondary minerals of hematite-2, and hematite-3 in low occurrences; dissolution cavities are more abundant in this lithotype. The Iron Ore represents the most advanced stage of weathering, characterized by the marked presence of hematite-3 and practically no silica; as a consequence, the banding is practically absent. Chemical analyses are totally in agreement with the petrography. Fe and Si in Fresh Jaspilite account for more than 98% of the total, with SiO₂ content ranging from 42.61 to 62.51% and Fe₂O_{3t} from 35.92 to 56.48%. Whereas in Iron Ore there was a great loss of SiO₂ with a variation of 2.75 to 0.51% and Fe₂O_{3t} with a significantly high content ranging from 94.35 to 97.71%. In relation to the trace elements, they show a slight decrease in Fresh Jaspilite to the Iron Ore, indicating the mobility of these elements in the alteration profile, with the exception of Zn and Pb, which showed a small decrease in the content towards the alteration products. In the Fresh Jaspilite, the mean of Σ ETR is 6.7 ppm, passing to 15.2 ppm in Iron Ore, demonstrating the concentration of these elements to the top of the alteration profile. The genesis of the study caves is initially related to chemical processes of dissolution and leaching of silica. This dissolution is caused by the percolation of fluids of meteoric origin, channeled through the jaspilite banding itself, together with the inclination of

the layers, which served as preferred paths for these solutions. Subsequently, erosion processes in sub-surface accelerated the reduction of volume, with collapse of the residual material and consequent formation of the caves. The initial processes that acted in the formation of the caves are the same ones that conditioned the formation of the friable ore, because as the silica is leached forming the micro-dissolution wells, the iron (Fe_2O_3) is relatively concentrated, reaching a content up to 97%. The chemical, mineralogical and textural evidences indicate that the fluids that transformed the Fresh Jaspilite in Iron Ore and, in parallel generated the caves, are of meteoric origin. The dissolution does not act alone, other factors also collaborate, channeling meteoric water to preferential channels of dissolution and erosion, as examples: structural, hydrological, lithostratigraphic factors, abatement and sealant rock.

Keywords: caves; Iron formation; iron ore; Weathering; Carajás.