



Universidade Federal do Pará
Centro de Geociências
Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

TESE DE DOUTORADO

**ANÁLISE INTEGRADA DOS DEPÓSITOS DE CAULIM NA REGIÃO DO RIO CAPIM:
FÁCIES, ESTRATIGRAFIA, PETROGRAFIA E ISÓTOPOS ESTÁVEIS.**

Tese apresentada por:
Antônio Emídio de Araújo Santos Júnior

Belém
2006

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação(CIP)
Biblioteca Geól. Rdº Montenegro G. de Montalvão

Santos Júnior, Antônio Emídio de Araújo

Análise integrada dos depósitos de caulim na região do rio Capim: fácies, estratigrafia, petrografia e isótopos estáveis. / Antônio Emídio de Araújo Santos Júnior; Orientador, Dilce de Fátima Rossetti. – 2006

117 f. : il

Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade Federal do Pará, CG, Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2006.

1. Caulim. 2. Formação Ipixuna. 3. Sub-bacia de Cametá. 4. Fácies sedimentares. 5. Petrografia. 6. Isótopos estáveis. 7. Rio Capim (Pa). I. Universidade Federal do Pará. II. Rossetti, Dilce de Fátima, Orient. III. Murray, Haydn H., Co-orient. IV. Título.

CDD 20. ed.: 553.61098115



Universidade Federal do Pará
Centro de Geociências
Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**ANÁLISE INTEGRADA DE DEPÓSITOS DE CAULIM NA REGIÃO DO RIO
CAPIM: FÁCIES, ESTRATIGRAFIA, PETROGRAFIA E ISÓTOPOS
ESTÁVEIS.**

TESE APRESENTADA POR

ANTÔNIO EMÍDIO DE ARAÚJO SANTOS JR

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Doutor em
Ciências na Área de GEOLOGIA

Data de Aprovação: **29/09/2006**

Comitê de Tese

DILCE DE FÁTIMA ROSSETTI (Orientador)

ALCIDES NÓBREGA SIAL

VALDEREZ PINTO FERREIRA

BASILE KOTSCHOUBEY

WERNER TRUCKENBRODT

Belém

RESUMO

Os depósitos de caulim que ocorrem na porção média do Rio Capim, leste da Sub-Bacia de Cameta, inserem-se na Formação Ipixuna, de idade cretácea superior, a qual se destaca por apresentar uma das maiores concentrações mundiais de caulim de excelente qualidade para a indústria de celulose. Um grande volume de trabalhos acadêmicos com enfoque geoquímico foi conduzido nestes depósitos, porém sem levar em consideração os aspectos faciológicos e estratigráficos, que são relevantes para entender sua origem e ocorrência. Somente recentemente, trabalhos sedimentológicos e estratigráficos mais detalhados destes depósitos de caulim foram apresentados, o que gerou uma série de novas considerações a respeito dos paleoambientes de deposição. Este tipo de estudo despertou interesse para se conduzir uma investigação integrada considerando-se aspectos sedimentológicos, estratigráficos, petrográficos e isótopos estáveis de hidrogênio e oxigênio, a fim de discutir os processos geológicos que podem ter influenciado na origem e evolução dos depósitos de caulim *soft e semi-flint* da Formação Ipixuna.

A análise sedimentológica e estratigráfica apresentada neste estudo teve caráter complementar a investigações anteriores, tomando-se por base a presença de novas exposições ao longo das frentes de lavra que disponibilizaram novas informações importantes ao entendimento dos ambientes de deposição. Assim, a porção inferior da Formação Ipixuna caracteriza-se por uma unidade de caulim do tipo *soft*, o qual por apresentar-se com preservação das estruturas primárias, possibilitou melhor entendimento dos processos de sedimentação. Estes depósitos incluem principalmente arenitos e argilitos caulinizados formados em ambientes de canal de maré influenciado por sistema fluvial (associação de fácies A), canal de maré (associação de fácies B), planície de maré/mangue (associação de fácies C), e barra/planície de areia dominada por maré (associação de fácies D). Estes depósitos são atribuídos a sistema estuarino do tipo dominado por maré. A unidade superior, conhecida como semi-flint, é predominantemente maciça, porém um estudo em paralelo conduzido durante o desenvolvimento desta tese revelou a presença de lobos deltaicos e canais distributários.

O estudo petrográfico e de microscopia eletrônica de varredura nos depósitos estudados levou à melhor caracterização textural dos tipos de caulinita presentes nas unidades de kaolin *soft* e *semi-flint*. Apesar da composição original fortemente modificada destes depósitos, informações ópticas revelaram inúmeras feições reliquias distintas. Os depósitos de caulim *soft* são

caracterizados por arenitos quartzosos caulinizados e pelitos laminados ou maciços, os quais são compostos por fragmentos líticos de rochas meta-vulcânicas e vulcânicas félsicas, bem como rochas metamórficas e graníticas. Estas litologias foram fortemente modificadas durante o processo de caulinização da Formação Ipixuna, processo que teria obliterado a composição primária dos grãos do arcabouço. Durante este processo, três tipos principais de caulinita foram geradas, definidas com base no tamanho e textura como Ka, Kb e Kc. A caulinita Ka ocorre predominantemente associada aos arenitos caulinizados, sendo caracterizada por cristais pseudo-hexagonais a hexagonais, com diâmetros de 10-30 μm , podendo ocorrer na forma de aglomerados formando “livretos” (*booklets*) ou sob forma vermicular contendo até 400 μm de comprimento. A caulinita Kb ocorre predominantemente nos pelitos, consistindo de cristais pseudo-hexagonais a hexagonais de 1-3 μm de diâmetro, ocorrendo na forma isolada, formando intercrescimentos dos tipos caótico, face-a-face, paralelo a pseudo-paralelo. A caulinita Kc ocorre como cristais pseudo-hexagonais a hexagonais com diâmetros regulares de 200 nm. Sua distribuição é dispersa ao longo da unidade de caulim *soft*, aumentando em abundância em níveis de paleossolo que ocorre no topo da unidade. Os depósitos de caulim *semi-flint* são constituídos principalmente de grãos retrabalhados dos depósitos de caulim *soft* e grãos provenientes de rocha-fontes metamórficas e graníticas. As caulinitas da unidade de *semi-flint* são predominantemente representadas por caulinita Kc, gerada principalmente durante intemperismo pretérito.

As integração de estudos faciológicos, estratigráficos, ópticos e isótopos estáveis de deutério (δD) e oxigênio ($\delta^{18}\text{O}$) dos depósitos de caulim do Rio Capim permitiu melhor entender a gênese e evolução dos tipos de caulinita Ka+Kb e Kc. Os depósitos de caulim *soft* apresentam valores de $\delta^{18}\text{O}$ variando de 6,04‰ a 19,18‰ nas caulinitas Ka e Kb, e de 15,38‰ a 24,86‰ nas caulinitas Kc. Os valores de δD variam de -63,06‰ a 79,46‰, e de -68,85‰ a -244,35‰, respectivamente. Os depósitos de caulim *semi-flint* são caracterizados por valores isotópicos de $\delta^{18}\text{O}$ e δD entre 15,08‰ e 21,77‰, e -71,31‰ e -87,37‰, respectivamente. Baseando-se nestes dados e na composição isotópica da água meteórica e de sub-superfície, foi possível concluir que as caulinitas não se formaram em equilíbrio com as condições intempéricas atuais, e sim representam a composição isotópica de seu tempo de formação, podendo refletir contaminações mineralógicas proveniente da substituição parcial e/ou total dos grãos originais do arcabouço. Os valores isotópicos das caulinita do tipo Kc da unidade de *semi-flint* são amplamente variáveis em

decorrência da variedade de fontes, incluindo caulinitas retrabalhadas dos depósitos subjacentes de caulim *soft*, bem como caulinitas formadas durante diferentes fases de intemperismo, além de fases tardias de caulinita geradas ao longo de fraturas.

ABSTRACT

The kaolin deposits that occur in the Rio Capim area, east of Cametá Sub-Basin, are inserted in the Ipixuna Formation. This unit distinguishes for presenting one of the largest worldwide kaolin concentrations of excellent quality to the cellulose industry. Beyond the economic character, a great volume of academic works focusing these kaolin deposits had led to pedological and geochemical approaches, but without taking into account their sedimentologic aspects, which are important to understand their genesis. Detailed sedimentologic and stratigraphic studies of the Rio Capim kaolin have been increasingly carried out in the last years, which led to the paleoenvironmental interpretations for the Ipixuna Formation, as well as to discuss better the mode of formation of the soft and semi-flint kaolin units that are typical of this unit. These works served to motivate the integration of sedimentologic and stratigraphic data with optical studies combined with hydrogen and oxygen isotope geochemistry in order to discuss the geologic processes involved in the origin and evolution of the soft and semi-flint kaolin units. The sedimentological analysis consisted in a more detailed facies description and stratigraphic analysis of newly open quarries that were not available during previous investigations. The additional exposures led to a better characterization of the lower kaolin unit, known as the “soft kaolin”, which is well stratified, favoring facies analysis. Hence, the soft kaolin unit consists of kaolinitized sandstones and kaolinitized pelites that were formed in tidally influenced fluvial channels (Facies Association A), tidal channel (Facies Association B), tidal flat/mangrove (Facies Association C), and tidal sand bar/tidal sandy flat (Facies Association D). These depositional environments are attributed to a tide-dominated estuarine system.

Petrographic studies and scanning electronic microscopy (SEM) of the kaolin deposits in the study area had their composition was strongly modified after sedimentation. The soft kaolin consists of kaolinitized quartz sandstone and either laminated or massive pelites, which are composed by fragments of meta-volcanic lithic and volcanic felsic rocks, as well as metamorphic and granitics rocks. These lithologies were strongly modified during kaolinitization, as revealed by the intense replacement of the framework grains by kaolinite of three types, named herein as Ka, Kb and Kc kaolinites. Ka kaolinite occurs dominantly associated with kaolinitized sandstones, being characterized by pseudo-hexagonal crystals 10-30 μm in diameter, which are organized as booklets or vermicular forms that reach up to 400 μm in length. Kb kaolinite

dominantes in the pelites, and consists of pseudo-hexagonal crystals 1-3 μm in diameter, occurring as isolated, face-to-face and parallel to pseudo-parallel crystals. Kc kaolinite forms pseudo-hexagonal to hexagonal crystals of 200 nm in diameter. It occurs dispersed through the soft unit, increasing significantly in abundance in association with paleosols at the top of the unit. The semi-flint kaolin deposits are constituted mainly of reworked grains derived from the underlying soft kaolin unit that are mixed with grains derived from metamorphic and granitic sources. These deposits are dominantly composed of Kc kaolinite that was formed during weathering.

The deuterium (δD) and oxygen (δO) isotope analysis of the kaolin deposits from the study area helped to discuss better the evolution of the different types of kaolinites described above. Hence, the soft kaolin deposits display δO values varying between 6.04 ‰ and 19.18 ‰ in the Ka+Kb kaolinites, and between 15.38 ‰ and 24.86 ‰ in the Kc kaolinite. The δD values from this unit vary from -63.06 ‰ to 79.46 ‰, and from -68.85‰ to -244.35‰ in the Ka+Kb and Kc kaolinites, respectively. The semi-flint kaolin deposits are characterized by δO and δD values ranging from 15.08‰ to 21.77‰, and from -71.31‰ to -87.37‰, respectively. Based on these data and on the isotopic composition of both meteoric and ground waters, it was possible to conclude that the kaolinites had not been formed in balance with modern weathering. These values represent the isotopic composition during the time of formation of the kaolinites, as well as mineralogical contamination of framework grains that are now replaced by kaolinites.