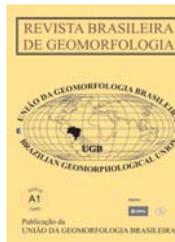




www.ugb.org.br  
ISSN 2236-5664

## Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 14, n° 3 (2013)



# LATERITAS: UM CONCEITO AINDA EM CONSTRUÇÃO

## LATERITES: A CONCEPT STILL UNDER CONSTRUCTION

**Cristina Helena Ribeiro Rocha Augustin**

*Instituto de Geociências - Universidade Federal de Minas Gerais (IGC-UFMG), Av. Antônio Carlos, 6.627, Campus Pampulha – CEP 31270-901 – Belo Horizonte-MG – Brasil.  
E-mail: chaugustin@hotmail.com*

**Marcel Rocha Soares Lopes**

*IGEO – Universidade Federal do Rio de Janeiro – Caixa Postal 68537 – CEP 21941-972 – Cidade Universitária – Ilha do Fundão – Rio de Janeiro – RJ.  
e-mail: marcel\_geo@ig.com.br*

**Saul Moreira Silva**

*Departamento Geografia, Faculdade de Ciências Integradas do Pontal, Universidade Federal de Uberlândia (FACIP-UFU), Av. José João Dib, 2545, Progresso – CEP 38302-000 – Ituiutaba-MG – Brasil.  
e-mail: saul@pontal.ufu.br*

### Informações sobre o Artigo

Data de Recebimento:  
11/10/2011

Data de Aprovação:  
23/09/2013

### Palavras-chave:

Laterita; evolução de conceitos; modelos; problemas de definição.

### Keywords:

Laterite; evolution of concepts; models; problems of definition.

### Resumo

O artigo apresenta os principais aspectos da evolução da base conceitual do termo laterita, considerada como formações superficiais normalmente ricas em Fe e Al, e com a presença de outros elementos como Ti, Cr e Mn. As controvérsias em torno da aplicação do termo aos diversos materiais com concentração secundária de ferro não é recente, mas continua viva em trabalhos publicados nos últimos anos, apesar dos esforços no sentido de consolidação de um corpo de conhecimento que pudesse levar a uma designação consensual do que são esses materiais. Este artigo se propõe a apresentar e discutir essas diferentes interpretações e evidências apresentadas na literatura, como maneira de propiciar ao leitor uma visão, dentro do possível atualizada, sobre as principais divergências no emprego do termo. Discutimos os diversos pontos de vista encontrados na literatura, ligadas às diferentes maneiras de como os pesquisadores interpretam sua gênese, características estruturais e forma de ocorrência. A abordagem justifica-se tendo em vista o interesse que as lateritas vêm suscitando nas últimas décadas nas diversas áreas da ciência da terra, nas áreas das engenharias e da química, na busca pela compreensão dos fatores e processos envolvidos na sua gênese e distribuição espacial. Esse interesse está ligado não somente ao entendimento do seu papel na elaboração do modelado do relevo, mas principalmente devido à importância econômica para a mineração e para a construção civil. Sugerimos, após ampla análise, a utilização do termo de modo mais amplo, partindo da ideia de que as formações lateríticas são tanto resultantes da acumulação relativa do  $Fe_2O_3$  e/ou  $Al_2O_3$ , como também da acumulação absoluta por aporte de óxidos de  $Fe_2O_3$  e/ou  $Al_2O_3$  de lateritas primárias e secundárias. Contudo, sugerimos que os autores indiquem qual conceito de laterita estão utilizando no texto de suas publicações.

## Abstract

This study presents the conceptual evolution of the term laterite, which is considered as superficial formations usually rich in Fe and Al, including other elements such as Ti, Cr and Mn. The controversies involving the use of the term for different materials with secondary concentration of Fe is not recent but still alive in articles published lately despite the efforts to consolidate a bases of evidences that could lead to a commonly accepted definition. This article discusses the different interpretations and evidences found in the literature providing the reader with a perspective as up to date as possible about the main divergences about the use of the term. We present the most important interpretations used by researchers which is in fact related to the different ways they interpreted the genesis, structural characteristics and form of occurrence of the laterites. This approach is justified because this earth material has been object of growing interest in the last decade in a diverse range of scientific areas such as geosciences, engineering and chemistry in their search for understanding the processes involved in their formation, development and spatial distributio. However, the interest is associated not only to the need of understanding the role of laterites in landscape evolution, but mainly to their economic importance for mining and building properties in civil engineering. After an extensive research we suggest the use of the term in its broader meaning once the lateritic formations are the result of both the relative accumulation of  $Fe_2O_3$  and/or  $Al_2O_3$ , as well as the absolute accumulation of oxides  $Fe_2O_3$  and/or of  $Al_2O_3$  in primary and secondary laterites. However, we advise the authors to point out which concept of laterite they are using in the article they publish.

## Introdução

Formações superficiais com enriquecimento supergênico de Fe, Al, Ti e outros elementos residuais são feições comuns nas paisagens das regiões tropicais do Brasil e do mundo (SHERMAN, 1949; MAIGNIEN, 1966, McFARLANE, 1976; KUMAR, 1986; TROLARD e TARDY, 1989; MEYER, 1997; HOBE *et al.*, 1999; GOUDIE e VILES, 2010). Há também relatos dessas ocorrências em áreas hoje semiáridas e temperadas, fato atribuído à atuação de paleoclimas, que teriam gerado condições, principalmente de umidade e temperatura elevadas, favoráveis a sua gênese. (GOUDIE, 1973; TAYLOR, *et al.*, 1990; THOMAS, 1994; SCHWARZ, 1997; CUI *et al.*, 2001).

Essas formações foram inicialmente reportadas na literatura anglo-saxônica por Buchanan em 1807 (MAIGNIEN, 1966; GOUDIE, 1973; McFARLANE, 1976; ALEVA, 1994), que cunhou o termo “laterita” para identificar material intemperizado próximo à superfície, observado no sul da Índia. De acordo com Bárdossy e Aleva (1990), laterita vem do latim *later*, que significa tijolo, pois o material, inicialmente macio, tornava-se duro em contato com o ar, sendo utilizado para a construção de casas naquele país. Esse termo, originalmente aplicado a um material com características geológicas específicas, teve seu uso estendido, até o final do século 19, aos materiais das mais diversas origens, desde que produtos da alteração química, em clima tropical, e com propriedade de endurecimento (PEDRO e MELFI, 1983).

O interesse despertado pelas lateritas se deve à sua utilização como material da construção civil e também como reservas economicamente importante de metais nativos como o ferro, Au e Pt, oxi-hidróxidos de Al, como gibbsita e bohemita, fósforo, como apatita e candalita, além de resistatos, como turmalina, rutilo, zircão e cassiterita.

Intensas discussões e avanços marcaram o estudo da laterita nestes dois séculos, como atesta Maignien em seu extenso levantamento sobre o estado de arte do conhecimento do tema até 1966. Esses estudos foram, e continuam sendo, influenciados pela dificuldade de definição do termo e pela restrição do seu uso às formações com características de um conjunto específico de materiais. Isso ocorre porque, além de apresentarem significativa diversidade em relação à rocha parental, as lateritas envolvem diversos processos genéticos, grande variabilidade de suas características químicas, físicas e morfológicas, e ocorrência em considerável amplitude geográfica.

As discussões sobre a definição do termo são de interesse não somente dos pesquisadores que abordam as lateritas do ponto de vista dos processos de transformação rocha-manto de intemperismo (alteração intempérica) e das modificações do manto decorrentes das interações com a biota (pedogênese), mas também daqueles que estudam as lateritas no contexto dos processos geomórficos e da evolução do relevo (morfogênese), da sua relação com a vegetação, com fluxos de água e com o uso e ocupação do terreno, dos que vêm nelas fonte de matéria-prima para usos diversificados.

Na geomorfologia, os aspectos relativos à relação entre lateritas e processos pedogenéticos, segundo McFarlane (1976), e aquela entre a lateritas e preservação e desenvolvimento de formas de relevo, contribuíram para despertar o interesse dos geomorfólogos pelo seu estudo (DE SWARDT, 1964; GOUDIE, 1973; RENGASAMY, *et al.*, 1978; FANIRAN e JEJE, 1983; McFARLANE, 1983; SPÄTH, 1987; BOWDEN, 1987; THOMAS, 1994; VASCONCELOS, *et al.*, 1994; TURINGTON, *et al.*, 2005; VALENTON, 1983, 2009). Esse fato constitui um desdobramento natural das análises dessas formações como parte integrante da paisagem, bem como da constatação de que processos físico-químicos envolvidos em sua gênese também são processos que fazem parte da evolução do modelado.

Em função dessa diversidade de aspectos, não é de se surpreender que a utilização do termo laterita tenha causado tanta discussão, ocupando tanto espaço na literatura especializada nos últimos dois séculos (MAIGNIEN, 1966; ALEVA, 1976; THOMAS, 2010). Surpreendente, no entanto, é o fato de que após tanto tempo, mesmo com avanços tão grandes em todos os campos do conhecimento envolvidos na questão, sejam eles técnicos ou instrumentais, a controvérsia não tenha sido resolvida. Nesse sentido, é importante conhecer as principais teorias e aspectos que fazem parte dessa discussão, uma vez que não se trata apenas de discordâncias formais.

O presente artigo aborda essa discussão visando, com base numa revisão bibliográfica que enfatiza os modelos e suas interpretações, um melhor entendimento das discordâncias e problemas envolvidos na utilização do termo. Embora a revisão tenha buscado ser mais ampla possível, o interesse que essas formações despertaram nas últimas décadas em várias áreas do conhecimento, resultou na publicação de uma imensa e diversificada bibliografia, impossível de ser tratada como um todo neste artigo.

### O termo laterita: evolução do conceito

Após o relatório de Buchanan coube, de acordo com Goudie (1973), a geólogos britânicos e indianos, tais como Newbold, Oldham e Lake, as principais documentações sobre a ocorrência do tipo de material em outras partes da Índia. A laterita de Buchanan, cujas características foram descritas em um relatório técnico, correspondente ao perfil representado pela figura 1, hoje associado à plintita que, segundo alguns autores, constitui apenas uma das fases e/ou formas de concentração de ferro (PEDRO, 1983). A despeito disso, segundo Prescott e Pedleton (1951, citados por MAIGNIEN, 1966, p.11), o pioneiro na utilização do termo de maneira científica teria sido Babington, em 1821.

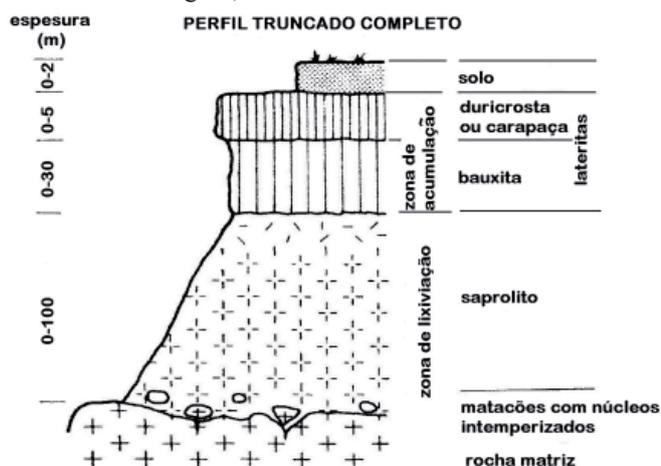


Figura 1 – Perfil clássico da laterita com todos os componentes de um perfil desenvolvido *in situ*. Notar que a parte superior do perfil encontra-se truncada. Fonte: Bourman e Ollier, 2002.

No final do século IX, o termo laterita encontrava-se disseminado em publicações científicas, o que levou Lake (*apud* Maignien, 1966; GOUDIE, 1973) a propor, em 1890, que o mesmo fosse empregado apenas para indicar o produto da alteração de rochas, incluindo as ígneas cristalinas, sedimentos, depósitos detríticos, cinzas vulcânicas e depósitos lacustres.

Nas duas décadas posteriores, por causa do relato da ocorrência de formações que se encaixariam na denominação de lateritas em diferentes materiais de origem, o uso do termo foi estendido a uma grande variedade de materiais que apresentavam endurecimento. Isto é confirmado, por exemplo, pelos relatos de Blandfort e Talbot (1859, *In*: PRESCOTT, *apud* MAIGNIEN, 1966; McFARLANE, 1976), que reportam a ocorrência de formações endurecidas, ricas em sílica e calcário na Austrália, e por aquelas de Moffat (1858) e Livingstone (1857), ambos citados por GOUDIE (1973), nas regiões meridional e central da África, identificadas como “turfa calcária” e “conglomerado ferruginoso”.

Em 1868, Burton reporta a presença de cangas no Brasil (GOUDIE, 1973). No entanto, Eschwege já tinha se referido à presença deste tipo de material em Ouro Preto, antiga Vila Rica, Minas Gerais, em seu relato “Jornal do Brasil, 1811-1817”, onde descreve que uma

“camada superior, com espessura de 9 a 16 pés, é constituída de uma hematita compacta e cavernosa, ou de conglomerado de pedaços angulosos de hematita, normalmente de magnetita e hematita, cuja matriz é hematita compacta e que aqui chamam de *tapanhoacanga*, ou simplesmente *canga*”. (ESCHWEGE, 2002, p. 48).

A variedade dos materiais endurecidos, incluindo os denominados hoje de silcretos e de calcretos, então descritos como lateritas, fez com que Mallet em 1883 (*apud* MAIGNIEN, 1966) propusesse o uso do termo apenas para formações ferruginosas e bauxíticas. Somente no final do século 19, Bauer estuda quimicamente amostras provenientes de uma combinação de sílica e alumínio em forma de hidróxidos, comprando-as com amostras de bauxita. As análises de Bauer permitiram verificar que diversos materiais provenientes de várias partes da Índia indicavam ora pequenas quantidades de alumínio com predomínio de óxido de ferro, ora o contrário, apontando para a ocorrência de uma grande variação na composição química dos mesmos (MAIGNIEN, 1966).

O aumento do interesse sobre esses materiais em função do valor econômico do alumínio marcam o início do século 20, trazendo uma atenção especial aos aspectos mineralógicos das lateritas, mesmo que sob este ângulo tenham sido também quimicamente analisadas. Alguns autores, como Croo e Evans (1909 e 1910) citados por McFarlane (1976), propõem o uso do termo limitado aos produtos da alteração

química contendo alumínio livre. Outros, como Neustruev (In: LACROIX, 1913 *apud* MAIGNIEN, 1966), reafirmam a necessidade manter o termo para as formações com 86% ou mais de  $Fe_2O_3$  em sua composição. Essa proposição foi acompanhada de outras que reivindicavam o aumento desse limite para 90%, independentemente do óxido (alumínio, titânio ou manganês), como foi o caso de Fermor (1911), citado por Maignien (1966).

Houve também tentativas de definição das lateritas através de suas propriedades apenas físicas. Frente à imensa variabilidade dessas características, são retomados os esforços para conceitua-las com base em sua composição química. Isto coincide com os primeiros relatos e denominações de lateritas para materiais não endurecidos, terrosos, ricos em ferro e alumínio, o que leva os pedólogos a também se interessarem pelo tema. Harrison (1910) é apontado por Maignien (1966) e McFarlane (1976), como um dos precursores da abordagem pedológica da questão das lateritas. Esta abordagem ganha força a partir da década de 1930, com a publicação de trabalhos que interpretam a laterita como um produto da concentração mineral derivada da mobilidade de elementos químicos associada às condições biosféricas (WOOLNOUGH, 1930, *apud* GOUDIE, 1973).

Durante a década de 1930, é dada continuidade à ênfase nos processos genéticos especialmente em publicações pedológicas, ênfase esta que também foi importante para os estudos geomorfológicos (GOUDIE, 1973; McFARLANE, 1976). São produzidos, a partir de então, estudos relacionando lateritas a perfis pedológicos característicos, e sobre questões relativas à sua ocorrência geográfica, levando à aceitação de que sua gênese se estendia também às áreas de climas tropicais com duas estações bem definidas (HARRASSOWITZ, 1930, *apud* McFARLANE, 1976).

Trabalhos que indicam a concentração de minerais resultante das condições da biosfera como um dos processos importantes dessa formação, ou seja, do conceito de laterita como solo, caracterizam também as décadas de 1940, 50. Segundo McFarlane (1976, p.5), isto leva ao retorno da adoção de critérios puramente químicos para definir estas formações, em detrimento de outros, como os físicos ou morfológicos.

Abordagem inédita sobre processos de intemperismo e mecanismos associados à movimentação de precipitados no perfil do material em alteração, importante para a compreensão da formação do solo e também da laterização, como processo, foi proposto por Millot e Bonifas (1955). Embora não tenha minorado as controvérsias em torno do uso do termo, essa abordagem abriu caminho para novas propostas sobre a dinâmica dos materiais próximos à superfície do solo (THOMAS, 2010).

Esses aspectos são reforçados com a consolidação da pedologia, levando Mohr e Van Baren (1954), citado por

Maignien (1966, p.14) a estender o termo laterita para todos os “produtos da alteração decorrentes do intemperismo, dentro do solo ou após sua exposição”.

Já então, a ampla utilização do termo para vários tipos de materiais, leva ao surgimento de propostas de outras terminologias, como ferralização apontada por Botelho da Costa e Azevedo, e latossolo, por Kellog, ambos em 1949 (Maignien, 1966, p. 15; KER, 1997, p. 17). Essa tendência é seguida pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), com a introdução do termo plintita para aqueles solos ricos em sequeóxicos de Fe e Al, pobres em húmus, com argilas muito alteradas quimicamente, além da presença de quartzo e outros minerais, a ocorrência de mosqueado avermelhado, em geral em padrões de placas poligonais ou reticuladas, que tendem a endurecer quando exposto, ou em seixos soltos ou cimentados, então chamados de *ironstones* (ANJOS, *et al.*, 1995) ou de petroplintitas, em denominação mais recente (PADMANABHAN e ESWARAN, 2005). Por serem passíveis de corte, quando o solo encontra-se úmido, e de endurecer ao serem expostos, foram originalmente associadas à “laterita” de Buchanan.

A busca por terminologia mais precisa e o aprofundamento dos conhecimentos sobre os processos de formação do solo, levam o USDA, em sua Sétima Aproximação, a utilizar o termo *Oxisol*, para englobar os Latossolos e os solos com a denominação ampla de “lateritas do nível freático”, dispensando assim, a necessidade do uso do termo plintita nos níveis hierárquicos superiores do Sistema de Classificação de Solos. O termo é aceito, hoje, como característica complementar no sistema americano de classificação dos solos, presente nas ordens, por exemplo, dos *Alfisol*s, *Oxisol*s e *Ultisol*s (ANJOS *et al.*, 1995). Os Oxissolos passam a ser utilizados já sem referência à questão do endurecimento, como aqueles com baixa ou inexistente reserva de minerais alteráveis; fração granular de argila quase que exclusiva do tipo caulinita/ou óxidos, frequentemente com gibbsita e, às vezes com grandes quantidades de gel de aluminossilicatos; razão de  $SiO_2/Al_2O_3$  frequentemente próximo ou menor que 2, coloração vermelha ou amarela, decorrente principalmente do intemperismo, mais do que da migração, e espessuras de 5 a 10m (MAIGNIEN, 1966, p. 15).

Trabalhos importantes foram desenvolvidos sobre os processos e mecanismos envolvidos na formação de lateritas e de solos ricos em ferro e alumínio em zonas de climas tropicais nas décadas de 70, 80 e 90 do século passado. Esses trabalhos foram fundamentais para uma melhor compreensão da gênese desses materiais, mesmo que não tenham implicado na adoção de definição mais precisa do termo laterita. Entre outros, destacam-se os de Delvigne (1965), Tardy (1971), Gilkes *et al.* (1973), Boulangé *et al.* (1975), Nahon (1976), Schwertmann e Taylor (1977), Schwertmann e Fitzpatrick (1982), Kämpf e Schwertmann (1983), Pedro (1964, 1983),

Kronberg *et al.* (1983), Shellmann (1983 a e b), Schwertmann (1983), Schwertmann *et al.* (1985), Boulongé *et al.* (1987), Beoudeulle e Meuller (1988), Tardy e Nahon (1988); Trolard e Tardy, 1989; Tandy *et al.* (1990), Lucas e Chavel (1992), Gardner (1992) e Boulet (1993). Com base nestes estudos, foi reconhecido um perfil laterítico clássico, no qual o solo seria produto da degradação (bio)geoquímica de couraças, constituindo os horizontes *soft*, ou *solum*.

Tentativas de caracterizações mais precisas do material endurecido, rico em ferro e alumínio, foram também retomadas, em especial a partir da década de 70, com a proposição de denominações como: ferricretes, duricrust (couraça) e carapaça laterítica, entre outros, (GOUDIE, 1973; McFARLANE, 1976; BOURMAN *et al.*, 1987; ALEVA, 1994) de maneira a diferencia-lo do resultante da pedogênese em solos residuais, mais próximas daquelas descritas por Buchanan, como aponta Tanner e Khalifa, (2009). Esta divisão, como bem demonstra Goudie (*op. cit.*), não constitui tarefa trivial, pois mesmo tendo como base suas características mineralógicas e químicas, os materiais endurecidos variam de acordo com o material de origem, os processos envolvidos em sua formação, e idade.

A identificação de vários materiais que poderiam ser denominados de laterita em partes diferentes da Terra, também deixa claro que estas eram conhecidas em seus locais de origem, onde recebiam denominações específicas, como mostra a tabela 1, abaixo, fornecida por Goudie (1973):

**Tabela 1: Denominações do termo laterita de acordo com diferentes países onde ocorrem**

Iron clay (Índia)	Moco de hierro (Venezuela)
Brickstone (Índia)	Ironstone (Nigéria)
Canga (Brasil)	Plinthite (USA)
Murrum (Uganda)	Cabook (Sir Lanka)
Ouklip (África S.)	Piçarra (Brasil)
Ferricrete (África S.)	Eisenkruste (Alemanha)
Laterite (Índia)	Pisolite (Austrália)
Cuirasse (França)	Krusteneisenstein (Alemanha)
	Mantle rock (Ghana)

Fonte: Goudie (1973)

OB: Cuirasse é o termo usado para denotar o material cimentado que é resistente e sólido; o termo carapaça é usado para denotar o material cimentado que é friável.

### Lateritas: modelos de formação

Uma das grandes controvérsias estabelecida desde o início do século 20 sobre o uso do termo envolve a gênese dessas formações, levando ao aparecimento de vários modelos para explicar os processos e mecanismos nela envolvidos.

É possível identificar na literatura do início da década de 70, como apresentada por McFarlane (1976) e Goudie (1973), grupos de tipos de processos envolvidos na formação das lateritas. Embora grande parte desses modelos tenha sido

abandonada e/ou alterada em função de estudos posteriores, ainda hoje há defensores de modelos múltiplos para a gênese dessas formações (EGGLETON e Taylor, 1999; BOURMAN e OLLIER, 2002; OLLIER e SHETH, 2008; TANNER e KHALIFA, 2009) motivo pelo qual é interessante conhecê-los.

Aqui, esses modelos são apresentados em dois grandes grupos que refletem, basicamente, as diferenças nos seus processos de enriquecimento de ferro e alumínio:

Grupo do Modelo por Acumulação Relativa, que é formada pela acumulação residual oxido-hidróxidos de Fe e Al e concomitante lixiviação de cátions metálicos ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ) e de sílica em solução ( $\text{H}_4\text{SiO}_4^-$ ), através de mecanismos variados (Fig. 2).

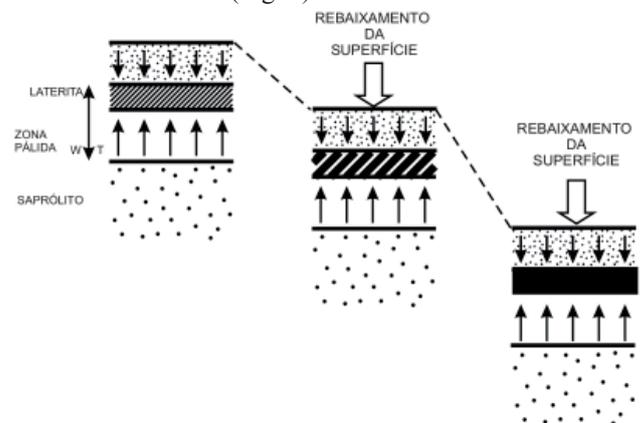


Figura 2 – Modelo de enriquecimento de ferro e alumínio *in situ* (relativo), por movimentação descendente e ascendente de soluções com íons de Fe, formando uma seção de acumulação a certa profundidade da superfície.

Fonte: De Swardt (1961, apud McFARLANE, 1976).

Esse grupo inclui os seguintes sub-modelos:

**Modelo do Residuum**, ou *in situ* (laterita autóctone, *in situ*, ou verdadeira, segundo alguns autores), que é oriundo das primeiras interpretações sobre a formação das lateritas e remontaria ao final do século XIX (McFARLANE, 1976). Estas seriam o produto da lixiviação dos elementos mais móveis, como cátions metálicos ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$ ), pelo intemperismo da rocha em ambientes quentes e úmidos, deixando os elementos menos móveis, como Fe, Al, Ti e outros, na forma de óxidos, hidróxidos e argilominerais como um *residuum* no material alterado. De acordo com a autora (*op.cit.*), nesse modelo é assumida a interpretação da laterita como o resultado da acumulação de precipitados desses elementos menos móveis, o que ocorreria após uma fase de baixa mobilidade necessária para permitir o rearranjo dos elementos, depois da qual se instalaria uma segunda fase, na qual ocorre uma alteração do *residuum*, provavelmente em função da flutuação sazonal do freático.

A formação de silicatos e óxi-hidróxidos secundários seria, portanto, consequência da imobilidade de elementos como Al, Fe e Ti que, por possuírem menor raio iônico e maior carga elétrica, hidrolisam-se e formam precipitados, resultando em sua acumulação como material residual. Os cátions metálicos, como  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$ , por possuírem maior raio iônico e menor carga elétrica, são logo eliminados do perfil por lixiviação. Nessas condições, os íons de  $\text{Fe}^{2+}$ , oriundos de silicatos ferromagnesianos, oxidam como  $\text{Fe}^{3+}$  e são hidrolisados, precipitando oxi-hidróxidos de Fe, (hematita ou goethita), que se acumulam no perfil. Por outro lado, silicatos félsicos, como feldspatos e micas, são dissolvidos e perdem sílica ( $\text{H}_4\text{SiO}_4^-$ ), gerando argilossilicatos, como caulinita ou haloisita, que podem perder sílica progressivamente, sendo transformados em gibbista (hidróxido de Al), e cuja acumulação no perfil produz a bauxita. Feldspatos também podem ser diretamente transformados em gibbista, dependendo das condições físico-químicas locais, favorecendo uma hidrólise muito intensa e caracterizando o processo de alitização (PEDRO, 1964).

Esse modelo não é, contudo, completamente aceito, uma vez que os mecanismos para que ele possa acontecer ainda não são totalmente entendidos, mesmo após avanços na compreensão dos mesmos a partir das contribuições de Tardy (1971), Nahon (1976), Pedro (1983), Kämpf e Schwertmann (1983), Ambrosi *et al.*, (1986), Nahon *et al.*, (1989), Wan *et al.*, (1995), Colin *et al.*, (1996), Nahon e Merino (1997), entre outras. Entre os mecanismos ainda pouco compreendidos encontram-se: a) como se dá o enriquecimento do alumínio; b) como as flutuações do freático influenciam no processo, uma vez que estas teriam que ser muito expressiva para explicar a extensão da ocorrência de algumas lateritas; c) como ocorre o sincronismo entre os processos de enriquecimento laterítico e de perda da zona pálida (McFarlane, 1976, p.93).

**O Modelo de Oscilação do Nível Freático** que, de acordo com McFarlane (1976), começou a ser aceito em razão das limitações do modelo de mobilidade e reprecipitação de Fe e Mn no perfil. Para a autora (*op. cit.*, p.4), nesse novo modelo, a laterita “não seria o resultado decomposição *in situ* da rocha, mas a substituição dos produtos dessa decomposição, cujo mecanismo da substituição é o freático”.

No Modelo de Oscilação do Nível Freático a acumulação e precipitação do ferro no perfil ocorreria associada à variação sazonal da zona de saturação, que produz mudanças no potencial redox do solo (Eh). Essas modificações sazonais no Eh, por sua vez, provocam difusão dos íons de  $\text{Fe}^{2+}$  e  $\text{Mn}^{4+}$  que migram de zonas de maior (zona saturada) para as de menor concentração, causando precipitação dos oxi-hidróxidos desses elementos na interface com a zona saturada. Os elementos químicos mais móveis (cátions metálicos) presentes na rocha acima do nível freático seriam lixiviados

para a drenagem, externa, ficando no perfil apenas os menos móveis (GOUDIE, 1973).

Esse modelo se difere do Modelo do *Residuum* na medida em que no primeiro pode ocorrer aporte de íons de  $\text{Fe}^{2+}$  e /ou  $\text{Mn}^{4+}$  através de soluções oriundas da zona saturada, que a priori, não são necessariamente locais. A subida capilar a partir da zona saturada geraria redução, e conseqüente mobilização lateral de Fe e Mn. Esses íons sofreriam ascensão por capilaridade no período seco, com o rebaixamento do nível freático e a evaporação da água no perfil, quando tenderiam a se precipitar como material sólido.

**Modelo Pedogênico** assim denominado por Goudie (1973, p. 133), prevê, segundo este autor, fontes de aporte de ferro e alumínio que não são provenientes somente das rochas subjacentes, embora seja incluído por McFarlane (1976) entre aqueles modelos por ela denominados de “precipitados”.

Nesse modelo, destacam-se dois mecanismos principais (SHELLMANN, 2005/2010) envolvidos nos movimentos de capilaridade:

- a) - por *descensum*
- b) - por *ascensum*

No primeiro (*descensum*), soluções de minerais lixiviados do solo descenderiam aos níveis mais baixos do solo, durante os períodos mais quentes e chuvosos, onde se precipitariam em horizontes mais profundos (GOUDIE, 1973), ou “iluviais” (SHELLMANN, 2005/2010).

O segundo mecanismo seria responsável pelo deslocamento da solução rica em ferro e alumínio acumulada nas porções inferiores do solo, ou porção superior da rocha, para as porções superiores do perfil (*ascensum model*). O mecanismo, por movimentos ascendentes (por ascensão capilar), ocorreria especialmente nas estações secas, quando soluções contendo íons lixiviados ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{H}_4\text{SiO}_4^-$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ), provenientes dos horizontes superiores, mas acumuladas nas porções inferiores do perfil, retornariam à superfície, ou próximo dela (*ascensum model*), onde então precipitariam por capilaridade, em decorrência da atuação das forças envolvidas na evaporação nas estações secas, (GOUDIE, 1973, p. 136). Com o tempo, a laterita se tornaria cada vez mais espessa.

Neste modelo, de acordo com McFarlane (1976), o precipitado seria formado no solo, levando ao enriquecimento das partes mais profundas do perfil. No modelo *Residuum*, ao contrário, predomina o movimento de lixiviação vertical dos componentes solúveis e a acumulação residual dos precipitados na parte superior do perfil. Nessas condições, no Modelo Pedogênico, a precipitação se daria a partir do freático por ascensão capilar, sendo, assim, em direção oposta aquela

apresentada na formação *in situ*.

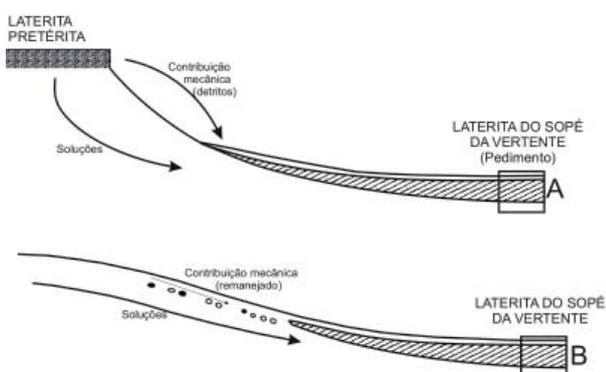


Figura 3 – Modelo de formação de laterita pelo aporte de fragmentos ricos em Fe e Al no pedimento (Goudie (1973).

Para Goudie (1973, p.136), poderiam ocorrer outros mecanismos no Modelo Pedogênico, mecanismos estes que seriam auxiliados: a) pela precipitação e percolação da água de chuva; b) pela cobertura vegetal, como por exemplo, pela acumulação de alumínio nos resíduos dos tecidos vegetais, que poderia ser lixiviado e acumulado nas porções mais profundas do solo, no que Du Preez (1949, *apud* GOUDIE, 1973, p. 138/140) denominou de “laterita eluvial”; c) por acumulação de poeira; ou d) sedimentos da rocha matriz. McFarlane (1976) concorda que esse modelo assume a porção superior do perfil como sendo a fonte principal da solução, embora para Goudie (p. 133), ele não teria mecanismos que envolvam o freático.

Há dúvidas sobre o papel da evaporação na precipitação do Fe e Mn nesses modelos. Isto, porque a evaporação poderia atuar de duas maneiras: diretamente sobre a zona saturada, causando a ascensão de soluções saturadas ao longo do perfil, ou, alternativamente, a própria flutuação sazonal da zona saturada causaria a precipitação de Fe e Mn nos poros acima do nível da zona saturada, levando à sua ascensão por capilaridade no período seco, sob a ação da evaporação elevada (GOUDIE, 1973; McFARLANE, 1976).

O que há de comum entre esses três modelos é o fato de que eles não preveem, de acordo com seus defensores, contribuições de outra natureza que não aquelas do ferro e alumínio como precipitados (SHELLMANN, 1983a; ALEVA, 1994).

**Grupo dos Modelos de Acumulação Absoluta** (laterita alóctone, com transporte, ou falsa laterita, de acordo com alguns autores), pressupõe a acumulação absoluta de Fe, Mn e Al, pelo aporte de seus respectivos ions a partir de soluções provenientes de fontes externas ao perfil de intemperismo laterítico, incluindo a adição lateral de matéria pela movimen-

tação sazonal do nível freático ou adição de material sólido rico nesses elementos por transporte e deposição (Fig. 3), e pode ser dividido em:

**Modelo Fluvial**, que, segundo Goudie (1973), inclui dois sub-modelos:

a) deposição de material ou de precipitados nos fundos de vales ou sopés de vertentes (Fig. 3);

b) deposição ou alteração de material pela ação periódica da água na forma de fluxos em lençol ou nos terraços;

**Modelo Detrítico (Fig. 4).**

O Modelo Fluvial inclui a “deposição ou precipitação de materiais em vales ou canais de drenagem e aqueles que envolvem a deposição ou intemperismo de material por fluxos d’água” (GOUDIE, 1973, p. 121 e 122). A formação das lateritas ocorreria pela disponibilidade de elementos como Fe e Al, provenientes do retrabalhamento dos resíduos de outras crostas lateríticas, ou de material fino com “composição mineral apropriada”, também residual.

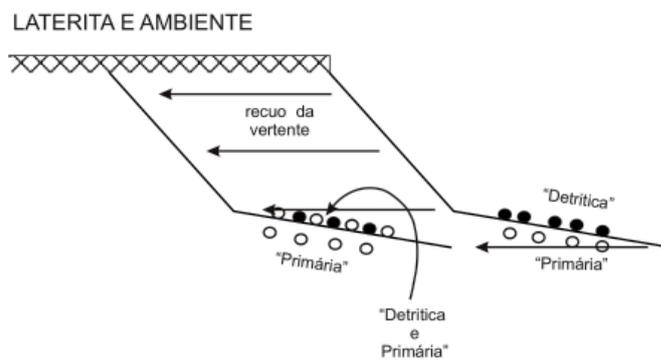


Figura 4 – Modelo de formação de laterita pelo aporte de fragmentos ricos em Fe e Al no pedimento (McFARLANE, 1976).

Segundo Goudie (1973, p.122), o processo de enriquecimento absoluto de lateritas poderia também acontecer pela acumulação e precipitação de óxidos e hidróxidos de Fe e Mn pelas águas de rios, ou de olhos d’água, em situação de drenagem ruim, ou seja, em condições redutoras que promovem a mobilização desses elementos (LAWRENCE *et al.*, 2009). Para que isto aconteça, as condições de pH do meio teriam que ser alcalinas, possibilitando a precipitação do Fe e do Mn e, subordinadamente, de Al por co-precipitação.

O Modelo da Laterita de Origem Detrítica (Fig. 4), assume a existência de fragmentos de couraças (ou cangas) pré-existentes que seriam parcialmente dissolvidos e trans-

portados, para posteriormente terem os grãos cimentados levando a sua reconsolidação, caracterizando um processo policíclico (McFARLANE, 1976).

Embora essa autora veja uma relação entre esse modelo e o de formação *in situ*, eles se diferem substancialmente em função dos mecanismos envolvidos. No primeiro, os mecanismos são basicamente de intemperismo químico da rocha ao longo do perfil, levando à perda de elementos móveis e a acumulação dos menos móveis. No segundo, há movimentação do material por transporte do material rico em Fe, Mn ou Al, por processo físico (erosão), ou seja, o material de “origem” a rigor não se encontra subjacente, constituindo-se uma fonte secundária (Fig. 4).

Com o desenvolvimento da pesquisa e entendimento mais aprofundado dos mecanismos envolvidos na gênese das lateritas, alguns desses modelos foram abandonados, ou passaram a ser interpretados como pertencentes à outra categoria e não um modelo em si próprio. Exemplo disto são trabalhos realizados já na década de 50/60 por vários pesquisadores como Carter *et al.*, (1956, *apud* GOUDIE, 1973), Millot e Bonifas (1955), De Swardt (1964), Delvigne (1965) e Segalen (1966), apontando a presença de processos que indicavam a ocorrência de mecanismos de acumulação de elementos residuais como hidróxidos de Fe, Al, Mn e Ti, *in situ*, em decorrência de intemperismo químico intenso.

Esse é o caso também do modelo lacustre que explica a acumulação de Fe e Al por deposição, pela água, em lagos e lagoas, e que foi bastante difundido na década de 50. Estudos posteriores demonstraram tratar-se de processos de acumulação relativa, embora evidências de transporte tenham sido também identificadas (GRANINA *et al.*, 2004).

Embora aparentemente seja possível aceitar todos os modelos aqui apresentados como geradores de lateritas, há diferenças marcantes apontadas por aqueles que defendem um ou outro grupo de modelos.

### Definindo lateritas: pontos comuns e controvérsias

A distinção entre lateritas ferruginosas e bauxíticas pode ser sintetizada no diagrama triangular da figura 5, proposto por Shellmann (1983a), citado por Bárdossy e Aleva (1990). Embora a laterita ferrífera e a bauxítica sejam tratadas em conjunto em várias publicações, elas são distintas, entre outros fatores, em função da maior ou menor percentagem de Fe ou Al (SHELLMANN, 1994). Essa distinção constitui ponto de convergência entre os pesquisadores do tema e é demonstrada por Bárdossy e Aleva (1990), que propõem o seguinte diagrama (Fig. 5) como meio de definir tipos de lateritas.

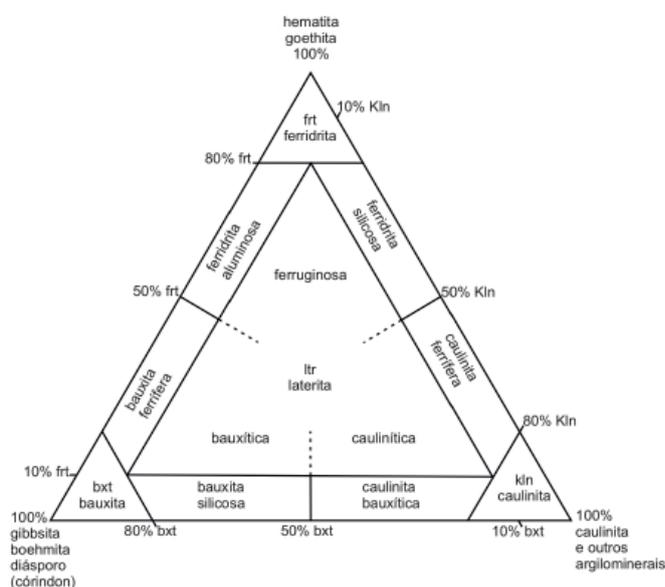


Figura 5 – Diagrama triangular proposto por Bárdossy e Aleva (1990), mostrando os tipos de laterita de acordo com os percentuais de caulinita, oxí-hidróxidos de Fe e Al.

De uma maneira mais geral, o termo laterita é aplicado, hoje, aos “produtos do intemperismo da rocha, compostos principalmente de óxidos e hidróxidos de Fe e Al e de argilossilicatos” (DICTIONARY OF EARTH SCIENCE OXFORD, 2008). A diferença geoquímica entre as formações enriquecidas em ferro e alumínio reside no predomínio do elemento concentrado no produto final do intemperismo. Entre os compostos, além de Fe e Al, também são comumente encontrados o Mn e o Ti, em menores proporções.

Essa definição, embora apresente pontos comuns ao que atualmente é aceito como material para o qual pode ser aplicada a denominação de laterita, não encerra a questão da definição, uma vez que não contempla distinções profundas que marcaram e continuam marcando as discussões sobre as lateritas.

Uma das primeiras e principais discordâncias surgidas sobre a denominação do que seria laterita, é se este termo poderia ser aplicado aos materiais ricos em ferro e alumínio que não apresentam endurecimento. Essa discussão prevaleceu durante muitas décadas e encontra-se interconectada com outra, relativa à natureza das lateritas: se são rochas ou solos.

Buchanan chamou de laterita os perfis não estratificados de argila endurecida, ricos em Fe (Fig. 1), encontrados sobre rochas graníticas quimicamente muito alteradas (ALEVA, 1994). Ou seja, a denominação original do termo teria sido aplicada à descrição de uma rocha, produto da alteração de outra localizada abaixo, que, entre outras características (como cor e ausência de feldspatos), tinha a propriedade de

endurecer após ser exposta na superfície. Isto incluiria todos os materiais resultantes do intemperismo químico, ricos em Fe e Al que sob condições climáticas tropicais, endureçam quando expostos.

No entanto, a propriedade de endurecer não constitui o resultado da atuação de um fator apenas, e sim de vários. Maignien (1966, p.18) apresenta como fatores que afetam o endurecimento: 1- composição e extensão da cristalização dos componentes do material: quanto maior a quantidade de sesquióxidos, maior o endurecimento; dureza aumenta com a quantidade de ferro e também com a desidratação; 2- o arranjo dos vários constituintes: crostas compactas são mais duras; material homogêneo é mais duro do que aqueles com materiais segregados; a presença de corpos estranhos; 3- a idade, quanto mais antigas, mais duras; ocorrência do mesmo tipo de laterita.

Ademais, materiais como argilas, incluindo argilas mosqueadas saprolíticas, têm capacidade de endurecimento quando desidratadas, mesmos quando não apresentam características químicas típicas da laterita (Maignien, 1966, p.14; McFARLANE, 1976, p.10). Além do mais, como relata McFarlane (1976, p.10), há dificuldade em se precisar o que endurecimento do material significa, uma vez que há lateritas que já se encontram endurecidas no perfil, outras que somente endurecem com certo tempo de exposição e outras que nem sempre são totalmente endurecidas, mas que teriam a propriedade de endurecer.

Maignien (1966, p.14) sumariza os principais pontos do debate ao afirmar que “certas características químicas dos solos lateríticos podem ocorrer em todas as crostas, mas podem estar igualmente presentes em outros solos com estruturas diferentes: ao contrário, solos sem características químicas das lateritas podem conter horizontes endurecidos, ou concreções de ferro ou manganês”. Para o autor, a questão sobre a propriedade do endurecimento é secundária, tendo em vista que a definição da laterita, se assim fosse aceita, teria como base apenas um critério, o morfológico.

Essa questão permanece em aberto mesmo após proposta de Maignien e Millot (1992, *apud* NAHON e PARC, 1992, p.41) para ampliar o uso do termo laterita a “todos os produtos intemperizados ricos em Fe e Al, geralmente formados sob condições climáticas tropicais, em vez de restringir apenas para aqueles que endurecem ou têm potencial de endurecimento”. Isto incluiria os materiais “comumente associados com ferricretes endurecidas como os solos ferralíticos vermelhos e amarelos, saprolitos cauliniticos e litomarcas, independentemente se são endurecidos ou que possam vir a endurecer”. Maignien reafirma, assim, sua posição de 1966, quando sugere o uso preferencial do termo lateritas em vez de laterita, levando em consideração a variedade e complexidade das características dos materiais descritos e estudados.

Outra questão central na definição das laterita refere-se à sua classificação: como uma rocha, ou manto de intemperismo. Isto porque, esta distinção tem implicações sobre os tipos de processos dominantes na sua formação, uma vez que, dependendo do processo de laterização, essas estariam mais afeitas à intemperismo / pedogênese, do que à epigenia, como visto a partir da visão de Pedro e Melfi (1983) e Aleva (1994).

Classificada durante muitas décadas como rocha, as lateritas passaram a ser consideradas como mantos de intemperismo após trabalhos de Campbell (1917), citado *por* McFarlane (1976), que as identificou como uma precipitação, embora trabalhos anteriores já tivessem apontado nesta direção. Essa interpretação abriu caminho para que os pedólogos passassem a considerá-las como resultantes de concentração de elementos em função de processos pedogênicos, como já discutido anteriormente.

McFarlane (1976, p.20) ressalta que a denominação de solo laterítico pelos pedólogos corresponde “ao solo residual, rico em ferro nas porções superiores”, enquanto o solo podzólico tropical, com enriquecimento de ferro nos horizontes inferiores, incluiria a denominada “laterita do freático”, correspondente à laterita de Buchanan, e ao “hardpan”, nos termos definidos por Pendleton e Shrasuvana, em 1946. Ela inclui outras interpretações, mais tarde apoiadas por outros autores, como Bates *et al.* (1980), citados por Fischer (1989, p.8), para quem laterita pode ser definida como o “subsolo vermelho altamente intemperizado ou material rico em óxidos e hidróxidos de Fe de Al, ou ambos, e comumente com caulinita e quartzo, quase totalmente desprovidos de bases e minerais formadores de rocha”. Para outros autores, como Aleva (1994), mesmo esse tipo de definição é ampla demais e não possibilita uma identificação de classe que permita classificar lateritas como solo ou um tipo de rocha.

Como lembram Bárdossy e Aleva (1990), embora o termo tenha sido empregado para identificar produtos do intemperismo nas regiões tropicais úmidas, Buchanan o utilizou inicialmente do ponto de vista litológico, ou seja, com referência a um tipo de rocha. Mesmo que a laterita de Buchanan viesse mais tarde a ser reconhecida como apenas parte do processo de formação da mesma, para aquele autor permanece o fato de trata-se de um processo que ocorre na rocha.

Essa é a mesma posição de Schellmann (1983a), para quem as lateritas pertencem ao grupo das rochas residuais, com uma relação Si:(Al + Fe) abaixo de um limite definido o que, por sua vez, depende da composição da rocha parental. Aleva (1994, p.3) corrobora a ideia das lateritas como rochas metassomáticas, ou seja, “rochas cuja composição química

foi substancialmente modificada por alteração metassomática dos seus constituintes originais”. Lindgren (1928, *apud* ALEVA, 1994, p.3) descreve como metassomatismo o “processo de dissolução e precipitação de material mineral em microporos, pela qual um novo mineral, de composição diferente ou parcialmente diferente, pode crescer num corpo de um mineral ou de um agregado de minerais pré-existentis; frequentemente o mineral original é, até certa extensão, completamente substituído”.

Essa controvérsia é posterior àquela relacionada ao uso do termo apenas para materiais semelhantes aos descritos por Buchanan, e resulta do fato de que trabalhos posteriores aos dele extrapolaram sua interpretação inicial, acrescentando características que não estavam presentes no seu relatório original, tais como o enriquecimento alóctone de Fe e Al, e a ausência da necessidade de endurecimento do material para que a feição fosse considerada laterita (Aleva, 1994). Ollier e Sheth (2008, p.538) sintetizam os pontos principais dessa divergência ao afirmarem que “pesquisadores posteriores utilizaram o termo algumas vezes para material concrecionário, rico em Fe, ou para todo o perfil para o qual se assumia desenvolvimento concomitante (laterita, ou perfil de Walther) e, algumas vezes, mesmo para solos avermelhados, independentemente de estes apresentarem ou não concreções, típicas dos perfis lateríticos”, o que inclui a proposta de Maignien (1966).

Embora ainda ocorram divergências sobre essa temática, se pode considerar que existe certo consenso de que a chamada laterita de Buchanan, representada pelo perfil de Walter constitui apenas parte de um perfil laterítico completo, como descrito e apresentado por Millot e Bonifas (1955). Para estes, o termo laterita deveria ser utilizado apenas para as formações provenientes da ação de processos de enriquecimento de Fe e/ou Al *in situ*, nos quais não estariam incluídos os enriquecimentos secundários.

Para outra corrente, lateritas seria um termo mais amplo, não requerendo somente a ação de processos *in situ* (MILLOT, 1983; TROLARD e TARDY, 1989; EGGLETON e TAYLOR, 1999; PHILLIPS, 2000; BOURMAN e OLLIER, 2002; OLLIER e SHETH, 2008).

Embora para Thomas (2010, p.693), essa discussão reflita apenas as diferentes abordagens dadas ao tema, quais sejam aquelas “que consideram as lateritas em seus aspectos físicos e morfológicos, e aquelas mais interessadas na geoquímica e nos processos de formação”, a questão envolve duas visões excludentes. Elas estão vinculadas fortemente à aceitação do tipo de processo e mecanismos envolvidos na gênese dessas formações. Essas diferentes visões, por sua vez, encontram-se intrinsecamente vinculadas à perspectiva das lateritas como rocha, ou como manto de intemperismo/solo.

Em função dessa controvérsia, foi estabelecido no Sixth International Working Meeting on Soil Micromorphology realizado em Londres em 1981, que um dos objetivos do “International Geological Correlation Programme-Laterisation Processes”, projeto apoiado pela UNESCO e mais conhecido como IGCP-129 (BÁRDOSY e ALEVA 1990; ALEVA, 1994; SHELLMANN, 2005/2010) era o da sistematização dos termos utilizados para o estudo das lateritas. Durante o Simpósio Internacional de Laterisation Processes, realizado em São Paulo, em 1982, foi indicada a necessidade de uma publicação que tratasse dos aspectos controversos relativos ao uso do termo, bem como o estabelecimento de uma coleção internacional de lateritas, com base de referência, denominada de CORLAT.

Um grupo de especialistas, formado por geólogos, geomorfólogos e pedólogos, entre outros, foi indicado para levar à frente essa tarefa. Um dos resultados desse trabalho foi a publicação denominada: “Laterites; concepts, geology, morphology and chemistry”, compilada por Aleva, G.J.J., e divulgada em 1994.

Fica patente nessa publicação a adoção da definição proposta por Shellmann (1983a) de que laterita (Fig. 5), “consiste predominantemente de um aglomerado de minerais de goethita, hematita, hidróxido de alumínio, minerais cauliniticos e quartzo”, no qual “a relação molecular  $\text{SiO}_2 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$  deve ser menor do que aquela da rocha matriz caulinizada, na qual o Al da rocha matriz encontra-se presente na forma de caulinita, todo o Fe na forma de óxi-hidróxidos e que não contenha mais sílica do que a fixada na caulinita e no quartzo primário” (ALEVA, 1994, p.13). Isto, mesmo levando em consideração, como ressaltado por Ollier e Sheth (2008), que a visão mais comumente utilizada seja aquela originada com Millot e Bonifas (1955) e Millot (1983), e não obstante sejam apresentadas várias definições sobre o tema na literatura.

Essa distribuição é representada na figura 6, do diagrama de Shellmann (*apud* BOURMAN e OLLIER, 2002). O diagrama triangular é baseado nos diferentes limites de evolução de um perfil laterítico desenvolvido em rochas graníticas e granito-gnáissicas, mostrando as proporções de Fe e Al que devem ser encontradas em cada uma delas e suas diferenciações quanto seus graus de laterização.

Segundo Shellmann (2005/2010, p.2)

...“essa relação molecular permite quantificar e estabelecer limites ao que se pode chamar de lateritas, uma vez que há perfis de intemperismo com acumulações de Fe no mundo que podem ser interpretadas como geradas por processos normais de laterização. Se os perfis mostram sinais de retrabalhamento, transporte e deposição, eles não devem ser definidos como lateritas, e sim como sedimentos lateríticos”.

Aleva (1994) e Shellmann (2005/2010), entre outros, consolidam as diferenças entre as diversas definições e consequentes interpretações da gênese das lateritas em dois grupos principais, com base nos processos envolvidos em sua formação: por enriquecimento relativo, resultante da saída de elementos químicos móveis aumentando a quantidade relativa dos elementos que permanecem, ou por enriquecimento absoluto, ou seja, pela adição desses elementos.

Mesmo na tentativa de simplificar e sumarizar as diferenças nesses dois grandes grupos de processos, essa classificação envolve questões mais profundas, como a de interpretações diferenciadas dos processos responsáveis pela gênese dessas formações.

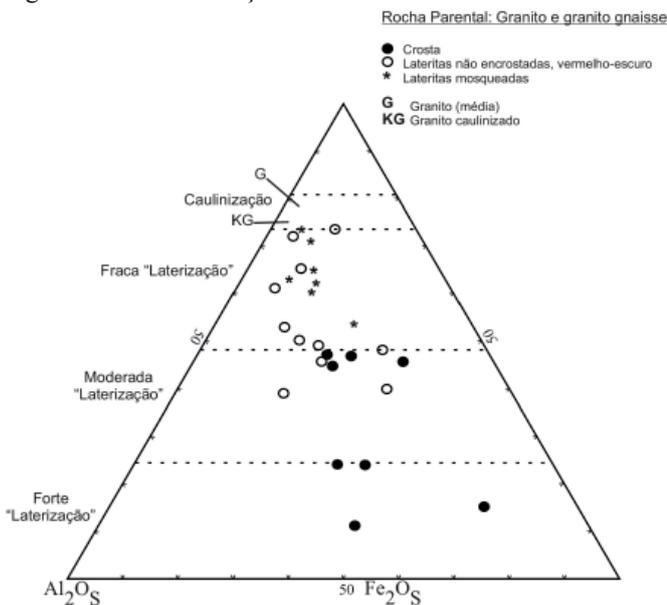


Figura 6 – Diagrama triangular de Shellmann (1983a), com a classificação das lateritas com base nas proporções de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

A adoção quase oficial da definição de Shellmann significou, na prática, uma restrição do uso do termo às formações geneticamente vinculadas à rocha abaixo, da qual a laterita é um produto, que passam a ser denominadas, então, de *lateritas verdadeiras*, *lateritas autóctones*, ou *lateritas endógenas*. Dessa definição fica excluído um grande número de formações ferríferas e bauxíticas, que passaram a ser denominadas de *lateritas falsas*, *exolateritas*, ou *lateritas alóctones*, ou seja, mesmo àquelas formadas por oscilação lateral do nível freático e as resultantes da precipitação, em especial de Fe, de soluções provenientes de áreas mais altas do relevo, reconhecidas como lateritas por vários pedólogos e geomorfólogos (SHELLMANN, 2005/2010; ALEVA, 1994).

Várias críticas se seguiram à definição de Shellmann, bem como à classificação das lateritas em verdadeiras ou falsas, em função da aplicação dessa definição. Entre estas

críticas, por exemplo, destaca-se a de que é muito difícil, se não impossível, dissociar o enriquecimento pelo movimento vertical da zona saturada daquele proveniente do enriquecimento lateral.

Esse é o ponto de vista de Bourman e Ollier (2002, p.122), ao defenderem que há indícios de que “a maioria das crostas de Fe e Al são derivadas mais de fontes laterais do que daquelas de baixo, da rocha matriz”. Mais do que isto, eles apoiam a visão de que os processos de transformação desses materiais são muito ativos, fazendo com que esta divisão “*in situ*”, ou não “*in situ*”, seja irrelevante. Sustentam a ideia de que quase todas as crostas lateríticas apresentam “algum elemento de transporte lateral de óxidos de ferro e/ou alumínio, ou fisicamente, ou em solução”, assumindo que “mesmo as ferricretes claramente transportadas, foram subsequentemente afetadas por processos paralelos de intemperismo químico” e de que “há evidências abundantes de que ocorre movimento lateral de ferro de pisolitos no relevo atual” (BOURMAN e OLLIER, 2002, p.122).

Estes autores apontam que, entre vários problemas intrínsecos à definição de Shellmann, encontra-se a questão da fonte do Fe no perfil. Porque esta definição somente admite movimentos verticais da água no perfil, e considerando que a matriz caulínica é mais antiga do que as acumulações de Fe (laterita), de onde viriam os íons de Fe? Segundo os autores (*op. cit.*), este não pode derivar da matriz caulínica, que não tem Fe. Indo mais além, eles argumentam que se o ferro é proveniente da rocha matriz, como ele passa pelo horizonte caulínico? Para Nahon (1976), Tardy *et al.* (1985) Ambrosi *et al.* (1986) e Muller *et al.* (1981), essa questão não mais se coloca, uma vez que foi constatado a formação de cangas a partir de mantos de alteração caulínicos. Isto acontece na medida em que a dissolução de caulinita produziria ferridrita que, posteriormente, se precipitaria nos microporos da matriz caulínica concomitante com sua destruição (dissolução da caulinita pelo aumento de H<sup>+</sup> com transformação do Fe<sup>2+</sup> para Fe<sup>3+</sup>), e progressiva desestabilização pela substituição de Al por Fe em sua estrutura cristalina. Posteriormente, a ferridrita se transformaria em hematita com uma redução da atividade da água no perfil (CANTINOLLE *et al.*, 1984).

Estudos de Phillips (2000) entre outros, reforçam os argumentos de Bourman e Ollier (2002), indicando a formação de ferricretes ao longo de alguns vales nas regiões das planícies costeiras do sudeste dos Estados Unidos como decorrentes da exposição de zonas de precipitação de ferro nas áreas de descarga do nível freático. Segundo ele, uma vez exposta à zona de precipitação, independente do processo de exposição, há uma rápida formação da ferricrete, o que acontece em menos de dois anos.

Outro aspecto criticado em relação à definição aceita pelo IGCP-129 está relacionado à praticidade da utilização de um termo que, para propósito de identificação de campo,

tem pouco uso. Para alguns autores, o fato de existirem solos na parte superior de mantos de intemperismo lateríticos não constitui evidência de que estes tenham se formado *in situ*. Bourman (1987) lembra que nem sempre é possível a identificação de uma zona pálida e mosqueada abaixo de horizontes ricos em Fe. Da mesma maneira, nem todas as zonas mosqueadas e pálidas apresentam correlação direta com a acumulação de Fe acima delas, tendo sido identificadas lateritas de várias idades e em várias situações geomorfológicas na Austrália.

A grande variedade de tipos de materiais, processos formadores, e de características químicas e físicas das lateritas, aponta, portanto, para a complexidade da questão da definição do termo. Isto é ilustrado, por exemplo, pelas pesquisas de Braucher *et al.*, (1998) que, ao estudarem a variabilidade da concentração <sup>10</sup>Be em veio de quartzo como função da profundidade da subsuperfície em um perfil de intemperismo laterítico na região cratônica no sudoeste de Bukina Faso, África, conseguiram identificar que ela se formou *in situ* (laterita autóctone). Contudo, em outra crosta laterítica analisada em uma área de floresta tropical úmida, em Malemba (Congo), os mesmos autores encontraram material angular em uma linha de pedra, identificado como tendo sofrido um pequeno transporte por rastejamento, enquanto outro, arredondado, na baixa vertente, foi interpretado como tendo sofrido transporte fluvial, indicando sua origem alóctone. Esses resultados reforçam o fato de que a formação das lateritas é resultado de processos complexos, cujos mecanismos interagem um com o outro, variando quanto ao grau e intensidade desta interação, sendo também espacialmente variável, o que leva os autores a sugerirem que um mesmo modelo não seja aplicável a todas as situações.

Assim é que a publicação do livro síntese “Laterites: Concepts, geology, morphology and chemistry” (1994), sob responsabilidade da Aleva, no qual se procurou obter consenso sobre alguns pontos comuns sobre lateritas, não encerrou as questões que motivaram sua publicação. Críticas continuaram ocorrendo mostrando que as divergências permanecem.

### As formações endurecidas

A indefinição sobre os aspectos químicos, mineralógicos, morfológicos e genéticos das lateritas, fez com que ocorressem várias tentativas de classificar os materiais ricos em ferro e alumínio que apresentam endurecimento.

A utilização do termo “ferricrete” abre um novo capítulo em termos de adequação, ou não, ao que alguns autores definiram como laterita. A palavra foi primeiramente empregada por Lamplugh (1902, *apud* EGGLETON e TAYLOR, 1999, p. 213) para materiais: “(a) consistindo de areia e cascalho cimentado em uma massa dura por sais de ferro derivados da oxidação de soluções de sais de ferro perco-

lantes (b) crostas (*duricrusts*) ferruginosas”. Alguns autores, a exemplo de ROQUIN *et al.*, (1990, p.124), usam o termo em um sentido mais amplo, como “acumulações relativas de elementos maiores, pouco móveis, como o ferro, alumínio e sílica, e elementos traços, menores, como o vanádio, cromo, fósforo, e de minerais insolúveis, como o quartzo, ilmenita, turmalina e zircônio”, o que, a rigor, por ser aplicado a qualquer definição de lateritas. Essa é a opinião de Goudie (1973, p.15/16), para quem os perfis de ferricrete e lateritas são correspondentes, tendo sido originalmente associados com o tipo de perfil *in situ*, conhecido como perfil de WALTER (Fig. 2), e formados

“por seis elementos básicos: na superfície, uma zona de solo, que pode ter ou não um horizonte nodular, sob a qual ocorre uma crosta de ferro, denominada de carapaça ou couraça, dependendo do grau de endurecimento, abaixo da qual frequentemente ocorre a zona de mosqueamento, a zona pálida, uma zona silicificada e a zona intemperizada (*zersatz zone*)”.

O termo ferricrete tem sido utilizado de forma mais ou menos restrita à porção concrecionária das zonas superiores de algumas lateritas (OLLIER SHETH, 2008; PEDRO, 1983). Essa utilização consolidou-se no sentido de definir porções endurecidas de formações ricas em ferro e alumínio. É o que recomendam Pain e Ollier (1992) para todo o material cimentado por ferro, evitando o uso do termo laterita para descrever qualquer parte do perfil da crosta ferruginosa. Eggleton e Taylor (1999, p.213), para quem, “laterita não é uma palavra útil para descrever uma crosta ferruginosa endurecida”, sugerem não utiliza-la para estes materiais, recomendando também o uso do termo ferricrete. Embora a sugestão seja acatada por Tanner e Khalifa (2009, p.10), eles chamam a atenção para o fato de que mesmo este termo é muito amplo e utilizado, em geral, para designar “crosta cimentada pelo ferro formada por vários processos em estrato sedimentar, particularmente a pedogênese”.

O termo ferricrete é muitas vezes substituído por *duricrust* (ferralítica), que constitui um termo petrográfico, utilizado como sinônimo de laterita correlacionado ao material rico em ferro, constituindo ...“um produto dentro da zona de intemperismo terrestre em que sesquióxidos de ferro ou alumínio (no caso de ferricretes e alumicretes) ou sílica (no caso de silcrete)”...(GOUDIE, 1973, p.5).

Embora contenha elementos semelhantes às ferricretes em termos de definição, para Faniran e Jeje (1983, p.57), *duricrust* é um material com características morfológicas e químicas variadas que vão de uma massa vesicular, vermicular, concrecionária ou pisolítica até um material massivo endurecido, constituído essencialmente de óxido de ferro, alumínio e quartzo, sendo que sua dureza varia com a idade,

posição no perfil, material parental, constituintes minerais e grau de desintegração após endurecimento.

Os argumentos de Tanner e Khalifa (2009) vêm ao encontro do que sugere Shellmann (2005/2010) ao enfatizar a necessidades do estabelecimento de limites ao que se pode chamar de laterita. Esses limites, no entanto, continuam imprecisos, pois o próprio Shellmann, que é um dos defensores dos modelos “*in situ*”, denomina de laterita, feições como ferricretes ou couraças ferralíticas ou bauxíticas, que podem, de acordo com vários autores, ser interpretadas como o resultado de enriquecimento alóctone, pela remobilização do Fe proveniente de couraças mais antigas, erodidas e repositadas em partes mais baixas do relevo (McFARLANE, 1976; BOURMAN e OLLIER, 2002). Este é o caso também de Nahon e Tardy (1992, p.41; Maignien, 1966, p.14), para quem “bauxitas, ferricretes, couraças de Fe e Al, carapaças, couraças, pisolitos e formações que contenham nódulos e também horizontes caulíníticos, nos quais concreções e zonas mosqueadas aparecem”, estariam incluídas na definição de laterita.

O reconhecimento da ocorrência relativamente comum de processos de formação alóctones ou exógenos de lateritas, nas áreas tropicais e subtropicais, constitui, de acordo com alguns autores, argumento forte o suficiente para a não aceitação da definição mais restrita do termo. Neste sentido, Goudie (1973) e McFarlane (1976), bem como trabalhos mais recentes (OLLIER e TAYLOR, 2008) reportam que um dos problemas para a aceitação da definição de laterita senso estrito, reside no fato de que várias pesquisas demonstram não ser possível estabelecer, a partir de atributos químicos e mineralógicos, a associação direta das lateritas com a rocha matriz abaixo.

### Situação atual

É interessante constatar que as mesmas críticas sintetizadas por McFarlane há mais de trinta anos, antes, portanto, da publicação do IGCP-129, ao afirmar que “as tentativas de definição mais precisa do termo falharam ao tentar dar uma base mais científica para o uso desse termo e, além disso, complicaram mais ainda a situação” (McFARLANE, 1976, p.22), continuam atuais. Encontram eco nas críticas recentes, como nas de Eggleton e Taylor (1999) e Ollier e Sheth (2008), podendo ser sintetizadas no que Bourman e Ollier (2002, p.129) explicitam, ao afirmarem que ‘*lateritic*’ como um adjetivo é usado para descrever uma ampla gama de processos “incluindo aspectos do intemperismo, da pedogênese, da formação de ferricretes e da formação de caulim. A variação da aplicação é na verdade tão ampla que este a torna sem significado, de maneira que se pode apenas esforçar para adivinhar o que um autor em particular quer dizer quando emprega o termo.”

Bourman e Ollier (2002), entre outros, chegaram a propor a abolição total do termo laterita, mas concordam com Eggleton e Taylor (1999) que a terminologia encontra-se por demais entranhada na literatura para ser abolida. Sugerem, no entanto, que o termo seja utilizado de forma mais geral e descritiva e nunca em termos de definição.

Mesmo a posição do IGCP-129, secundada por vários outros autores, incluindo Shellmann (2005/2010), de que todas as outras formas de enriquecimento de Fe e Al que não se encaixem no pré-requisito de enriquecimento relativo, ou seja, todos os que “mostram sinais de retrabalhamento, transporte ou deposição” (denominados por Shellmann de sedimentos lateríticos, ou “*complex lateritic occurrences*”), sejam agrupadas sob os nomes de exolateritas, falsas-lateritas, ou fácies derivadas de lateritas, parece não ter encerrado a questão.

Fato é que, segundo Tanner e Khalifa (2009, p.1), alguns autores, como McFarlane (1976), Phillips (2000), Widdowson (2007), Ollier e Sheth, (2008), entre outros, ainda usam o termo ferricrete como correspondente “ao regolito endurecido em razão da cimentação do ferro na zona de flutuação do nível freático” distinguindo-as, portanto, da laterita como definida por Shellmann (1983a, 1983b, 2005/2010), Aleva (1994) e Bárdossy e Aleva (1990), o que amplia a indefinição do termo, como discutido ao longo deste artigo.

Trabalhos mais recentes mostram que não somente a utilização do termo é realizada de maneira ampla, como é o caso de Suprapan *et al.* (2001), em seus estudos sobre oxissolos e ferrissolos na Indonésia, de Yanni (2003) na análise das lateritas no Decan, Índia, e dos de Spier *et al.* (2006) na análise dos perfis de intemperismo desenvolvidos em Formações Ferríferas em Minas Gerais, no Brasil, como o fazem de maneira diferente da usual, como Achyuthan (2004), que chega a denominar de ferricrete as áreas endurecidas dentro da zona de intemperismo.

Portanto, a questão de definição de laterita permanece ainda relativamente aberta, embora esta tenha sido objeto de debate e análise pelo menos nos últimos 200 anos (GOUDIE, 1973; McFARLANE, 1976; FISCHER, 1989; BOURMAN, 1993; BÁRDOSSY e ALEVA, 1990; BOURMAN e OLLIER 2002; EGGLETON e SHETH 1999; TANNER e KHALIFA, 2009). Isto ocorre, como discutido neste artigo, em função de interpretações diferenciadas e da ausência de prova concreta de que apenas um processo e seus mecanismos associados sejam responsáveis pela gênese de todas as lateritas estudadas. Da mesma maneira como apontado por McFarlane (1976, p.22), parte do problema decorre “da ausência de observação das diferenças essenciais entre os vários materiais que são incluídos no termo laterita”.

## Considerações Finais

A controvérsia em torno da definição de laterita pode ser sumarizada em três propostas principais:

1- Uma primeira proposta defende que lateritas seriam materiais formados através de enriquecimento secundário de Fe e Al, ou ambos, como resultado de processos que ocorrem *in situ*, por movimentação vertical, descendente ou ascendente da água, denominada de enriquecimento relativo. Os elementos mais móveis, como cátions metálicos  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$ , seriam lixiviados, ficando acumulados apenas os menos móveis, alguns metais nativos como Au, Pt, Nb, Ni, Cr etc e alguns resistatos, como quartzo, turmalina, rutilo e cassiterita. Essas constituiriam as “lateritas verdadeiras” (*true laterite*) ou autóctones. Para os defensores dessa proposta, as lateritas formadas pelos demais tipos de enriquecimento seriam denominadas de “laterita falsa” (*false laterite*), ou lateritas alóctones (McFARLANE, 1976; SHELLMANN, 1983a e b; TARDY e NAHON, 1985; ALEVA, 1994). Mais recentemente, houve a aceitação, por parte dos que defendem essa gênese, de que, entre os mecanismos envolvidos no processo de enriquecimento, constasse a variação sazonal do freático, provocando a retirada do ferro das zonas caulíníticas e sua deposição nas zonas imediatamente acima da zona mosqueada (MAIGNIEN, 1966; MILLOT, 1983; PHILLIPS, 2000; BOURMAN e OLLIER, 2002).

2- Uma segunda proposta considera que lateritas seriam todas as feições com enriquecimento primário ou secundário de ferro e alumínio, independentemente da fonte de origem de acumulação do material e dos seus processos de precipitação (VALENTON, 1983, 2009; BOURMAN, 1983; PHILLIPS, 2000; BOURMAN e OLLIER, 2002; OLLIER e TAYLOR, 2008), incluindo a aquisição do Fe por transporte lateral do nível do freático;

3- Uma terceira aponta para a eliminação do termo laterita em favor da denominação de feições mais precisas como ferricrete, zona mosqueada, entre outros, tendo em vista que o uso indiscriminado do termo levou a perda do seu significado como identificador de um elemento geológico/pedológico/geomorfológico da paisagem (BOURMAN e OLLIER, 2002).

Essas três propostas não foram totalmente aceitas, pois os trabalhos mais recentes continuam não somente a utilizar o termo, como a ampliar suas interpretações, apontando, possivelmente para o fato de que, na verdade, existam várias lateritas, assim como vários processos e mecanismos associados à formação das mesmas, como apontado, entre outros, por Maignien (1966).

Há, contudo, alguns consensos na literatura. Um deles é o reconhecimento de que uso indiscriminado dessa terminologia acabou por levar a uma confusão de conceitos que prevalece ainda hoje (GOUDIE, 1973; McFARLANE, 1976; BOURMAN, 1987; BÁRDOSSY e ALEVA, 1990; ALEVA, 1994; OLLIER e TAYLOR, 2008; TANNER e KHALIFA, 2009; THOMAS, 2010). Dessa forma, o termo é aplicado, segundo Bourman e Ollier (2002, p.129),... “para descrever solos”, material ferruginoso, (principalmente ferricrete), perfis de intemperismo químico e o agrupamento químico de Shellmann, enquanto o adjetivo laterítico, é utilizado “para descrever um amplo leque de processos, incluindo o intemperismo químico da pedogênese, da formação da ferricrete e mesmo da formação, da caulinita”.

Existe concordância também com relação à ocorrência de algumas características comuns a todas essas feições. Análises mineralógicas, petrográficas, químicas e morfológicas apuradas revelaram, por exemplo, a ocorrência de enriquecimento de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , ou seja, de ferro e alumínio em todas as lateritas estudadas, a ponto desses elementos terem sido propostos como base para definir a laterita (DELVIGNE, 1965; BOULANGÉ *et al.*, 1975; SHELLMANN, 1983a, 1983b, 2005/2010; BÁRDOSSY e ALEVA, 1990; ALEVA, 1994).

Pode-se assumir que também há uma aceitação mais ou menos generalizada de que apenas a capacidade de endurecimento do material não seja um critério suficientemente sólido para ser utilizado como critério único para diferenciar os materiais lateríticos.

Nesse trabalho, propomos o uso do termo em seu sentido mais amplo, ou seja, o de formações ricas em ferro e alumínio, formadas pela atuação de intensos processos de intemperismo químicos e físicos, em resposta às novas condições de temperatura (T) e pressão (P), diferentes daquelas da formação original da rocha. Esta definição inclui, portanto, aquelas formações resultantes da *acumulação relativa* do ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) e/ou alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), com a consequente perda de sílica ( $\text{SiO}_2$ ) e de bases (Ca, Mg, K, Na), e das resultantes da *acumulação absoluta*, ou seja, pelo aporte de óxidos de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) e/ou alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), de lateritas primárias e secundárias (MAIGNIEN, 1966; BOURMAN, 1983; BOURMAN e OLLIER, 2002; OLLIER e TAYLOR, 2008).

A inclusão da exolaterita (laterita alóctone) se deve ao fato de ser muito difícil diferenciá-las das autóctones (endolateritas), formadas pela saída da sílica e das bases por movimentação vertical da água, em situação de campo, requerendo, para seu reconhecimento, o detalhamento de análises químicas, mineralógicas e micromorfológicas. Também, pelo fato de que as lateritas exógenas serem importantes indicadores da evolução do relevo (MAIGNIEN, 1966; McFARLANE, 1976; THOMAS, 1994; VALENTON, 2009).

Também, como ressaltado por Bourman e Ollier (2002), apontamos para a necessidade da definição do termo antes de qualquer publicação, como maneira de evitar interpretações equivocadas, em caso da opção no trabalho, seja a da utilização do termo laterita.

### Agradecimentos

A primeira autora agradece a CAPES pela bolsa de Estágio Sênior, que lhe deu condições para o desenvolvimento da pesquisa que serviu de base para este artigo. Agradecemos também ao Professor Fábio de Oliveira, do Departamento de Geografia, do IGC-UFMG, pela leitura e sugestões ao texto.

### Referências bibliográficas

- AMBROSI, J.P.; NAHON, D.; HERBILLON, A.J. The epigenetic replacement of kaolinite by hematite in laterite-petrographic evidence and the mechanisms involved. **Geoderma** 37, Issue 4, p.283-294, 1986.
- ACHYUTHAN, H. Paleopedology of ferricrete horizons around Chennai, Tamil Nadu, India. **Revista Mexicana de Ciencias Geológicas** Vol. 21, p.133-143, 2004.
- ALEVA, G.J.J. Laterites. Concepts, geology, morphology and chemistry. ISRIC, Wageningen, 1994. 169p.
- ANJOS, L.H.C.; FRANZEIR, P.; SCHULZE, D.G. Formation of soils with plinthite on a topsequence in Maranhão State, Brazil. **Geoderma** 64, p.257-279, 1995.
- BÁRDOSSY, G.; ALEVA, G.J.J. Lateritic Bauxites. Development in Economic Geology (27). Amsterdam: Elsevier, 1990. 619p.
- BEOUDEULLE, M.; MEULLER J.P. Structural characteristics of hematite and goethite and their relationships with kaolinite in a laterite from Cameroon. **Bull. Minéral** No. 111, p.149-166, 1988.
- BOEGLIN, J.L.; MELFI, A.J.; NAHON, D.; PAQUET, H.; TARDY, Y. Early formed mineral parageneses in the deep zones of supergene ores in lateritic weathering. In: **Proceedings of the II International Symposium on Laterization Processes**. São Paulo, IGCP-129-IGCP, p.71-84, 1983.
- BOULANGÉ, B.; PAQUET, H.; BOUCQUIER, G. Le rôle de l'Argile dans la migration et accumulation de l'alumine des certains bauxites tropicales. **CR Acad Sci Paris** 280 (D), p.2183-2186, 1975.
- BOULANGÉ, B.; SIGOLO, J.B.; DELVIGNE, J. Petrologia das concentrações relativas e absolutas em perfis de alteração laterítica: exemplos de enriquecimento supergênico de ferro e alumínio. **Bol. IGC-UP, Sér-Cient**, 18, p.1-10, 1987.
- BOULET, R. Análise estrutural da cobertura pedológica e cartografia. **Anais do XXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, Campinas, SP, p.31-90, 1993.
- BOURMAN, R.P.; MILNES, A.R.; OADES, J.M. Investigation of ferricretes and related surficial ferrous materials in parts of southern and eastern Australia. In: McFarlane, M.J. (ed.), Laterites: Some Aspects of Current Research, **Zeit. Geomorph. Suppl. Bd.** 64, p.1-24, 1987.
- BOURMAN, E.P. Perennial problem in the study of laterite: a review. **Australian Journal of Earth Sciences** Vol. 40, Issue 4, p.387-401, 1993.
- BOURMAN, R.P.; OLLIER, C.D. A critique of the Shellmann definition and classification of laterite. **Catena** Vol. 47, Issue 2, p.117-131, 2002.
- BRAUCHER, R.; COLIN, F.; BROWN, E.T.; BOURLÈS, BAMBA, D.L.; RAISBECK O. G.M.; YIOU F.; KOUD, J.M. African laterite dynamics using in situ-produced <sup>10</sup>Be. **Geochimica et Cosmochimica Acta** Vol. 62, Issue 9, p. 1501-1507, 1998.
- BOWDEN, D.J. On the composition and fabric of the footslope laterites (duricrust) of Sierra Leone, West Africa, and their geomorphological significance. In: McFarlane, M.J. (ed.), Laterites: Some Aspects of Current Research, **Zeit. Geomorph. Suppl. Bd.** 64, p.39-53, 1987.
- CANTINOLLE, P.; DIDIER, P.; MEUNIER, J.D.; PATRON, C.; GUENDON, J.L.; BOCQUIER, G.; NAHON, D. Kaolinites ferrifères et oxyhydroxydes de fer et d'alumine dans les bauxites des Canonettes, S.E. de la France. **Clay Minerals** Vol. 19, p.125-135, 1984.
- COLIN, F.; ALARCONA, C.; VIEILLARDB, P. Zircon: an immobile index in soils? **Geochemical Geology** 107, p.273-276, 1993.
- COSTA, M.L. Aspectos Geológicos dos Lateritos da Amazônia. **Revista Brasileira de Geociências** 21(2), p.146-160, 1991.
- CUI, Z.; LI, D.; LIU, G.; FENG, J.; ZHANG, W. Characteristics and planation surface formation environment of the red weathering crust in Hunan, Guangxi, Yunnan, Guizhou and Tibet. **Science in China Series D**, Vol. 44 Supp., p.162-175, February 2001.
- DE SWARDT, A.M.J. Laterization and landscape developments in parts of equatorial Africa. **Zeit. Geomorph.** NF 8, p.313-333, 1964.
- DELVIGNE, J. Pédogenese en zone tropicale. La formation des minéraux secondaires em milieu ferrallitique. **Mém. ORSTROM** 13, Dunod, Paris, 1965. 177 p.
- DICTIONARY OF EARTH SCIENCES. ALLABY, M. (ed.), 3rd ed., Oxford: Oxford University Press, 2008. 661p.
- EGGLETON, R.A.; TAYLOR, G. Selected thoughts on "laterite". In: Taylor, G.; Pain, C.F. (eds.), **Regolith**, Perth: Cooperative Research Centre for Landscape Evolution and Mineral Exploration, p.209-226. 1999.
- ESCHWEGE, W. L. v. **Jornal do Brasil**, 1811-1817. Trad. Friedrich E. Renger, Tarcisia L. Ribeiro, Günther Augustin. Belo Horizonte: Fundação João Pinheiro, Centro de Estudos Históricos e Culturais, 2002. 408 p.
- FANIRAN, A.; JEJE, L.K. **Humid Tropical Geomorphology**. New York, Longman, 1983. 414p.
- FISCHER, K. Prozesse und produkte lateriticher Verwitterung in oberkretazischen sedimenten oberägyptens und des Nordsudan. **Berliner Geowissenschaftliche Abhandlungen** Reihe A, Band 115, Freie Universität Berlin, 1989. 123p.
- GARDNER, L.R. Long term isovolumetric leaching of aluminium from rocks during weathering: implications for the genesis of saprolite. **Catena** Vol. 19, Issue 6, p.521-537, 1992.
- GILKES, R.J.; SCHOLZ, G.; DIMMOCK, G.M. Lateritic Deep Weathering of Granite. **Journal of Soil Science** Vol. 24, Issue 4, p.523-536, 1973.

- GOUDIE, A. Duricrust in tropical and Subtropical Landscapes. Oxford: Clarendon Press, 1973. 174p.
- THOMAS, M. Geomorphology in the Humid tropics, 1890-1965. In: Burt, T.P., Chorley, R.J., Bunsden, D., Cox, N.J., Goudie, A.S. (eds), The History of the Study of the Landforms, Part IV: Other Regional Processes and Landforms (Chapter 14), Vol. 4, p. 679-727, Trowbridge: The Geological Society of London, Cromwell Press, 2010. 1027 p.
- GRANINA, L.; LLERB, B.M.; WEHRLI, B. Origin and dynamics of Fe and Mn sedimentary layers in Lake Baikal. **Chemical Geology** 205, p.55-72, 2004.
- JE HUNJANG; DEMPSEY B.; BURGOS, W. Solubility of Hematite Revisited: Effects of Hydration. **Environ. Sci. Technol.** 307-3, No 41, p.7303-7308, 2007.
- KÄMPF, N.; SCHWERTMANN, U. Goethite and hematite in a climosequence in southern Brazil and their application in classification of kaolinitic soils. **Geoderma** 29, p.27-39, 1983.
- KRONBERG, B.I.; MELFI, A.J. The geochemical evolution of lateritic terranes. In: McFarlane, M.J. (ed.), Laterites: Some Aspects of Current Research, **Zeit. Geomorph. Suppl Bd.** 64: p.1-24, 1987.
- KRONBERG, B.I.; FYFE, W.S.; NESBITT, H.W.; MELFI, A.J. Kinetics and the Geochemistry of weathering. In: **Proceedings of the II International Symposium on Laterization Processes**, São Paulo, IGCP-129-IGCP, p.271-279, 1983.
- KUMAR, A. Palaeoenvironments and the age of Indian Laterites. **Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology** Vol. 53, Issues 2-4, p. 231-237, 1986.
- LAWRENCE, H.; TANNER A.; MOHAMED, A.; KHALIFA, B. Bahariya Formation, Bahariya Oasis, Western Desert, Egypt. Origin of ferricretes in fluvial-marine deposits of the Lower Cenomanian. **Journal of African Earth Sciences** xxx 2009-xxx-xxx, 2009. 11p.
- LUCAS, Y.; CHAVEL, A. Soil formation in tropically weathered terrains. In: Butt, C.R.M. e H. Zeegers (eds), Regolith Exploration Geochemistry in Tropical and Subtropical Terrains. Handbook of Exploration Geochemistry, Elsevier Science Publishers, p.57-77, 1992.
- MAIGNIEN, R. Review of research on Laterites. Natural Resources Research, UNESCO IV, 1966. 148p.
- McFARLANE, M.J. A low level laterite profile from Uganda and its relevance to the question of parent material influence on the chemical composition of laterites. London: Geological Society London Special Publications, 1983, Vol. 11; p.69-76. doi: 10.1144/GSL.SP.1983.011.01.09.
- McFARLANE, M.J. Laterite and Landscape. London: Academic Press, 1976. 151 p.
- MEYER, R. Paleoalterites and Paleosols. Rotterdam: Balkema, A.A., 1997. 151p.
- MILLOT, G.; BONIFAS, M. Transformation isovolométriques dans les phénomènes de latérisation et de bauxitisation. **Bull. Serv. Carte Géol. Als. Lorr.** 8(1), p.3-20, 1955.
- MILLOT, G. Planation of Continents by Intertropical weathering and pedogenetic processes. In: **Proceedings of the II International Seminar on Laterization Processes**, São Paulo, IGCP-129/IAGC, p.53-63, 1983.
- MULLER, D.; BOCQUIER, G.; NAHON, D.; PAQUET, H. Analyse des différenciations minéralogiques et structurales d'un sol ferrallitique à horizons nodulaires du Congo. **Cah. O.R.S.T.O.M., Sér. Pédol.** 18, p.87-109, 1981.
- NAHON, D. Cuirasses ferrugineuses et encroutements calcaires au Sénégal occidental et en Mauritanie. Systèmes évolutifs: géochimie, structures, relais et coexistence. Strasbourg: Mém. Sci. Géol. 44, 1976. 232p.
- NAHON, D.; HERBILLON, A.; BEAUVAIS, A. The epigenic replacement of kaolinit by lithophoride in a nanaganese-lateritic profile, Brazil. **Geoderma** Vol. 44, p.147-259, 1989.
- NAHON, D.; MERINO, E. Pseudomorphic Replacement in Tropical Weathering: Evidence, Geochemical Consequences, and Kinetic-Rheological Origin. **American Journal of Science** Vol. 297, p.393-417, 1997.
- NAHON, D.; PARC, S. Lateritic concentration of manganese of hydroxides and oxides. **Geologische Rundschau** Vol. 79, No. 2, p.319-326, 1992.
- NAHON, D.; TARDY, Y. The Ferruginous Laterites. In: Butt, C.R.M.; Zeegers, H. (eds), Regolith, Exploration Geochemistry in Tropical and Subtropical Terrains, Elsevier Science Publishers, p.41-54, 1992.
- OLLIER, C.D.; SHETH, C.H. The High Deccan duricrusts of India and their significance for the 'laterite' issue. **J. Earth Syst. Sci.** Vol. 117, No. 5, p.537-551, 2008.
- PADMANABHAN, E.; ESWARAN, H. Plinthite and Petroplinthite. In: Rattan Lal (ed.), Soil Science, 2nd ed., New York: New York CRC Press, Vol. 2, p.1314-1317, 2005. 2060p.
- PEDRO, G. La genèse des hydroxydes d'aluminium par altération expérimentale des roches cristallines et Le problème des latérites. **International Geology Congress**, 22(14), p.1-13, 1964.
- PEDRO, G. Structuring of some basic pedological processes. **Geoderma** 31, Issue 4, p.289-299, 1983.
- PEDRO, G.; MELFI, A.J. The superficial alteration in tropical region and the lateritisation phenomena. In: **Proceedings of the II International Seminar on Laterization Processes**, São Paulo, IGCP-129/IAGC, p.3-13, 1983.
- PHILLIPS, J. Rapid Development of ferricretes on a subtropical valley side slope. **Geografiska Annaler**, Series 82, Issue 1: Physical Geography. Swedish Society for Anthropology and Geography, p.79-88, 2000.
- RENGASAMY, P.; SARMA, V.A.K.; MURTHY, R.S.; KRISHNA MURTI, G.S.R. Mineralogy, Genesis and Classification of Ferruginous Soils of the Eastern Mysore Plateau, India. **Journal of Soil Science** Vol. 29, Issue 3, p.431-445, September 1978.
- RAMANAIDOU G.; NAHON D.; DECARREAU A.; MELFIA. J. Hematite and Goethite from Duricrusts Developed by Lateritic Chemical Weathering of Precambrian Banded Iron Formations, Minas Gerais, Brazil. **Clays and Clay Minerals** Vol. 44, No. 1, p.22-31.1996.
- ROQUIN C.; PAQUET H.; FREYSSINET P.; BOEGLIN J.L.; TARDY, Y. Lithodependence and Homogenization of mineralogical and Chemical Composition of Ferricretes. In: **2nd International Symposium, Geochemistry of the Earth's Surface and of Mineral Formation**, Aix en Provence, France, p. 124-127, 1990.

- SCHWARZ, T. Lateritic bauxite in central Germany and implications for Miocene palaeoclimate. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology** Vol. 129, Issues 1-2, p.37-50, March 1997.
- SCHWERTMANN, U.; FITZPATRICK, R.W. Al-substituted goethite-An indicator of pedogenic and other weathering environments in South Africa. **Geoderma** 27, Issue 4, p.335-347, 1982.
- SCHWERTMANN, U. The role of aluminium in iron oxide systems. In: **Proceedings of the II International Seminar on Laterization Processes**, São Paulo, IGCP-129/IAGC, p.65-68, 1983.
- SCHWERTMANN, U.; CAMBIER, P.; MURAD, E. Properties of goethites of varying crystallinity. **Clays and Clay Minerals** Vol. 33, No. 5, p.369-378, 1985.
- SCHWERTMANN, U.; TAYLOR, R.M. Iron oxides. In *Mineral in the Soil Environments*. **Soil Sci. Am.**, Madson, Wi; p.145-180, 1977.
- SEGALEN, P. Soils and tropical weathering. Proceedings of the Bandung Symposium. Natural Resources Research XI, UNESCO, 1969. 149p.
- SHELLMANN, W. A new definition of laterite. **Natural Resources and Development** 18, p.7-21, 1983a.
- SHELLMANN, W. Geochemical principles of laterite nickel ore formation. In: **Proceedings of the II International Seminar on Laterization Processes**, São Paulo, IGCP-129/IAGC, p.119-135, 1983b.
- SHELLMANN, W. Geochemical differentiation in laterite and bauxite formation. **Catena** 21, p.131-145, 1994.
- SHELLMANN, W. (2005/2010). Laterite Story: An Introduction in Laterite. Disponível em: <<http://www.laterite.de/>>. Acesso em 15-10-2010.
- SHERMAN, G. D. Factors Influencing the Development of Lateritic and Laterite Soils in the Hawaiian Islands. **Pacific Science** Vol. HI, p.307-314, 1949.
- SPÄTH, H. Landform development and laterites in northwest Australia. In: McFarlane, M.J. (ed.), **Zeit. Geomorph.** Suppl Bd. 64: Laterites: Some Aspects of Current Research, p.163-180, 1987.
- SPIER, C.A.; VASCONCELOS, P.M.; OLIVIERA, S.M.B. 40 Ar/39Ar Geochronological constrains on the evolution of lateritic iron deposits in the Quadrilátero ferrífero, Minas Gerais, Brazil. **Chemical Geology** Vol. 234, Issues 1-2, p.79-104, 2006.
- SUPRAPAN, P.; DAM, R.A.C.; VAN DER KAARS, S.; WONG, T.E. Late quaternary tropical lowland environments on Halmahera, Indonesia. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology** 171, p.229-258, 2001.
- TANDY, J.C.; GRIMALDI, M.; GRIMALDI, C.; TESSIERINRA, D. Mineralogical and textural changes in French Guyana oxisols and their relation with microaggregation. Documenta da O.R.S.T.O.M. Cayenne, French Guyana, No. 30.351, 11 de julho de 1990, p.191-198, 1990.
- TANNER, L.H.; KHALIFA, M.A. Origin of ferricretes in fluvial-marine deposits of the Lower Cenomanian Bahariya Formation, Bahariya Oasis, Western Desert, Egypt. **Journal of African Earth Sciences Journal of African Earth Sciences** xxx (2009) xxx-xxx, p.1-11, 2009.
- TARDY, Y. Characterization of the principle weathering types by geochemistry of waters from some European and African Crystalline massifs. **Chem. Geology** 7, p. 253-271, 1971.
- TARDY, Y.; NAHON, D. Geochemistry of laterites, stability of Al-goethite, Al-hematite, and Fe-kaolinite in bauxites and ferricretes: An approach to the mechanism of concretion formation. **Amer. Journal of Sci.** 285, p.865-903, 1985.
- TAYLOR, G.; EGGLETON, R.A.; FOSTER, L.D.; MORGAN C.M. Landscapes and regolith of Weipa, northern Australia. **Australian Journal of Earth Sciences** 55, p.3-16, 2008.
- TAYLOR, G.; TRUSWELL, E.M.; EGGLETON, R.A.; MUGRAVE, R. Cool Climate Bauxite. Geochemistry of the Earth Surface and Mineral Deposition. **2nd International Symposium of Geochemistry** July 1-8, 1990, Aix en Provence, France, p. 183-184, 1990.
- THOMAS, M. Geomorphology in the Humid tropics, 1890-1965. In: Burt, T.P., Chorley, R.J., Bunsden, D., Cox, N.J., Goudie, A.S. (eds), *The History of the Study of the Landforms, Part IV: Other Regional Processes and Landforms (Chapter 14)* Vol. 4, p. 679-727, The Geological Society of London, Trowbridge: Cromwell Press, 2010. 1027 p.
- TROLARD, F.; TARDY, Y. A model of Fe<sup>3+</sup> + -Kaolinite, Al<sup>3+</sup> + - Goethite, Al<sup>3+</sup> + -Hematite equilibria in laterites. **Clay Minerals** 24, p.1-21, 1989.
- THOMAS, M. Geomorphology in the tropics. NY: Wiley and Sons, 1994. 460p.
- TURKINGTON, A.V.; PHILLIPS, J.D.; CAMPBELL, S.W. Weathering and landscape evolution. **Geomorphology** Vol. 67, Issues 1-2, p.1-6, 2005.
- VALETON, I. Palaeoenvironment of lateritic bauxites with vertical and lateral differentiation. London: Geological Society of London. Special Publication Vol. 11, p.77-90, 1983.
- VALETON, I. Saprolite-Bauxite Facies of Ferralitic Duricrusts on Palaeosurfaces of Former Pangaea. In: Médard Thiry, Simon-Coinçon, R. (eds), *Palaeoweathering, Palaeosurfaces and Related Continental Deposits*, p. 153-188, Wiley on line, 2009. 406p.
- VASCONCELOS, P.M.; BRIMHALL, G.H.; BECKER, T.A.; RENNE, P.R. 40Ar/39Ar analysis of supergene jarosite and alunite: implications to the paleoweathering history of the western USA and West Africa. **Geochimica et Cosmochimica Acta** 58, p.401-420, 1994.
- KER, J. C. Latossolos do Brasil: uma revisão. **Geonomos** Vol. 5, No. 1, p.17-40, 1997.
- WAN, Y., WAN, Y., MERINO, E. Dynamic weathering model: constrains required by coupled dissolution and pseudomorphic replacemement. **Geochimica et Cosmochimica Acta** Vol. 59, p.1559-1570, 1995.
- WIDDOWSON, M. Laterite and ferricrete. In: Nash, D.J., McLaren, S.J. (eds.), *Geochemical Sediments and Landscapes*, Massachusetts: Blackwell, Malden, p.46-94, 2007.
- YANNI, G. Radiometric ages of laterites and constrains on long-term denudation rates of West Africa. **Geology** Vol. 31, No 2, p.131-134, 2003.
- ZHANG, G-L.; PAN J-H.; HUANG C-M.; GONG, Z-T. Geochemical features of a soil chronosequence developed on basalt in Hainan Island, China. **Revista Mexicana de Ciencias Geológicas** Vol. 24, No. 2, p.261-269, 2007.