

Lateritas do Domínio Médio Coreaú – Comportamento geoquímico de mantos lateríticos do Noroeste do Estado do Ceará

Laterites of the Coreaú Mid-Domain – Geochemistry behavior of lateritic mantles in the Northwest of Ceará State

Ana Cláudia de Abreu Siqueira¹, Christiano Magini^{2*}, Elton Luis Dantas³,
Reinhardt Adolf Fuck³, José Marcos Sasaki⁴

RESUMO: Neste trabalho é apresentada uma avaliação sobre a assinatura geoquímica dos principais elementos maiores em rochas lateríticas que ocorrem nos municípios de Granja, Martinópole e Parazinho, no Noroeste do Estado do Ceará. Geologicamente, a área está localizada no Domínio Médio Coreaú, caracterizada pelo Complexo Granja, representando o embasamento da região, composto por gnaisses, granulitos e migmatitos e por sequências supracrustais compostas pelos quartzitos e filitos do Grupo Martinópole e Ubajara, além de sedimentos cenozoicos da Formação Barreiras. Lateritas são normalmente encontradas em climas úmidos (sazonais ou não), porém a condição climática atual da região é considerada semiárida. Sendo assim, o mais provável é que o processo que levou à geração desses mantos seja decorrente de condições climáticas mais antigas e diferenciadas da atual. As lateritas encontram-se associadas aos gnaisses, quartzitos e filitos. O processo de laterização predominante é o enriquecimento em metais, principalmente o ferro. Os teores de ferro variam de 34,69 a 77,85% nas zonas laterizadas; essa tendência ferruginosa é mais evidente nos gnaisses, em que os valores de enriquecimento chegam a resultados acima de 75%. Os teores de Al crescem aproximadamente de 6 a 7% na rocha em processo de alteração. Dados isotópicos Sm-Nd mostram que os valores das razões obtidas nas lateritas são similares aos protólitos, podendo ser utilizados na definição de lateritas autóctones ou alóctones, além de confirmar relativa imobilidade do Sm e do Nd no processo de laterização.

PALAVRAS-CHAVE: NW Ceará; laterita; intemperismo; geoquímica.

ABSTRACT: In this paper an evaluation is made over the geochemistry signature of major elements in lateritic rocks on the counties of Granja, Martinópolis and Parazinho, Northwest of Ceará State. Geologically, the area is located in Médio Coreaú Domain, characterized by the Granja Complex, which is the geological basement of the region, composed by gneiss, granulites and migmatites, and supracrustal sequences formed by quartzites and phyllites of Martinópolis and Ubajara Group, and also cenozoic sediments of Barreiras Formation. Laterites are normally found in humid weather (seasonal or not), so it is more likely that the generation process of this lateritic beds were under ancient climatic conditions, totally different from the present. The laterites are associated with gneiss, quartzites and phyllites. The prevailing laterization process is the metal enrichment, especially iron. Iron content varies from 34.69 to 77.85% in the altered rock samples; this trend being more evident in gneiss, in which iron enrichment exceeds 75%. Al content increases 6 to 7% in altered rocks. Sm-Nd data showed that the ratios obtained in these laterites are similar to the protoliths and can be used to define autochthonous from allocthonous laterites and also confirm Sm and Nd mobility in the laterization process.

KEYWORDS: NW Ceará; laterite; weathering; geochemistry.

¹Programa de Pós Graduação de Geologia, Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará - UFC, Fortaleza (CE), Brasil. E-mail: anasiqueira100@gmail.com

²Departamento de Geologia, Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará - UFC, Fortaleza (CE), Brasil. E-mail: magini2005@hotmail.com

³Instituto de Geociências, Universidade de Brasília - UnB, Brasília (DF), Brasil. E-mail: elton@unb.br, reinhardt@unb.br

⁴Departamento de Física, Universidade Federal do Ceará - UFC, Fortaleza (CE), Brasil. E-mail: sasaki@fisica.ufc.br

*Autor correspondente

Manuscrito ID: 30039. Recebido em: 30/09/2013. Aprovado em: 26/05/2014.

INTRODUÇÃO

Neste trabalho é apresentada uma avaliação sobre o comportamento geoquímico de mantos lateríticos que ocorrem nos municípios de Granja, Martinópolis e Parazinho a noroeste do Estado do Ceará.

Os lateritos são analisados como produtos geológicos decorrentes dos processos de laterização, formados pelo intemperismo a partir da rocha exposta na superfície dos terrenos e/ou próximo à superfície, denominados coletivamente de lateritas ou formações lateríticas. As mudanças mineralógicas foram identificadas com o auxílio da difratometria de raios X.

O conceito empregado por Costa (1991) sugere que lateritos são rochas formadas ou em processo de intenso intemperismo químico de rochas preexistentes, gerando uma nova mineralogia que quase sempre envolve hidratação, e/ou em processo de oxidação acompanhada de lixiviação de outros elementos químicos.

A laterização é um processo de alteração por intemperismo que ocorre por meio de intensa lixiviação e reprecipitação, formando assim o laterito. Para isso, é necessário que as condições climáticas sejam favoráveis e a precipitação atmosférica seja maior que a evapotranspiração potencial durante a maior parte do ano. Outro fator importante é a velocidade de decomposição da matéria orgânica, que deve ser igual à de sua produção, não havendo acúmulo sobre o solo.

A ação mais característica da laterização é a remoção de álcalis devido à grande velocidade de lixiviação. Atualmente a explicação mais aceita é a de Schellmann (1981, p. 2), que define lateritos como “produtos de intenso intemperismo químico de rochas sub-aéreas, cujos conteúdos de Fe e/ou Al são superiores, e os de Si são inferiores aos da rocha-mãe meramente caulinizada”. Nogueira Junior (1985) defende que esse conceito se fundamenta basicamente nos processos de evolução dos produtos de alteração residual, a partir dos quais ocorre concentração relativa de constituintes pouco solúveis (principalmente Fe e Al) pela remoção de seus constituintes móveis.

Schellmann (1981) comparou características semelhantes dos principais estudos realizados com lateritos no mundo, inclusive o seu:

- São constituídos de SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 e H_2O , além de apresentarem pequena quantidade de TiO_2 e Cr_2O_3 (na alteração de rochas ultrabásicas).
- Os principais minerais presentes são: caulinita, gibbsita, hematita, goethita, quartzo e anatásio. Em algumas lateritas ocorrem também boehmita, maghemita, rutilo e cromita.
- Os silicatos primários são caulinizados, e os elementos alcalinos e alcali-terrosos, removidos.

Já foram apresentadas diversas propostas para sistematização da classificação de lateritas, porém a maior dificuldade na categorização se dá por conta de não ser possível instituir perfil ou comportamento padrão que possa ser adotado em todos os casos.

Oliveira (2006) considera o princípio de que os elementos químicos provenientes da decomposição dos minerais são removidos dos solos de forma diferencial. Sendo assim, é possível quantificar os índices de intemperismo químico por intermédio de equações estabelecidas por Harrassowitz (1926 *apud* Oliveira 2006), que propôs os índices Ki e Kr, classificando os solos por meio da quantidade de sílica relativa; Ki é calculado pela relação $(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$, e Kr, pela relação entre $(\text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3))$.

Complementando as relações estabelecidas por Harrassowitz (1926 *apud* Oliveira 2006), Martin e Doyne (1927, *apud* Autret 1983) propõem uma classificação para materiais lateríticos baseada no índice de Ki. Em outro estudo, Medina (1970 *apud* Fumió 1982) propõe uma classificação para a relação molecular de Kr, mais confiável por apresentar três elementos químicos de extrema importância envolvidos no processo de laterização.

Neste trabalho também será levado em consideração o sistema definido por Karunakaran – Sinha Roy (1971 *apud* Nogueira Junior 1985). Os autores fazem uma classificação em lateritas ferruginosas e aluminosas, utilizando-se das comparações entre os teores de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 .

Outra classificação que será observada neste trabalho é de Schellmann (1983 *apud* Costa 2007), que também identificou distintos graus de lateritização com base em um diagrama ternário SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 , categorizando assim o avanço do processo de laterização em caulinitização, lateritização incipiente, lateritização moderada e lateritização intensa.

Estudos realizados por Bourman e Ollier (2002) apresentam diagramas aperfeiçoados em cima do diagrama ternário de Schellmann, onde o quartzo, a gibbsita e os óxidos e hidróxidos de ferro representam, respectivamente, SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 . Os autores ressaltam os diferentes materiais encontrados na zona ferruginosa dos perfis lateríticos. No entanto, a teoria de Schellmann não deixa de ser válida, pois os domínios maiores de SiO_2 e Fe_2O_3 apresentados continuam a convergir para as zonas da caulinitização e da lateritização incipiente e moderada de Schellmann.

Os sistemas de classificação apresentados são básicos e fundamentados apenas por meio dos teores químicos. Na área estudada, há falta de um perfil de solo apropriado, onde seria possível estudar as integrações e características de cada horizonte. Assim, os índices químicos dos materiais serão utilizados para auxiliar na classificação das lateritas, os quais são relativamente precisos para obtenção do grau de alteração química.

LOCALIZAÇÃO

Geograficamente a área abrange os municípios de Granja, Martinópolis e Parazinho, situados no noroeste do Estado do Ceará e inseridos na carta topográfica de Granja (SA.24-Y-C-III). Segundo o Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE), a cidade de Granja tem área de 2.697,20 km² e está localizada a 03°07'13" de latitude sul e 40°49'34" de longitude oeste, a uma altitude de 10,55 m. Já Martinópolis tem área de 298,95 km², está localizada a 3°13'32" de latitude sul e 40°41'48" de longitude oeste.

Os pontos analisados estão posicionados a sul e sudeste da cidade de Martinópolis, a noroeste de Granja e a sudoeste do município de Parazinho (Fig. 1).

OBJETIVOS

Os objetivos consistem em levantamento geoquímico das ocorrências de lateritas sobre três diferentes substratos: Complexo Granja, Grupo Martinópolis e Grupo Barreiras, a fim de caracterizar o comportamento da mobilidade dos elementos químicos no decorrer do processo de alteração da rocha sã, evoluindo no processo de intemperismo, até as concreções ferruginosas formadas. É avaliado especificamente o enriquecimento e/ou empobrecimento nos teores de ferro, na tentativa de definir a possibilidade de exploração mineral desse elemento. Juntamente com o comportamento e a mobilidade do ferro, é analisado também o comportamento específico do alumínio, da sílica, do titânio e da água durante o processo de intemperismo/laterização da rocha. Com base nos valores da razão isotópica Sm-Nd nos protólitos e respectivas lateritas, é testada a possibilidade de detecção da rocha fonte e de determinar se as lateritas são alóctones ou autóctones.

METODOLOGIA

Além da etapa de levantamento bibliográfico, relacionada ao tema estudado, a metodologia seguiu etapas complementares entre si para o desenvolvimento da pesquisa.

Durante a etapa de campo foi feito o reconhecimento geológico da área, localizando as ocorrências lateríticas na região e sua associação com as rochas presentes na área. Foi efetuada também a coleta das amostras para estudos de laboratório.

Foram analisados seis pontos distintos associados aos diferentes tipos de rochas. Em cada ponto foram coletadas amostras respectivas dos diferentes graus de alteração,

totalizando assim 17 amostras que estão representadas na Tab. 1 e na Fig. 1. A Tab. 1 indica qual a denominação dada às amostras retiradas de cada ponto e a situação em que se encontravam no momento da coleta. Seguiu-se uma ordem de coleta, realizada inicialmente a partir da rocha fresca ou pouco alterada; posteriormente, foi coletada a rocha em expressivo processo de alteração; por fim, foi coletada a rocha em processo avançado de lateritização. Em alguns pontos foi possível a amostragem da concreção ferruginosa.

A próxima etapa constou da análise geoquímica da rocha, ressaltando elementos maiores e traços. Após sua preparação, as amostras foram enviadas para a Acme Analytical Ltd. (Vancouver, Canadá), onde foram realizadas as análises geoquímicas para elementos maiores e traços, incluindo em um dos pontos os elementos terras raras em três níveis de alteração da rocha, servindo como teste de estudos de elementos terras raras (ETR) em lateritas. As análises químicas foram feitas utilizando os métodos fluorescência de raios X, absorção atômica, via úmida, e Inductively Coupled Plasma (ICP) – Plasma para os elementos terras raras.

As amostras foram analisadas em um difratômetro para amostras policristalinas da marca Panalytical, modelo X'Pert Pro (MPD). A radiação usada nesse equipamento foi produzida por tubo de raios X (Co), CoK α , operado a 40 kV e 40 mA. Um monocromador híbrido para o feixe incidente, que consiste de um espelho e um monocromador de germânio (Ge) utilizado para gerar feixe altamente paralelo e monocromático. Os dados foram coletados em um detector com tecnologia de estado sólido, modelo Pixel (segunda geração Panalytical). As medidas foram obtidas no intervalo angular $2\theta = 10^\circ - 90^\circ$ com passo de $0,013^\circ$ e tempo de 79,05 segundos por passo.

Foi realizada também uma análise isotópica pelo método Sm-Nd no Laboratório de Geocronologia da Universidade de Brasília (UnB), que compreendeu quatro fases: pesagem (1), abertura (2), separação química (3) e espectrometria de massa (4). As leituras das razões foram realizadas no espectrômetro de massas Finnigan MAT.

As relações moleculares de Ki e Kr foram determinadas por meio dos resultados obtidos nas análises químicas realizadas nas amostras de rocha e concreções. Os índices foram usados com a finalidade de comprovar o material existente como lateritas e mostrar uma sequência de atuação dos processos de intemperismo nele desde a rocha fonte.

A classificação de Martin e Doyné (1927 *apud* Nogueira Junior 1985) considera os seguintes limites para Ki: quando $Ki < 1,33$ = laterita verdadeira, Ki entre 1,33 e 2,00 = solo laterítico e $Ki > 2,00$ = solo não laterítico. Medina (1970 *apud* Fumió 1982) utiliza os mesmos limites para a relação molecular de Kr, obtendo, assim, os mesmos resultados.

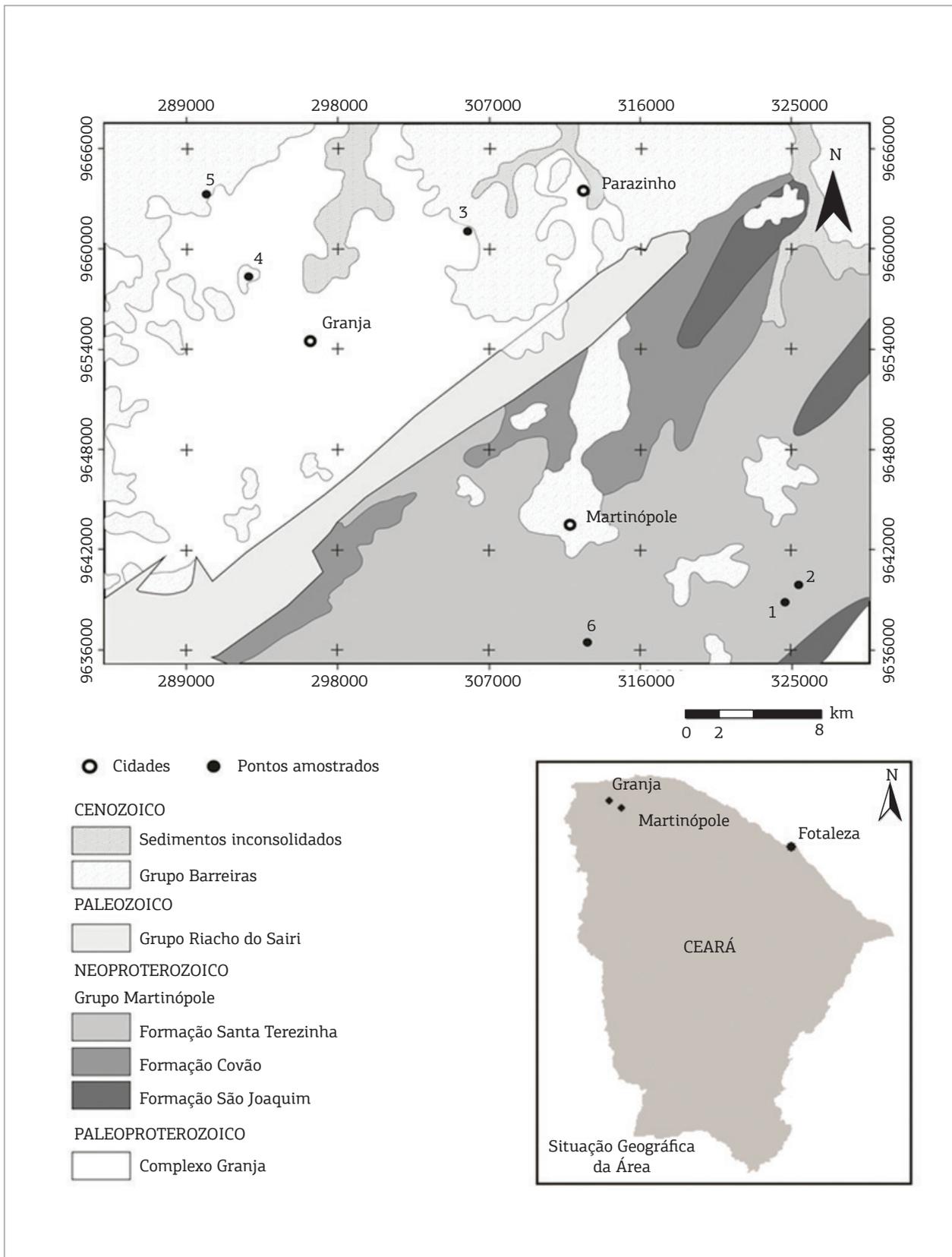


Figura 1. Mapa de localização dos pontos de amostragem e geológico simplificado. Fonte: modificado de Cavalcante (2003).

Tabela 1. Associação de cada amostra com seu respectivo ponto, indicando a rocha fonte e a situação de intemperismo de cada amostra

Ponto	Rocha fonte	Amostra	Situação da amostra
1	Quartzito	1A	Pouco alterada
		1B	Muito alterada
		1C	Concreção
2	Filito	2A	Pouco alterada
		2B	Alteração intermediária
		2C	Alteração intermediária
		2D	Muito alterada
3	Gnaiss	3A	Rocha fresca
		3B	Pouco alterada
		3C	Alteração intermediária
		3D	Alteração intermediária
		3E	Muito alterada
4	Conglomerado	4A	Alteração intermediária
5	Conglomerado	5A	Muito alterada
		5B	Concreção
6	Filito	6A	Alteração intermediária
		6B	Muito alterada

Por não se tratar somente do solo, a denominação de solo laterítico e solo não laterítico não é apropriada, sendo portanto substituída por material laterítico e material não laterítico.

Outro sistema utilizado foi definido por Sinha Roy (1967) e Karunakaran – Sinha Roy (1971 *apud* Nogueira Junior 1985), no qual os autores propõem uma classificação utilizando-se das comparações entre os teores de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 presentes no material analisado. Para teores de $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3 > 1$ e $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3 < 1,33$, as lateritas são ferruginosas; e, para teores de $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3 < 1$ e $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3 > 1,33$, as lateritas são aluminosas.

A classificação de Schellmann (1983 *apud* Costa 2007) identifica distintos graus de lateritização com base em diagrama ternário $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (Fig. 2), avaliando assim o decorrer do processo de lateritização em caulínização, lateritização incipiente, lateritização moderada e lateritização intensa. O diagrama representa a contínua perda de SiO_2 e o relativo ganho de Al_2O_3 e Fe_2O_3 .

CONTEXTO GEOLÓGICO

Geologia Regional

A área pesquisada está inserida no contexto geológico da Província Borborema (Almeida *et al.* 1977). A província cobre a área de 450.000 km² e está localizada na região Nordeste do território brasileiro (Brito Neves *et al.* 2001). Compreende a parte central de um amplo cinturão orogênico pan-africano-brasileiro, desenvolvido como consequência de convergência e colisão dos crátons São Luís – Oeste da África e São Francisco-Congo-Kasai no fim do Neoproterozoico.

A Província Borborema foi recentemente dividida em domínios geotectônicos formados por blocos crustais amalgamados durante a Orogênese (colagem) Brasileira (Santos *et al.* 2001). É subdividida em três grandes Domínios, a saber: Médio Coreau, Ceará Central e Rio Grande do Norte (Brito Neves *et al.* 2000). A área de estudo está inserida no Domínio Médio Coreau (DMC).

O DMC localiza-se no noroeste do Estado do Ceará e nordeste do Estado do Piauí. Limita-se a oeste na Província Parnaíba, a sudeste na Bacia de Jaíbaras e a nordeste no Oceano Atlântico. Sua morfologia predominantemente de *nappes* deve-se à colagem dos crátons São Luís – Oeste África, que aglutinou o embasamento e todos os cinturões móveis neoproterozoicos. As *nappes* são seccionadas posteriormente por zonas de cisalhamento transcorrentes, regionalmente identificado como Lineamento Sobral-Pedro II (Brito Neves *et al.* 2000). Para Santos *et al.* (2008), representa a margem noroeste da Província Borborema, compreendendo um cinturão colisional brasileiro/pan-africano formado durante a aglutinação do supercontinente Gondwana.

Santos *et al.* (2007) relatam que o embasamento desse domínio é composto de rochas metamórficas de alto grau, apresentando idades de 2.35 Ga. É constituído por ortogneisses TTG (tonalito, tronjhemito e granodiorito), migmatitos e granulitos, representando o embasamento cristalino referido como Complexo Granja por Brito Neves (1983).

Dois cinturões móveis ocorrem no DMC, um metavulcano-sedimentar mais arcoseano (Grupo Martinópole) e outro mais metapelítico-carbonático (Grupo Ubajara), todos de idade Toniana. Ocorre ainda no DMC uma sequência de corpos graníticos também de idade Neoproterozoica (Plutons Mucambo e Meruoca), localizados no limite sudeste do DMC.

A Bacia do Jaíbaras e o Grupo Jaíbaras representam a unidade litoestratigráfica do limite SE. É uma típica bacia residual molássica continental, poligonal, com vulcanismo bimodal (Torquato e Nogueira Neto 1996 e Nogueira Neto 2000) de idade Cambriana.

Por fim, o Grupo Barreiras, constituindo uma cobertura sedimentar terrígena continental e marinha (Arai 2006) de

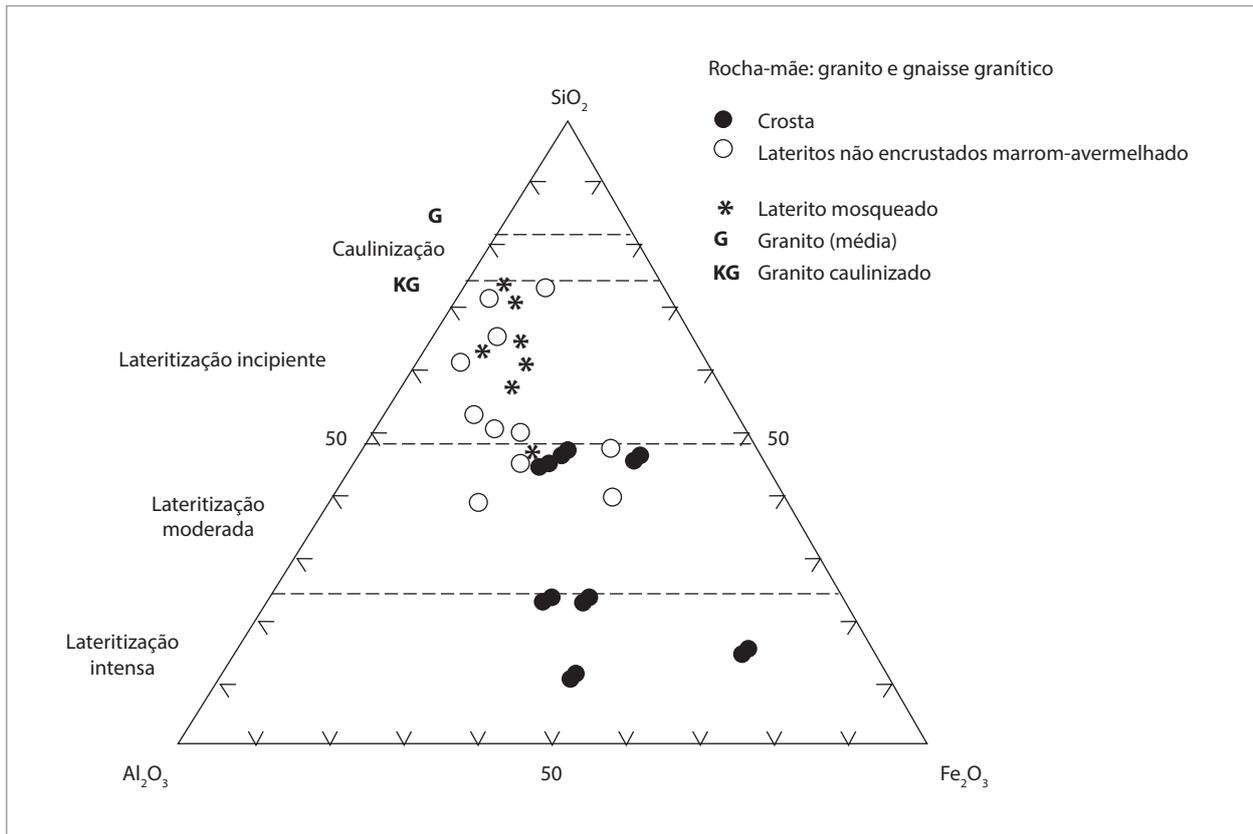


Figura 2. Diagrama ternário SiO_2 - Al_2O_3 - Fe_2O_3 mostrando a classificação dos lateritos derivados de granitos e gnaisses graníticos, segundo Schellmann (1983).

idade miocênica a pleistocênica inferior (Suguio e Nogueira 1999). Mabesoone *et al.* (1971) foi o primeiro a considerar essa unidade como Grupo, subdividindo-o em três Formações, sendo estas as Formações Serra dos Martins, Guararapes e Macaíba. A primeira representa uma unidade basal identificada por coberturas remanescentes no interior continental. As duas últimas estão presentes no litoral do Nordeste, separadas entre si por discordâncias e cada uma apresentando perfis de intemperismo característicos.

Geologia Local

Foram analisadas lateritas formadas sobre o embasamento Paleoproterozoico (Complexo Granja) e nos metassedimentos Tonianos do Grupo Martinópolis.

O Complexo Granja, embasamento da região, é constituído por gnaisses enderbíticos e granulíticos, migmatitos e anfibolitos. Os gnaisses apresentam granulação média a fina, exibem um bandamento com espessuras variadas alternando minerais leucocráticos e minerais máficos. Sua mineralogia é composta predominantemente por quartzo, biotita e plagioclásio, podendo também ser observado K-feldspato, piroxênio e granada.

Em inúmeros locais do Complexo Granja é possível observar um processo avançado de intemperismo com presença de

regolito com texturas típicas de materiais laterizados (Fig. 3). No mapa constitui o ponto 3, e o conjunto de amostras representam as lateritas formadas sob os gnaisses (Tab. 1).

Além do intemperismo evidente, é possível observar a evolução para a formação de concreções ou nódulos peculiares aos processos de laterização. Com o aumento do processo intempérico, essas concreções tendem a ser separadas da rocha, levando assim à formação de uma crosta laterítica com hábito botrioidal. O Grupo Martinópolis é representado na área estudada pelos metassedimentos quartzíticos da Formação São Joaquim e os filitos da Formação Santa Teresinha. Os quartzitos são constituídos basicamente de minerais de quartzo, feldspato, muscovita e pequenas quantidades de minerais opacos e sillimanita. É representado em mapa pelas amostras originadas do ponto 1 (Tab. 1). No geral, são rochas que exibem estrutura maciça e granulação variando de média a grossa com textura granoblástica. Na área, a grande maioria ocorre na forma de blocos soltos na superfície; estes se encontram bastante fraturados, por vezes brechados preenchidos por ferro e sulfeto como pirita e calcopirita.

A capa de alteração é representada por uma couraça ferruginosa (ou concreções), com tamanhos na faixa de 2 a 5 cm e de extensão de centenas de metros, podendo chegar à



Figura 3. Evolução do processo de intemperismo: concreções são formadas e posteriormente separadas da rocha, levando à formação de uma crosta laterítica.

unidade de quilômetros (Fig. 4). Os quartzitos da Formação São Joaquim e os filitos da Formação Santa Teresinha frequentemente ocorrem intercalados na área, podendo assim definir um contato de caráter gradual entre essas duas litologias. É possível determinar uma relação de intemperismo com o quartzito e o filito, pois se observa que o processo de intempérico aparenta ser mais evidente na área de contato entre as duas litologias.

Os filitos da Formação Santa Teresinha são rochas de granulação muito fina. Quando se apresenta como rocha fresca, esse filito, no geral, tem uma cor amarelada, porém, quanto maior for o processo de intemperismo, maior a tendência de a rocha apresentar uma cor avermelhada — e, no maior grau de alteração, adquirir uma cor marrom. É representado no mapa (Fig. 1) pelo grupo de amostras dos pontos 2 e 6 (Tab. 1).

O Grupo Barreiras é localmente representado por conglomerados mal selecionados e com seixos de quartzo arredondados a subangulosos, cimentados por material argiloso.

RESULTADOS

Por meio da mineralogia e da geoquímica, foi possível perceber as variações dos teores dos elementos no decorrer das capas de alteração das rochas, o que torna claro o processo de evolução do intemperismo, seguindo para formação de materiais com características de laterização.

Na difratometria de raios X, foi possível identificarmos os minerais presentes em cada crosta (horizonte) analisada.



Figura 4. Caura ferruginosa, concreções ou capa de alteração ferruginosa.

Nas lateritas originadas do gnaiss, óxidos e hidróxidos de ferro estão presentes na forma de hematita e goethita. O quartzo, evidente na parte mais preservada da amostra (Fig. 5), tende a ser retirado do sistema na medida em que o processo de intemperismo vai atuando e se tornando mais intenso. Por fim, o quartzo é retirado do sistema e a caulinita aparece devido à hidratação (Fig. 6).

No quartzito os resultados de difração de raios X mostram que o quartzo, por exemplo, não aparece dentro de nódulos em formação, ficando restrito até o limite da borda que o está zoneando. O óxido de ferro é representado principalmente pela hematita e, diferente do ponto anterior, a goethita está presente em apenas uma fase dessa amostra.

Encontra-se ainda a presença de caulinita e greenalita nas crostas de maior alteração.

Em relação aos filitos, os resultados mineralógicos mostram que as fases de alteração não tiveram variação dos minerais presentes, sendo eles a hematita, a goethita e o quartzo.

Com relação à classificação das lateritas, a Tab. 2 mostra a comparação dos teores de $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$, usando

como base a metodologia utilizada por Sinha Roy (1967) e Karunakaran-Sinha Roy (1971) e os índices de intemperismo Kr e Ki.

Os resultados mostram que o processo de laterização ocorrido na rocha levou à formação de lateritas ferruginosas. Para isso, o valor do teor de Fe_2O_3 dividido por Al_2O_3 deveria ser maior que 1,00, em conjunto com o valor do teor

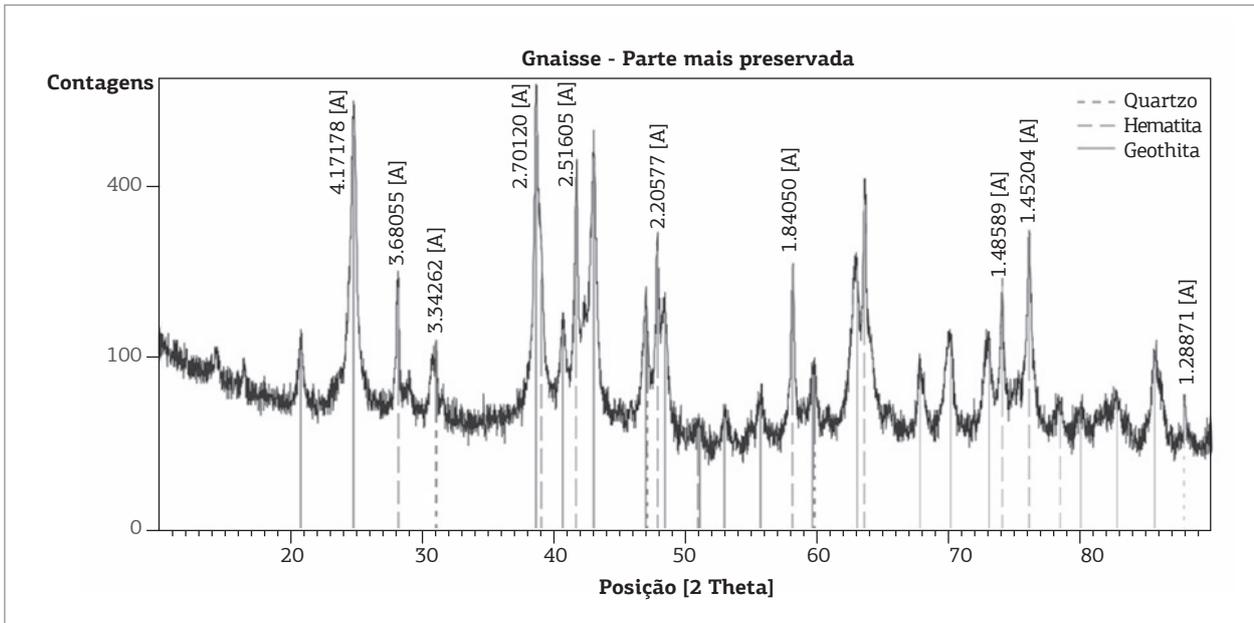


Figura 5. Difratoograma de raios X representando a parte mais preservada da amostra de gnaiss, exibindo como minerais o quartzo, a hematita e a goethita.

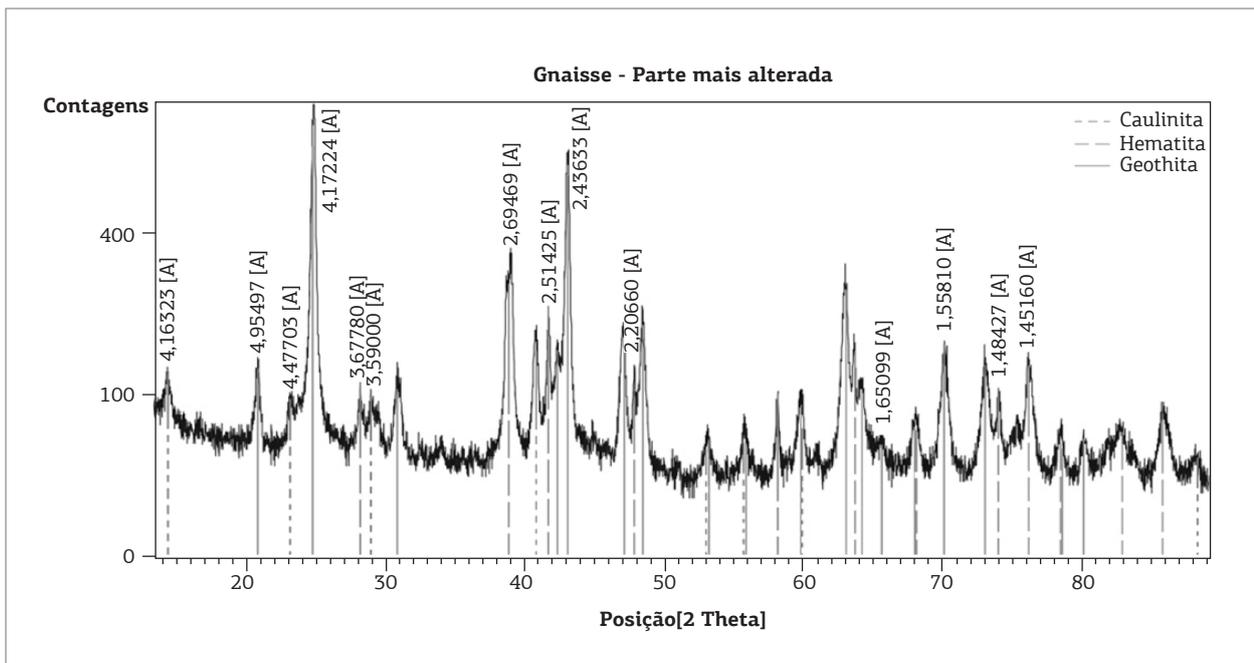


Figura 6. Difratoograma de raios X representando a parte mais alterada da amostra de gnaiss, exibindo como minerais a caulinita, a hematita e a goethita.

de SiO_2 dividido pelo valor do teor de Fe_2O_3 menor que 1,33. Isso ocorreu nas amostras mais intemperizadas de cada ponto (1B, 1C, 2D, 3C, 3D, 3E e 5B), exibidas na Tab. 2. Por meio dos resultados obtidos, não há indicativos de lateritas aluminosas na região.

Os pontos 1 e 3 representam, respectivamente, o quartzo e o gnaíse. As amostras 1B, 3D e 3E (Tab. 2) estão em total concordância em todas as classificações apresentadas. Onde o índice Ki exibe essas amostras como material laterítico, o

Kr como laterita e a classificação segundo Karunakaran – Sinha Roy (1971 *apud* Nogueira Júnior 1985) exibe resultados para laterita ferruginosa.

Utilizando apenas a classificação segundo Karunakaran – Sinha Roy (1971 *apud* Nogueira Júnior 1985) e o índice Kr, só existe discordância nos filitos, especificamente nas amostras 2C e 6B, nas quais o índice de Kr aponta para laterita e material laterítico, respectivamente, e a classificação de Karunakaran – Sinha Roy (1971 *apud* Nogueira Júnior 1985)

Tabela 2. Classificação do tipo de laterização segundo Karunakaran – Sinha Roy (1971 *apud* Nogueira Júnior 1985) e por meio dos índices de intemperismo Kr e Ki, baseados na classificação de Martin e Doynne (1927) e Medina (1970)

Ponto	Amostra	Al_2O_3	Fe_2O_3	SiO_2	$\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$	Classificação 1 Karunakaran/ Sinha Roy (1971)	Kr $\text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$	Classificação 2 Índice Kr	Ki $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	Classificação 3 Índice Ki
1	1A	0,62	19,58	76,16	31,58	3,89	-	3,77	Material não laterítico	122,84	Material não laterítico
	1B	12,58	56,68	17,26	4,51	0,30	Ferruginosa	0,25	Laterita	1,37	Material laterítico
	1C	12,60	52,93	25,77	4,20	0,49	Ferruginosa	0,39	Laterita	2,04	Material não laterítico
2	2A	1,28	4,33	92,22	3,38	21,30	-	16,44	Material não laterítico	72,05	Material não laterítico
	2B	0,95	6,04	90,75	6,36	15,02	-	12,98	Material não laterítico	95,53	Material não laterítico
	2C	6,17	34,69	51,67	5,62	1,49	-	1,26	Laterita	8,37	Material não laterítico
	2D	0,89	73,90	15,53	83,03	0,21	Ferruginosa	0,21	Laterita	17,45	Material não laterítico
3	3A	0,27	4,84	94,23	17,93	19,47	-	18,44	Material não laterítico	349	Material não laterítico
	3B	3,80	16,41	75,69	4,32	4,61	-	3,75	Material não laterítico	19,92	Material não laterítico
	3C	6,67	44,77	38,24	6,71	0,85	Ferruginosa	0,74	Laterita	5,73	Material não laterítico
	3D	7,35	71,00	10,23	9,66	0,14	Ferruginosa	0,13	Laterita	1,39	Material laterítico
	3E	4,81	77,85	4,95	16,18	0,06	Ferruginosa	0,06	Laterita	1,03	Laterita
4	4A	1,00	13,12	83,52	13,12	6,36	-	5,92	Material não laterítico	83,52	Material não laterítico
5	5A	3,02	7,10	86,25	2,35	12,15	-	8,52	Material não laterítico	28,56	Material não laterítico
	5B	12,13	44,71	31,95	3,69	0,71	Ferruginosa	0,56	Laterita	2,63	Material não laterítico
6	6A	2,83	9,62	83,73	3,40	8,70	-	6,73	Material não laterítico	29,59	Material não laterítico
	6B	5,94	31,50	54,98	5,30	1,74	-	1,47	Material laterítico	9,26	Material não laterítico

não classifica como laterita ferruginosa. Porém, deve-se levar em consideração que os índices da relação molecular de $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ apresentam-se no limite próximo a 1,33, sendo esses valores de 1,49 para a amostra 2C e 1,74 para a amostra 6B.

Relacionando o diagrama ternário $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (Fig. 7) com o diagrama de classificação dos distintos graus de lateritização de Schellmann (1983), as amostras 2D, 3D e 3E estariam inseridas no campo de lateritização intensa de Schellmann, e as amostras 1B, 1C, 3C e 5B representariam produtos de lateritização moderada.

É possível observar na Fig. 7 a contínua perda de SiO_2 , um aumento, pouco expressivo, do Al_2O_3 e um enriquecimento considerável em Fe_2O_3 , confirmando assim a classificação 1 da Tab. 2, que aponta esses materiais dentro dos limites de laterita ferruginosa. O diagrama mostra, de maneira mais clara, o processo de alteração da rocha, sendo possível observar que as amostras analisadas apresentam baixo teor de alumínio.

Os gráficos apresentados na Fig. 8 representam de forma mais evidente os picos dos valores de Fe_2O_3 e a queda em SiO_2 nas amostras mais intemperizadas. É possível observar também que, no decorrer do processo de alteração, os teores de água (LOI) e Al_2O_3 também vão se tornando mais elevados.

Diagramas binários de variação entre os elementos Al_2O_3 , Fe_3O_2 e TiO_2 versus SiO_2 também foram usados para avaliar o comportamento da mobilidade e consequentemente o enriquecimento ou empobrecimento dos elementos químicos no decorrer dos estágios de lateritização. Por meio desse diagrama é possível observar a mobilidade dos elementos.

A sílica apresenta dois tipos de comportamento: é resistente aos processos intempéricos e pouco solúvel na faixa de pH da hidrólise; de maneira diferenciada, quando as soluções de alteração provocam a remoção de sais solúveis e estes permanecem diluídos no meio, a sílica tende a ser intensamente lixiviada ou eliminada. Isso acontece em condições de pluviosidade alta e drenagem eficiente nos perfis de solo.

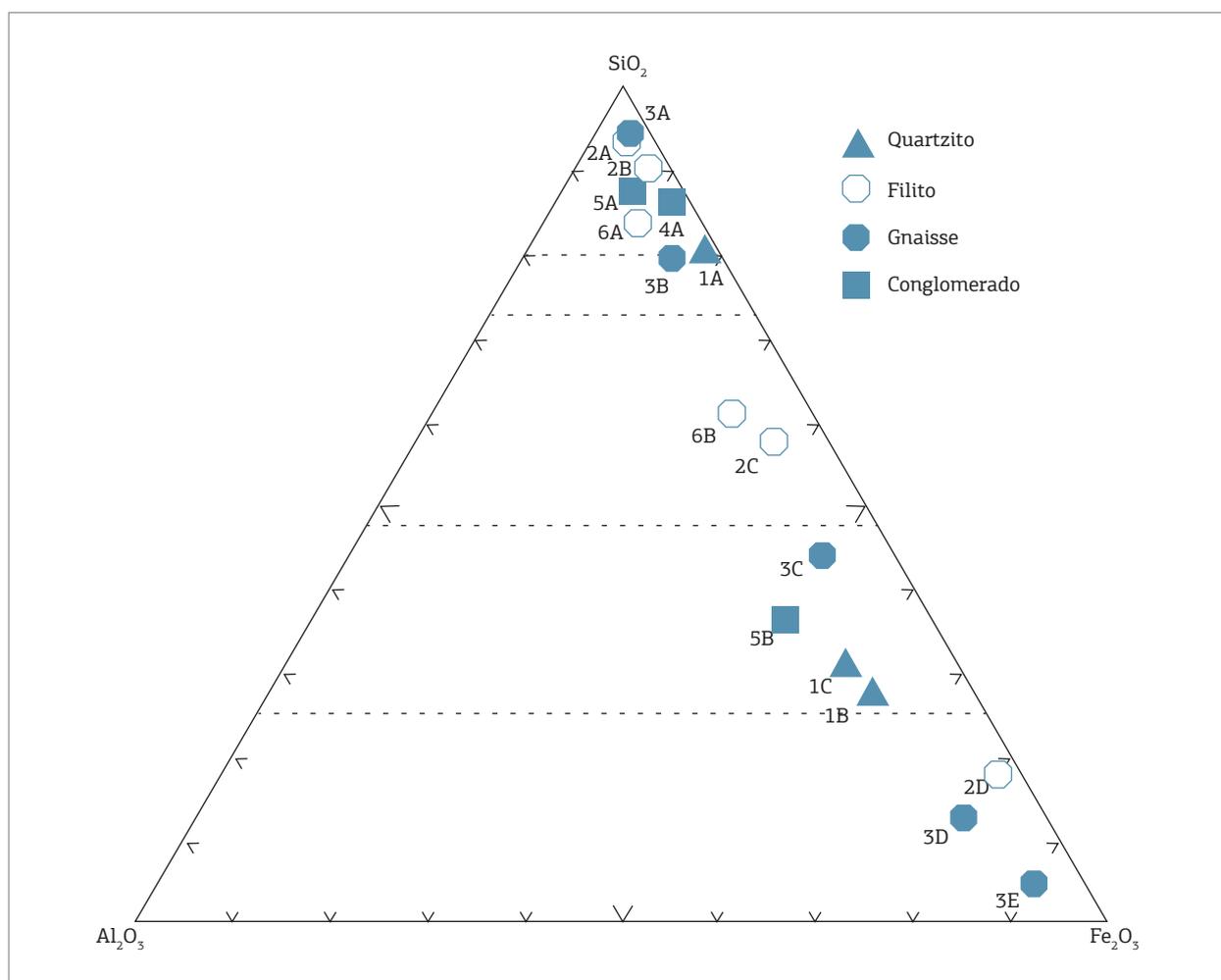


Figura 7. Diagrama ternário mostrando a variação dos elementos SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 no decorrer do processo de alteração da rocha.

Além desses elementos, a porcentagem de H_2O (LOI) também foi correlacionada com a da sílica. Essa relação deve ser levada em consideração, pois os valores de

H_2O aumentam no decorrer do processo de laterização, levando à formação de limonitas e à presença de outros minerais hidratados.

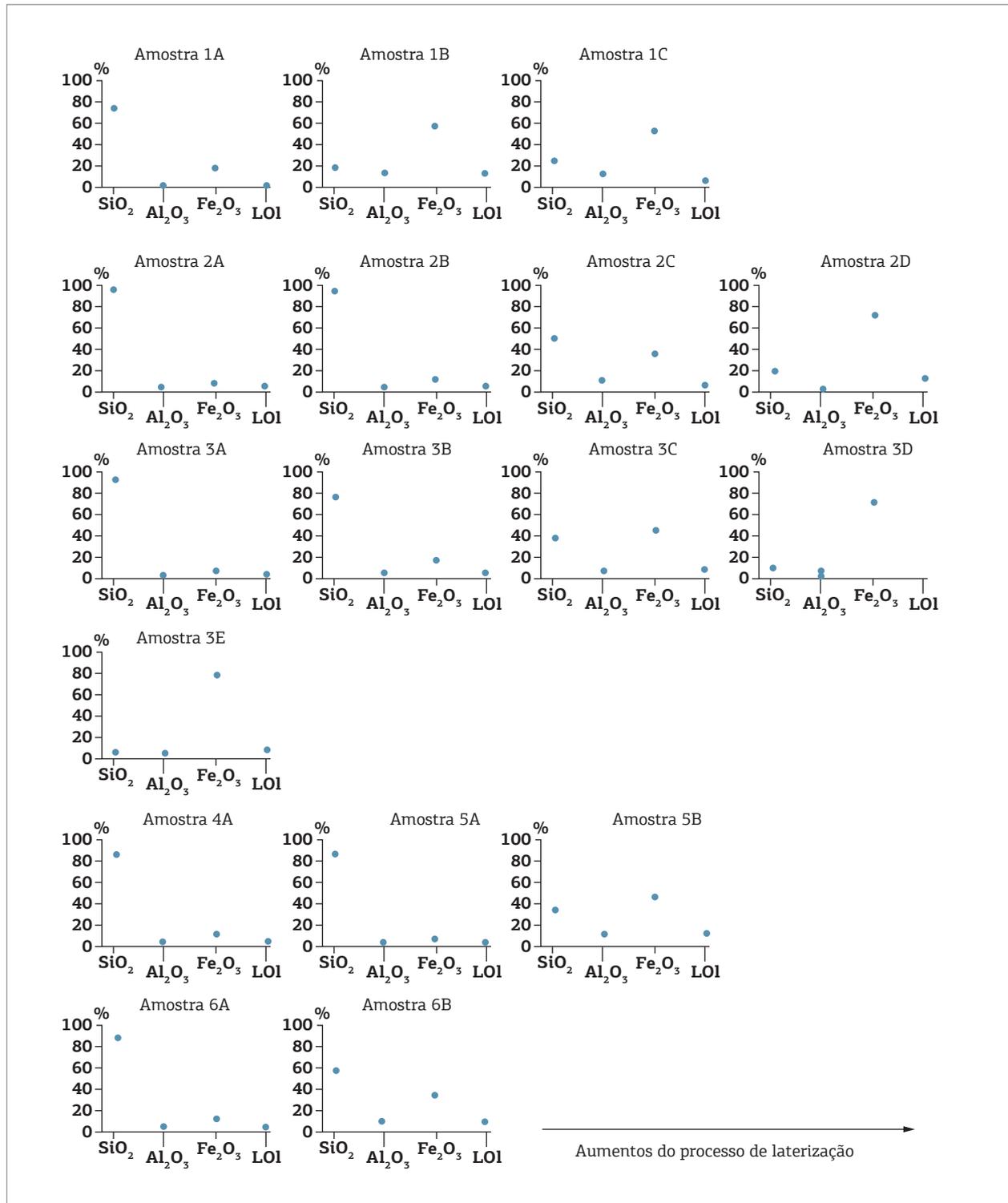


Figura 8. Gráficos representando os picos de alteração. Nas amostras menos intemperizadas, é possível notar maiores valores em SiO_2 , e nas amostras mais intemperizadas, o pico nos valores de Fe_2O_3 .

Fe₂O₃ x SiO₂

O diagrama da Fig. 9 relaciona o comportamento e a mobilidade do ferro em comparação com a sílica no decorrer das fases de intemperismo/laterização. No canto inferior direito, encontra-se o grupo de amostras relacionadas à rocha preservada ou menos alterada. É possível observar um enriquecimento do Fe₂O₃ em todas as litologias e, juntamente com esse enriquecimento, ocorre intenso processo intempérico/laterização da rocha.

Por intermédio da dispersão dos pontos entre os valores do Fe₂O₃ e SiO₂, variáveis do gráfico, o coeficiente de correlação indica o grau de associação no diagrama de dispersão. Sendo assim, foi possível visualizar a disposição dos pontos se aproximando de uma reta, o que indica forte correlação linear entre as duas variáveis.

Analisando o quartzito como rocha fonte (amostras do ponto 1), foi possível observar que o maior enriquecimento em óxido de ferro (Fe₂O₃) se deu nos primeiros estágios de intemperismo/laterização, permanecendo estável no estágio final de laterização. O empobrecimento ou a lixiviação da sílica ocorreu também nos primeiros estágios.

Por meio do diagrama apresentado, a amostra 1A, que simula a rocha fonte, apresenta-se no campo próximo aos altos teores de sílica e baixos teores de ferro, confirmado por seus valores em porcentagem que são de 76,16% de SiO₂ e 19,58% de Fe₂O₃. No mesmo ponto, foi considerada a rocha em processo mais avançado de alteração (amostra 1B), a qual apresentava valores de 17,26% de SiO₂ e 56,68% de Fe₂O₃.

Nas concreções ferruginosas, estágio mais alterado das amostras do ponto 1 (amostra 1C), quando comparado aos valores da amostra 1B, é observado um leve aumento nos teores de SiO₂. O material que compõe a capa laterítica apresenta

teores de 25,77% de SiO₂ e 52,93% de Fe₂O₃. Isso pode ocorrer devido à liberação da sílica acontecer intensamente nos primeiros estágios de laterização. A sílica liberada não é completamente lixiviada e acaba retida em outro ponto do manto laterítico.

A rocha fonte das amostras que representam o ponto 2 é o filito. Nesse ponto, o aumento nos teores de Fe₂O₃ se tornou ainda mais significativo no decorrer do processo de intemperismo, chegando a apresentar teores acima de 70% (amostra 2D). Houve também uma intensa lixiviação de SiO₂ nos primeiros estágios de intemperismo, o qual diminuiu bruscamente de 92,22 para 15,53% (amostras 2A e 2B, respectivamente).

O gnaíse também apresentou teores de Fe₂O₃ com valores maiores de 70%, chegando próximo a 80% na rocha em processo de alteração elevado. Os valores para SiO₂ variam de 94,23% na rocha fonte para 4,95% na rocha em alto estágio de intemperismo (amostras 3A e 3E, respectivamente).

No conglomerado (Formação Barreiras) o enriquecimento em Fe₂O₃ passa de 7,10% (amostra 5A) para 44,71% (amostra 5B). A amostra 4A também é um conglomerado e, embora represente outro ponto, simula um dos estágios de laterização, exibindo assim valores intermediários entre as amostras 5A e 5B.

As amostras 6A e 6B também representam o filito em dois estágios do processo de laterização. O ponto 6A representa a rocha em estágio inalterado, apresentando 83,73 nos valores de SiO₂ que decrescem para 54,98% no decorrer do processo de intemperismo.

Al₂O₃ x SiO₂

Neste segundo diagrama (Fig. 10), que relaciona os valores do alumínio com os da sílica, é possível perceber

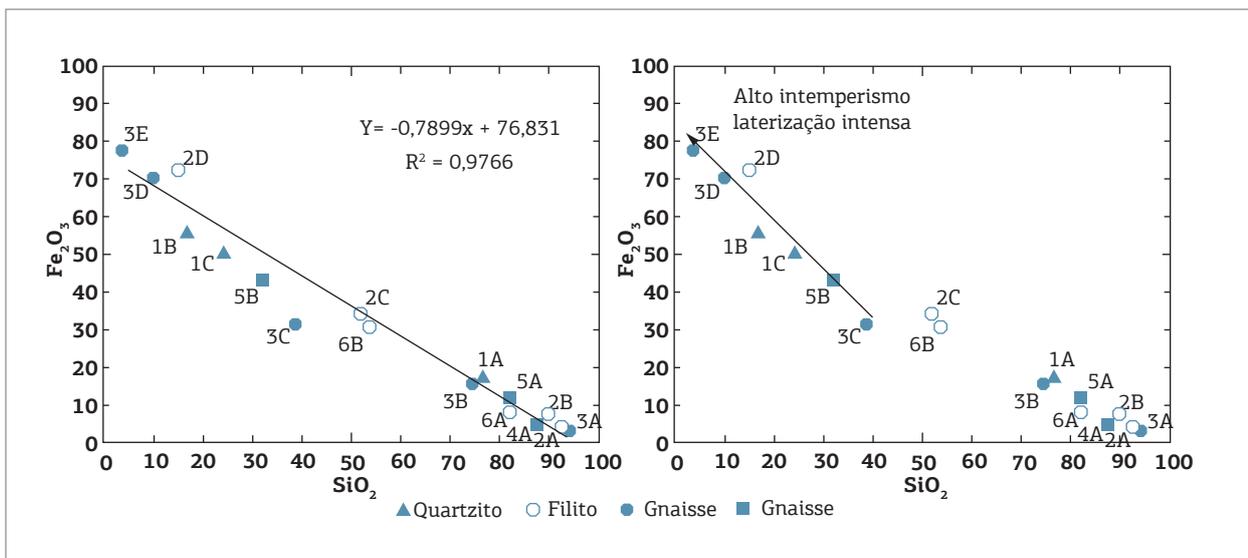


Figura 9. Diagrama binário, com a reta da regressão linear e coeficiente y, comparando o comportamento e a mobilidade do ferro com a sílica no decorrer das fases de intemperismo/laterização.

que também ocorreu uma concentração nos teores de alumínio, não sendo este tão expressivo quanto os teores de ferro, chegando a seu máximo em torno de 12%. O índice de correlação entre as variáveis do gráfico mostra vários pontos dispersos distante da reta, o que mostra que não existe uma correlação linear entre as variáveis.

Nas amostras que representam o quartzito no ponto 1 (1A, 1B e 1C), observamos que a maior concentração em alumínio se deu nos primeiros estágios de intemperismo/laterização, permanecendo estável no estágio final de laterização, similar ao comportamento do ferro. Os teores de Al_2O_3 dessas amostras estão em torno de 0,62, 12,58 e 12,60%, respectivamente.

Avaliando as amostras do ponto 2, observa-se que o aumento nos teores de Al_2O_3 se deu nos primeiros estágios do intemperismo/laterização, chegando a valores máximos e também sendo lixiviados do perfil no decorrer do processo. Na amostra 2C, por exemplo, em que a rocha se encontra em processo moderado de alteração, os valores são de 6,17%, mas com o decorrer do processo de intemperismo os teores diminuem para 0,89% (amostra 2D).

Para a mobilidade do alumínio, quando este é representado em um perfil característico de laterização, amostrado por meio da profundidade e dos horizontes de solo, os teores em alumínio apresentam-se mais elevados antes do horizonte mais intemperizado, classificado como horizonte ferruginoso. Devido à profundidade do solo e às condições da laterização, não foi possível fazer coleta de amostras em perfil, mas foi possível observar esse mesmo comportamento nas amostras que representam o filito e gnaisse. Os teores de alumínio foram crescentes no decorrer do processo intempérico na

rocha até um determinado ponto e decresceram em seguida na amostra mais intemperizada e ferruginosa.

No caso do gnaisse, essa mesma linha de comportamento e mobilidade apresenta valores de 0,27, 3,80, 6,67, 7,35 e 4,81%, seguindo respectivamente a partir da rocha fonte no decorrer do processo de laterização.

No conglomerado foi amostrada a rocha em duas condições de intemperismo no ponto 5 e apenas em uma no ponto 4. Dessa forma, não é possível verificar se o alumínio apresenta o mesmo comportamento dos pontos anteriores. Porém, quando foram comparadas as duas amostras do ponto 5, os teores de Al_2O_3 apresentaram acréscimo e os de SiO_2 diminuíram na amostra mais alterada. O mesmo comportamento ocorreu nas amostras de filito do ponto 6, nas quais também foi amostrada a rocha em apenas duas condições de intemperismo.

TiO_2 x SiO_2

Em todas as amostras coletadas, que representam mais de duas fases do processo de intemperismo, é possível observar, por meio do diagrama (Fig. 11), que os valores de titânio aumentam relativamente na fase de laterização moderada, sendo removidos no decorrer do processo intempérico. Porém, o coeficiente de correlação linear também não indica uma correlação forte entre as variáveis.

Levando em consideração o quartzito como rocha fonte (ponto 1), é possível observar que ocorreu um enriquecimento em óxido de titânio (TiO_2) nos primeiros estágios de intemperismo/laterização, apresentando teores de 0,02 na amostra 1A e passando para 0,85 na amostra 1B; na amostra 1C, que representa as concreções ferruginosas, o

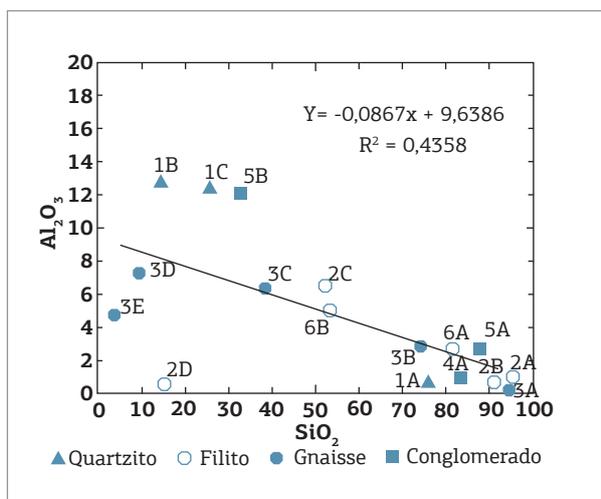


Figura 10. Diagrama binário, com a reta da regressão linear e coeficiente y, comparando o comportamento e a mobilidade do alumínio com a sílica no decorrer das fases de intemperismo/laterização.

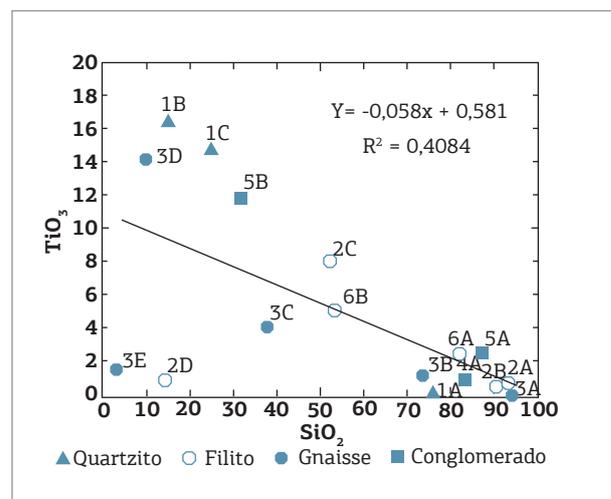


Figura 11. Diagrama binário, com a reta da regressão linear e coeficiente y, comparando o comportamento e a mobilidade do titânio com a sílica no decorrer das fases de intemperismo/laterização.

teor apresentado foi de 0,76, mostrando que nesse ponto o TiO₂ tende a permanecer no decorrer do processo de laterização. Já nos pontos 2 e 3, nos quais a rocha fonte é o filito e o gnaíse, respectivamente, o comportamento do TiO₂ apresenta características semelhantes de enriquecimento e mobilidade e ocorre um enriquecimento nos primeiros estágios de intemperismo, mas no decorrer do processo o TiO₂ também é lixiviado. O aumento nos teores de TiO₂ no quartzito do ponto 2 também não foi tão expressivo como no ponto 1, enquanto no gnaíse o valor de TiO₂ chegou a apresentar teores de 0,71% na amostra 3D.

No conglomerado não é possível definir se existe esse comportamento, pois só foram amostradas duas condições de alteração em cada uma. No entanto, é possível definir que também houve um enriquecimento nos primeiros estágios de laterização e esse aumento variou de 0,12 a 0,63%. No filito representado pelas amostras do ponto 6, o teor na amostra mais intemperizada chegou apenas a 0,28%, e não teve variação expressiva.

LOI x SiO₂

As distribuições dos valores analisados de porcentagem de perda ao fogo estão expostas no diagrama da Fig. 12, que expõe o comportamento da água no decorrer do processo de alteração da rocha. A quantidade de LOI variou

aumentando a partir da primeira fase de laterização. No presente trabalho o LOI foi especificado como perda de água, pois não se tratava de amostras com matéria orgânica e pela análise mineralógica os minerais presentes irão liberar H₂O.

No campo das amostras que simulam o gnaíse, é possível observar que nas concreções ferruginosas (amostra 1C) os valores em H₂O diminuíram consideravelmente de 12% na amostra 1B para valores abaixo de 7% na amostra 1C. O mesmo não ocorre com a amostra 5B, que também representa as concreções. Esta mantém valores acima de 10%, porém, como a rocha é um conglomerado, os teores em H₂O são um pouco mais elevados. Em todas as amostras com alto grau de laterização os valores em H₂O também aumentaram consideravelmente em relação com as amostras menos intemperizadas.

RESULTADOS PARA O Sm-Nd

Aplicando a metodologia Sm-Nd nas lateritas, visamos comparar o comportamento isotópico no processo de intemperização em três diferentes protólitos: nos gnaíses do Complexo Granja (ponto 3/amostra 4, Tab. 3) e nos quartzitos e metapelitos do Grupo Martinópolis (pontos 1 e 2/amostras 2 e 4, Tab. 3), respectivamente. Os valores

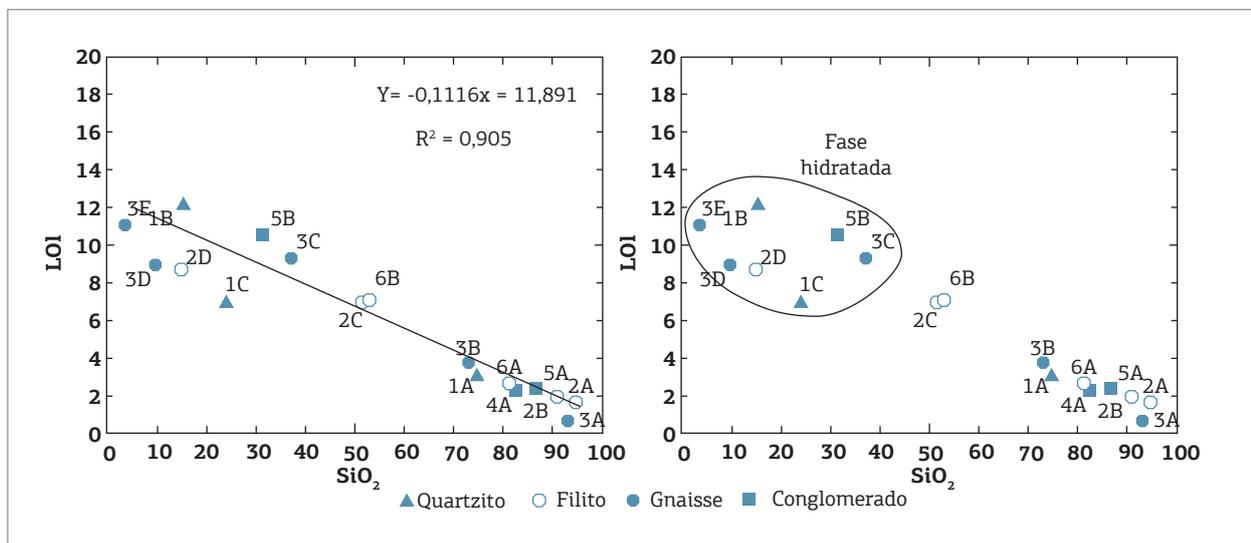


Figura 12. Diagrama binário, com a reta da regressão linear e coeficiente y, comparando o comportamento e a mobilidade de LOI através da sílica no decorrer das fases de intemperismo/laterização.

Tabela 3. Resultados do Sm-Nd de rochas intemperizadas sobre diferentes litologias

Ponto	Amostra	Sm (ppm)	Nd (ppm)	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd (± 2SE)	ε _{Nd(0)}	T _{DM} (Ga)	Rocha/mineral
1	2	1,933	10,805	0,1082	0,511815+/-16	-16,05	1,76	Laterita sob o quartzito
2	4	1,096	4,653	0,1424	0,511731+/-6	-17,69	2,81	Laterita sob o filito
3	4	6,831	27,771	0,1487	0,511612+/-14	-20,02	3,14	Laterita sob o gnaíse

obtidos mostram que as lateritas desenvolvidas sobre os gnaisses paleoproterozoicos do Complexo Granja, onde os valores das idades modelo (T_{DM}) são mais antigos (CPRM, 2010), têm T_{DM} de 3,1 Ga.

Nas lateritas desenvolvidas sobre os metassedimentos Tonianos (0,9 Ga) do Grupo Martinópolis, os valores T_{DM} variam de 1,7 a 2,8, resultado de diferentes fontes, pois são metassedimentos.

Essa avaliação isotópica entre as lateritas pode mostrar que os protólitos mais velhos produzem valores de T_{DM} nos seus descendentes lateríticos também mais velhos. Os metassedimentos podem apresentar variação maior, uma vez que têm fontes diferentes.

Devido à pequena amostragem, não podemos ter uma conclusão mais direta sobre o processo de intemperização e a variação isotópica do Sm-Nd, porém é muito forte a preservação da imobilidade do Sm e do Nd nos processos de intemperização, em que os valores mais antigos estão associados a rochas antigas e vice-versa.

CONCLUSÃO

Em todas as litologias avaliadas, os teores dos óxidos de ferro e alumínio são superiores, e os de sílica são inferiores aos da rocha-mãe, característica típica que representa a presença da laterização com enriquecimento em metais.

A dessilicificação produzida no decorrer do processo de intemperismo ocorre entre 50 e 90%, com tendência ferruginosa dos materiais lateríticos. Essa tendência ferruginosa é mais evidente nos gnaisses, nos quais os valores de enriquecimento chegam a resultados acima de 75% na amostra mais intemperizada.

O enriquecimento em Fe_2O_3 ocorre na fase inicial e intermediária da laterização, seguindo nessa fase uma forte lixiviação da sílica. Acompanhando essa característica química, as argilas apresentam o mesmo comportamento e aparecem já na primeira fase de intemperização; nesse caso o LOI segue enriquecendo até a fase final de laterização.

A abundância de ferro na forma de óxi-hidróxidos ocorre nos pontos onde as rochas são mais intemperizadas. No processo de laterização é normal o horizonte concrecionário apresentar-se como uma capa mineralizada. No decorrente trabalho, dois dos pontos estudados expõem esse capeamento concrecionário (que seria considerado o horizonte concrecionário). Esses pontos apresentaram teores razoáveis, porém com ampla variação quando comparados com a rocha. É necessário fazer uma malha em toda a extensão para que se possa saber a variação do teor de Fe_2O_3 na capa laterítica e, a partir daí, definir o teor médio da capa e sua capacidade exploratória como reserva mineral, independente das dificuldades de tratamento do minério.

Por meio do estudo realizado, pode-se afirmar que existe uma capa de laterização ferruginosa com grande possibilidade de se tornar reserva mineral, pois seus teores são elevados. Contudo, deve-se levar em consideração a necessidade de um estudo mais apurado, realizando perfis nos horizontes para um maior entendimento da variação dos elementos em cada horizonte específico e o desenvolvimento de uma malha específica com mais pontos, no intuito de saber se esses valores elevados de Fe são pontuais ou ocorrem em toda a extensão do processo de laterização.

Quanto aos valores isotópicos do Sm-Nd, podemos concluir que têm forte imobilidade do Sm e do Nd e que as razões dos protólitos são preservadas e definem se as crostas lateríticas são autóctones.

REFERÊNCIAS

- Almeida F.F.M., Hasui Y., Brito Neves B.B., Fuck R.A. 1977. Províncias estruturais brasileiras. In: VIII Simpósio de Geologia do Nordeste, Atas, p. 363-391.
- Arai M.A. 2006. Grande elevação eustática do Mioceno e sua influência na origem do Grupo Barreiras. São Paulo, *Geologia USP (Série Científica)*, 6(2):1-6.
- Bourman R.P., Ollier C.D. 2002. A critique of the Shellmann definition and classification of laterite. *Catena*, 47(2):117-131.
- Brito Neves B.B. 1983. *O mapa geológico do Nordeste oriental do Brasil, escala 1/1.000.000*. Tese de Livre Docência, Instituto de Geociência, Universidade de São Paulo, São Paulo, 177 p.
- Brito Neves B.B., dos Santos E.J., Van Schmus W.R. 2000. Tectonic History of the Borborema Province, Northeastern Brazil. In: Cordani U., Milani E.J., Thomaz Filho A., Campos D.A. (eds.) *Tectonic Evolution of South America*. 31st International Geological Congress. Rio de Janeiro, p. 151-182.
- Brito Neves B.B., Campos Neto M.C., Van Schmus W.R., Fernandes T.M.G., Souza S.L. 2001. O terreno Alto Moxotó no leste da Paraíba ("Mação Caldas Brandão"). *Revista Brasileira de Geociências*, 31(2):185-194.
- Cavalcante J.C.; Vasconcelos; A. M.; Gomes; F.E.M. 2003. *Mapa geológico do Estado do Ceará, escala 1:500.000*. Brasília, Ministério de Minas e Energia/ Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (MME/CPRM).
- Costa M.L. 1991. Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia. Belém, *Revista Brasileira de Geociências*, 21(2):146-160.
- Harrasowitz H., 1926: Laterit. *Material und Versuch erdgeschichtlicher Auswertung*. – Fortschritte der Geologie und Paläontologie, 4, 14. Berlin. In: Oliveira E.P. 2006. Caracterização bio-físico-químico-mineralógica e micromorfológica de um perfil de alteração de granitogneiss de Curitiba, PR. MS Dissertation. Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica, 197 p.

- Karunakaran; C; Sinha Roy; S. 1981. Laterite profile development linked with polycyclic geomorphic in south Kerala. *Internacional Seminar on Lateritisation Processes*. India, 221-231. In: Nogueira Junior J. 1985. Lateritas. *Boletim Técnico*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 46 p.
- Medina; J. 1970. Solos residuais. *Seminários sobre propriedades mecânicas do solo*. Instituto Alberto Luiz Coimbra Rio de Janeiro. In: Fumió B.L.C. 1982. *Barragens de terra sobre solos porosos: análise de soluções de drenagem na fundação*. MS Dissertation. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto Alberto Luiz Coimbra Rio de Janeiro, 90 p.
- Mabessone J.M., Beurlen K., Rand H.M. 1971. Geologia da Bacia de Jaibas (Ceará). *Série B: Estudos e Pesquisas*, Universidade Federal de Pernambuco, Instituto de Geociências, 2:1-116.
- Martin; J.F.; Doyné; J.C.. 1927. Laterite and lateritic soils in Sierra Leone, Journal of agricultural science. In: Autret; P. 1983. *Latérites et Gravelles Latéritiques*. Institut des Sciences at des Techniques de L'équipement et de L'environnement Pour le Développement . Paris 38 p.
- Nogueira Neto J.A. 2000. *Evolução Geodinâmica das faixas granulíticas de Granja e Cariré, extremo noroeste da Província Borborema*. PhD Thesis, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 171 p.
- Nogueira Junior J. 1985. Lateritas. *Boletim Técnico*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 46 p.
- Oliveira E.P. 2006. Caracterização bio-físico-químico-mineralógica e micromorfológica de um perfil de alteração de granitognaisse de Curitiba, PR. MS Dissertation. Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica, 197 p.
- Santos T.J.S., Fetter A.H., Hackspacher P.C., Van Schmus W.R., Nogueira Neto J.A. 2008. Neoproterozoic tectonic and magmatic episodes in the NW sector of Borborema Province, NE Brazil, during assembly of Western Gondwana. *Journal of South American Earth Sciences*, **25**:271-284.
- Santos M.V., Oliveira T.C.C., Abreu F.A.M. 2007. Regionalização de dados de cartografia geológica utilizando técnicas de Sensoriamento Remoto: o exemplo da Folha-Sobral-CE. INPE. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis, Anais, p. 2155-2161.
- Santos T.J.S., Nogueira Neto J.A., Fetter A.H., Hackspacher P.C. 2001. Petrografia e Litogeoquímica das Rochas do Embasamento Cristalino da Região de Granja – Ce. *Revista de Geologia*, **14**:33-48.
- Schellmann W. 1981. Considerations on the definition and classification of laterites. In: International Seminar on Lateritization Processes, 1. Trivandrum, *Proceedings...*, p. 1-10.
- Schellmann W. 1983. A new definition of laterite. Geological Survey of India, *Memoirs*, **120**: 1-7. In: Costa M.L. 2007. Introdução ao Intemperismo Laterítico e à Laterização. Sociedade Brasileira de Geoquímica (SBGq)/CPRM – Serviço Geológico do Brasil (eds.) *Prospecção Geoquímica de Depósitos Minerais Metálicos, Não Metálicos, Óleo e Gás*. Rio de Janeiro, p. 199-244.
- Suguo K., Nogueira A.C.R. 1999. Revisão crítica dos conhecimentos geológicos sobre a Formação (ou Grupo?) Barreiras do Neógeno e o seu possível significado como testemunho de alguns eventos geológicos mundiais. São Paulo, *Revista Geociências*, **189**(2):461-479.
- Torquato J.R., Nogueira Neto J.A. 1996. Historiografia da Região de Dobramentos do Médio Coreaú. Fortaleza, *Revista Brasileira de Geociências*, **26**(4):303-314.

Arquivo digital disponível on-line no site www.sbgeo.org.br
