



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ – UFC
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

ANA CLÁUDIA DE ABREU SIQUEIRA

GEOQUÍMICA DAS LATERITAS DO DOMÍNIO MÉDIO COREAÚ - NOROESTE DO
ESTADO DO CEARÁ

Fortaleza - CE

2011

ANA CLÁUDIA DE ABREU SIQUEIRA

GEOQUÍMICA DAS LATERITAS DO DOMÍNIO MÉDIO COREAÚ - NOROESTE DO
ESTADO DO CEARÁ

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Geologia da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geologia. Área de concentração: Geodinâmica e Recursos Minerais.

Orientador: Prof. Dr. Christiano Magini.

Fortaleza - CE

2011

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

-
- S628g Siqueira, Ana Cláudia de Abreu.
Geoquímica das lateritas do domínio Médio Coreau - Noroeste do Estado do Ceará / Ana Cláudia de Abreu Siqueira. – 2012.
97 f. : il. color., enc. ; 30 cm.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Departamento de Geologia, Mestrado em Geologia, Fortaleza, 2012.
Área de Concentração: Geodinâmica e Recursos Minerais.
Orientação: Prof. Dr. Christiano Magini.
1. Laterita. 2. Intemperismo. 3. Geoquímica. 4. Difração de raio X. I. Título.

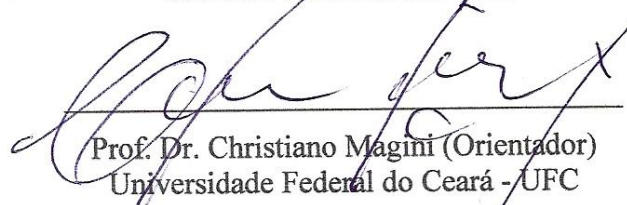
ANA CLÁUDIA DE ABREU SIQUEIRA

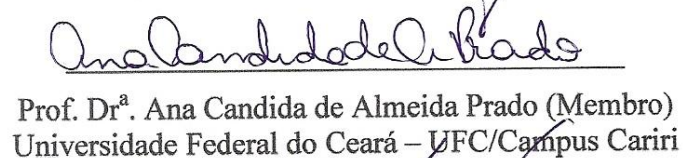
GEOQUÍMICA DAS LATERITAS DO DOMÍNIO MÉDIO COREAÚ - NOROESTE DO
ESTADO DO CEARÁ

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós Graduação em Geologia, da
Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção de grau em Mestre em
Geologia. Área de Concentração: Geodinâmica e Recursos Minerais.

Aprovada em 47/08/2012.

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Christiano Magini (Orientador)
Universidade Federal do Ceará - UFC


Prof. Dr.ª Ana Candida de Almeida Prado (Membro)
Universidade Federal do Ceará – UFC/Campus Cariri


Prof. Dr. César Ulisses Vieira Veríssimo (Membro)
Universidade Federal do Ceará - UFC

Fortaleza - CE

2012

Dedico à minha família.

Meus pais e minhas irmãs.

"O outro é indispensável à minha existência tal
como, aliás, ao conhecimento que eu tenho de mim."

Sartre

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Christiano Magini, pela disponibilidade de orientação, dedicação e a todo conhecimento a mim transferido. Meus eternos agradecimentos.

Ao professor Dr. Elton Luiz Dantas, pelo interesse, ensinamentos, disponibilidade e apoio nos dias em estive em Brasília.

Aos professores Dr. César Ulisses Vieira Veríssimo, Dr. Clóvis Vaz Parente e Dr. José Araújo Nogueira Neto (Zeca), pelo interesse, ensinamentos, correções e disponibilidade em participar do meu trabalho. Serei sempre grata pela atenção a mim dedicada.

Ao meu pai Leledo pelo apoio e amor incondicional e por sempre acreditar, torcer e confiar em mim.

À minha mãe Maria Eddy por ser meu maior impulso em seguir sempre querendo aprender e estudar ainda mais e por sempre me dá forças para nunca desistir. Além de todo apoio, cuidado, confiança, incentivo e amor incondicional.

Às minhas irmãs Ana Maria, Ana Cristina e Ana Carla, pelo amor, amizade, ajuda, interesse e apoio incondicional.

Ao meu Avô Capistrano e ao meu Tio e companheiro de profissão Luís Henrique pelo interesse e apoio.

Ao meu primo e colega de mestrado João Neto pela torcida, discussões e apoio.

Ao meu cunhado Marcelo, pelo carinho, amor e torcida.

Aos meus amigos Diones, Elenilza, Agnaldo, Weber, Joel, Talita e Nelson, que de alguma forma participaram e ajudaram no desenvolvimento desse trabalho, agradeço pela amizade, apoio, disponibilidade, companhia e discussões. Obrigada por terem ocupado um pouco do tempo de vocês e dedicado a mim.

À todos que estavam em Brasília e que eu pude contar com a companhia e amizade, nas disciplinas e no dia a dia, meus agradecimentos ao Nilo Pedrosa, Heriscarth, Enio, Judiron, Rafael, Allany, Aninha, Aureliano, Leandro, Carol Reis, Carol Couto, Leo Melo e Ednie.

À todos meus colegas de turma e da pós graduação da UFC.

À todos os meus amigos em especial ao Alex, Buda, Adriano Sampaio, Ailton, Cecílio, Gleiber, Joni, Juliana Rabelo, Taciana, Robson, Gracy, Karen, Alcione, Suelem, Renata

Mattos, Amanda, Ricardo, Eduardo, Maurício, Dijeane, Solon e muitos outros, pelo interesse, apoio e momentos de distração.

À todos da minha família Abreu e seus agregados, por serem minha base.

Aos professores e funcionários do departamento de Geologia da UFC.

À Universidade Federal do Ceará.

Ao CNPQ e Procad.

À Deus, por ter permitido e colocado todas essas pessoas em meu caminho para ajudar e apoiar em mais uma conquista.

RESUMO

Este trabalho faz uma avaliação sobre as a assinatura geoquímica de rochas lateríticas que ocorrem nas imediações dos municípios de Granja, Martinópolis e Parazinho a noroeste do Estado do Ceará. Geologicamente a área está localizada no Domínio Médio Coreaú, situado na porção noroeste da Província Borborema, é 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 Martinópolis e Ubajara. As lateritas ocorrem formando uma capa de intemperismo associada aos filitos, quartzitos e gnaisses e se destacam por serem uma ocorrência incomum em áreas consideradas semi-áridas, quando o mais comum seria estarem associadas a climas mais úmidos (sazonais ou não), portanto é mais provável que o processo que levou à geração desses mantos seja decorrente de condições climáticas antigas diferenciadas das atuais. As amostras para análise geoquímica foram coletadas em pontos distintos, onde em cada um deles foi coletado amostra da rocha fonte, da rocha em processo de intemperismo e das concreções lateríticas nas diferentes litologias em que o processo de laterização está associado. Os resultados gerais mostram que, em todos os pontos considerados, os teores dos óxidos de ferro e alumínio são superiores, e os de sílica são inferiores aos da rocha-mãe, característica típica de um perfil laterítico. Os valores de H₂O também aumentam no decorrer do processo de laterização e elementos como o Cr, Mn, Mg, Na e P apresentam-se estáveis. No filito como rocha fonte, é possível observar que o enriquecimento em Al e Fe se deram nos primeiros estágios de intemperismo, permanecendo estável no decorrer do processo, assim como empobrecimento em Si também seguiu esse padrão de comportamento. O Fe foi enriquecido em teores de aproximadamente 40% maiores em relação aos teores apresentados na rocha fonte. Já no Complexo Granja e Grupo Martinópolis o aumento dos teores em Fe se tornou ainda mais significativo no decorrer do processo de intemperismo, apresentando valores maiores que 70% na rocha em processo de alteração e nas concreções de lateritas. Resultados de difração de raios X mostram que o principais óxi-hidróxidos envolvidos no processo são a hematita e goethita, nas fases mais oxidadas da amostra a sílica não está presente, no ponto 3 ela fica retida até o limite do nódulo concrecionário em formação, presente em uma borda zoneando o centro. É possível considerar que mesmo sendo alto o enriquecimento do Al em todos os pontos considerados, onde os teores desse elemento

estimam aproximadamente 6 a 7% na rocha em processo de alteração, os valores de enriquecimento em Fe são muito significativos para exploração.

Palavras-chave: laterita, intemperismo, geoquímica, difração de raio X.

ABSTRACT

This paper makes an assessment of the geochemical signature of the lateritic rocks that occur near the towns of Granja, Martinópolis and Parazinho northwest of the state of Ceará. Geologically the area is located in Médio Coreaú Domain, located in the northwestern portion of the Borborema Province, is characterized by the Granja Complex representing the basement of the region, composed of gneisses, granulites and migmatites, and supracrustal sequences composed by quartzites, phyllites and schists of the Group Martinópolis and Ubajara. The laterites occur forming a layer of weathering associated with phyllites, quartzites and gneisses and stand out to be an uncommon occurrence in areas considered semi-arid regions, where the most common would be associated with more humid climates (seasonal or not), so it is more likely that the process that led to the generation of these rocks is due to different climatic conditions of the current old. The samples for geochemical analysis were collected at different points, where in each sample was collected from the source rock, the rock in the process of weathering and lateritic concretions in different lithologies in which the process is associated lateritization. The overall results show that in all the points considered, the contents of the oxides of iron and aluminum is higher, and the silica are lower than the bedrock, typical of a laterite profile. The H₂O values also increased during the process and lateritization elements such as chromium, manganese, magnesium, sodium and phosphorus are stable. Taking into account the phyllite as source rock, it is observed that the enrichment in Al and Fe were found in the early stages of weathering, remaining stable during the process, as depletion of Si also followed this pattern of behavior. Iron was enriched in content of approximately 40% higher compared to the values shown in source rock. Considering the quartzite and gneiss in the increase of Fe content has become even more significant during the weathering process, with values greater than 70% of the rock in the process of change and of lateritic concretions. Results of X-ray diffraction show that the major oxides and hydroxides of the process are hematite and goethite in the oxidized sample stages silica is not present, in section 3 it is contained within the limit of concretionary nodules in training, this on a ledge mucking up the center. It can be considered by enriching the possibility of Fe mineralization, even though the enrichment of high-Al considered at all points where the contents of this element approximately estimated 6-7% of the rock in the process of change. However enrichment values are very significant Fe in the operation.

Key-words: laterite, weathering, geochemical, X ray diffraction

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mapa de localização da áreas de pesquisa.	13
Figura 2 - Mapa do Estado do Ceará expondo sua divisão regional. A área de estudo está localizada na Região 1. Ao lado dados pluviométricos para a Região 1 representado no gráfico.	14
Figura 3 - Vegetação típica da região, onde (A) representa o complexo vegetativo de zona litorânea e (B) a caatinga arbustiva densa.	15
Figura 4 - Reconstrução de parte a deriva dos continentes da África e América do Sul mostrando as principais províncias cratônicas. No centro a porção Norte da PB (adaptado de Trompette, 1994).	17
Figura 5 - Domínios geológicos da porção norte da Província Borborema (modificado de Fetter, 1999).	18
Figura 6 - Mapa geológico regional do Domínio Médio Coreau, NW do Estado do Ceará. ..	24
Figura 7 - Série de Goldchi: ordem de estabilidade frente ao intemperismo dos minerais mais comuns. Comparação com a série de cristalização magmática de Bowen.	27
Figura 8 - Sequencia de alteração mineral Goldich (1938).	28
Figura 9 - Solubilidade da sílica e da alumínio em função do pH. A solubilidade da sílica aumenta em meios mais alcalinos e o alumínio é solúvel em meios muito ácidos ou muito alcalinos (Masson 1966).	29
Figura 10 – A alteração intempérica de um mineral com Fe^{2+} resulta, por oxidação do Fe^{2+} para Fe^{3+} , na formação de um óxido hidratado, a goethita.	31
Figura 11 - Diagrama ternário $SiO_2 - Al_2O_3 - Fe_2O_3$ mostrando a classificação dos lateritos derivados de granitos e gnaisses graníticos, segundo Schellmann (1983).	36
Figura 12 - Diagramas modificados de Bourman & Ollier (2002), onde $SiO_2 - Al_2O_3 - Fe_2O_3$ representam respectivamente quartzo, gibbsita e hematita + goethita + maghemita, e ressaltam os diferentes materiais encontrados na zona ferruginosa dos perfis lateríticos, no entanto, com domínio maior de SiO_2 e Fe_2O_3 , convergindo assim para as zonas da caulinitização e da lateritização incipiente e moderada de Schellmann (1983).	37
Figura 13 - Figura 13 – Mapa de localização dos pontos de amostragem, com a fusão entre a geologia (modificado CPRM) e do modelo digital de terreno (MDT).	41
Figura 14 - Fases do método Sm-Nd, pesagem, abertura e separação química.	44
Figura 15 - Especificar fases da amostra para DR-X, sendo evidenciado o centro e a borda do nódulo em formação e as partes mais clara e mais escura da matriz da rocha.	45

Figura 16 - Processo de desagregação da rocha. Presença de estruturas de acumulação e de nódulos de alteração, observados em detalhe.	46
Figura 17 - Blocos soltos em avançado estágio de intemperismo.	47
Figura 18 - Evolução do processo de intemperismo, concreções separadas da rocha levando a formação de uma crosta laterítica.	47
Figura 19 - Estruturas de lixiviação, possível observar “vazios” gerados pela remoção do material.	47
Figura 20 - Estruturas de acumulação, início da formação de nódulos, possível observar o zoneamento nas bordas dos nódulos.	47
Figura 21 - Diferentes estágios de alteração da rocha, apresentando o preenchimento de óxidos se agregando aos cristais de quartzo. Observação em Luz Ortoscópica - LO/Objetiva de 5x. Abreviatura: Qtz – quartzo.	48
Figura 22 - Estruturação distribuída através das bordas dos cristais de quartzo. Observação em Luz Ortoscópica - LO/Objetiva de 20x. Abreviaturas: Qtz – quartzo; Go – Goethita; He - Hematita.	49
Figura 23 - Preenchimento de óxidos se agregando aos cristais de quartzo através das fraturas. Observação em Luz Ortoscópica - LO/Objetiva de 10x. Abreviaturas: Qtz – quartzo.	49
Figura 24 - Amostra do Complexo Granja fortemente alterada, utilizada para análise de difração de raio-x. A figura mostra as diferentes fases analisadas.	49
Figura 25 - Difratoograma de raios X da fase 1, que configura a parte mais preservada da amostra, exibindo como minerais o quartzo, hematita e goethita.	50
Figura 26 - Difratoograma de raios X da fase 1, que configura a parte mais clara da amostra, exibindo como minerais o caulinita, hematita e goethita.	51
Figura 27 - Difratoograma de raios X da fase 1, que configura a parte avermelhada da amostra, exibindo como minerais o caulinita, hematita e goethita.	51
Figura 28 - Sobreposição das fases da amostra 3 de raios X.	52
Figura 29 - Blocos rolados de quartzitos contendo ferro e sulfetos (pirita e calcopirita).	53
Figura 30 - Couraça ferruginosa, concreções ou capa de alteração ferruginosa.	53
Figura 31 - Extensão de centenas de metros.	53
Figura 32 - Estruturas de reorganização, representada por micro foliações através da reorganização e reorientação da matéria que entrou em solução.	54
Figura 33 - Estruturas de acumulação, formação de nódulos maciços.	54

Figura 34 - Quartzito apresentando estrutura de lixiviação é possível notar a presença de “canais”, “tubos” e “vazios”, oriundos da subtração de matéria.	54
Figura 35 - Em maior detalhe, na lupa binocular com aumento de 6.7 vezes, mostrando os vazios e a reorganização da estrutura da rocha.....	54
Figura 36 - Estruturas de acumulação, formação de nódulos, possível observar o zoneamento nas bordas dos nódulos.	55
Figura 37 - Estruturas de acumulação, formação de nódulos concrecionário em fase de desagregação da amostra.	55
Figura 38 - Fotomicrografia tirada de uma lâmina delgada de quartzito fortemente intemperizado. Em ambas é notada a presença de minerais opacos em meio os minerais de quartzo. Em A observação em Luz Natural Polarizada - LNP/Objetiva de 10x; e em B observação em Luz Ortoscópica - LO/Objetiva de 10x. Abreviaturas: Opc – minerais opacos; Qtz – quartzo.	56
Figura 39 - Fotomicrografia evidenciando a desagregação dos cristais de quartzos sendo envolvidos por óxidos de ferro. LO/Objetiva de 20x. Abreviaturas: Qtz – quartzo.....	56
Figura 40 - Amostra da Formação São Joaquim fortemente alterada, utilizada para análise de difração de raio X. A figura mostra as diferentes fases analisadas.	57
Figura 41 - Difratoograma de raios X da fase 1, que configura o centro do nódulo em formação da amostra, exibindo como minerais a hematita e caulinita.	57
Figura 42 - Difratoograma de raios X da fase 2, que configura a parte da matriz mais escura da amostra, exibindo como minerais o quartzo, hematita, goethita e caulinita.....	58
Figura 43 - Difratoograma de raios X da fase 3, que configura a parte clara da amostra, exibindo como minerais o quartzo, hematita e caulinita.	58
Figura 44 - Difratoograma de raios X da fase 4, que configura a borda da concreção, exibindo como minerais o quartzo, hematita, greenalita e caulinita.	59
Figura 45 - Sobreposição das fases que se apresentam com os picos distintos.....	60
Figura 46 - Estrutura de lixiviação, possível notar a presença de “canais”, “tubos” e “vazios”, oriundos da subtração de matéria.	61
Figura 47 - Em maior detalhe, com aumento de 60 vezes na lupa binocular, mostrando a reorganização da estrutura da rocha.	61
Figura 48 - Estrutura cordada apresentada em lâmina através do aumento de 5 vezes.....	61
Figura 49 - Em maior detalhe, com aumento de 5 vezes, vazios mostrando a reorganização da estrutura da rocha.....	61

Figura 50 - Amostra da Formação Santa Teresinha fortemente alterada, utilizada para análise de difração de raios X. A figura mostra as diferentes fases analisadas.	62
Figura 51 - Difratograma de raios X da fase 1 exibindo como minerais o quartzo, hematita, goethita.	62
Figura 52 - Sobreposição das fases da amostra que se apresenta com os picos coerentes.	62
Figura 53 - Matriz da rocha cimentada por material argiloso.	64
Figura 54 - Estruturas de lixiviação.	64
Figura 55 - Diagrama Ternário mostrando a variação dos elementos, SiO ₂ , Al ₂ O ₃ e Fe ₂ O ₃ no decorrer do processo de alteração da rocha.	67
Figura 56 - 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 ₂ O ₃	68
Figura 57 - Diagrama Binário, com a reta da regressão linear e coeficiente y, comparando o comportamento e mobilidade do ferro com a sílica no decorrer das fases do intemperismo/laterização.	70
Figura 58 - Diagrama Binário, com a reta da regressão linear e coeficiente y, comparando o comportamento e mobilidade do alumínio com a sílica no decorrer das fases do intemperismo/laterização.	72
Figura 59 - Diagrama Binário, com a reta da regressão linear e coeficiente y, comparando o comportamento e mobilidade do titânio com a sílica no decorrer das fases do intemperismo/laterização.	73
Figura 60 - Diagrama Binário, com a reta da regressão linear e coeficiente y, comparando o comportamento e mobilidade de LOI através da sílica no decorrer das fases do intemperismo/laterização.	74
Figura 61 - Padrões de distribuição dos elementos terras raras em relação ao manto primordial (Sun & McDonough, 1989). Série La-Lu.	77
Figura 62 - Padrões de distribuição dos elementos terras raras em relação ao manto primordial (Sun & McDonough, 1989). Série La-Lu representada também em preto as amostras do Complexo Granja cedida pela CPRM.	77
Figura 63 - Spider Diagrama representando a distribuição dos elementos comprados com amostras do Complexo Granja cedidas pela CPRM.	79
Figura 64 - Imagem aerogeofísica obtida através da gamaespectrometria. Os domínios representados pela linha amarela possivelmente são processos de intemperismo ligado a laterização.	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela identificando a associação de cada amostra com seu respectivo ponto, indicando a rocha fonte e a situação de intemperismo de cada amostra.	40
Tabela 2 - Tabela identificando que tipo de análise química foi feito nas amostras.....	42
Tabela 3 - Classificação do tipo de laterização segundo Sinha Roy (1967) e Karunakaran – Sinha Roy (1971) e através dos índices de intemperismo Kr e Ki, baseados na classificação de Martin e Doyne (1927) e Medina.	66
Tabela 4 - Tabela apresentando os valores da geoquímica dos elementos maiores (%peso)...	75
Tabela 5 -Tabela apresentando os valores da geoquímica (%peso) cedidos pelo estudo feito em convênio com a CPRM/UFC.	75
Tabela 6 -Tabela apresentando os valores da geoquímica dos elementos terras raras, série lantânio -lutécio (valores em ppm).	78
Tabela 7 - Tabela apresentando os valores da geoquímica dos elementos que podem ser parcialmente retidos em minerais neoformados (valores em ppm).	78
Tabela 8 - Tabela com os resultados litogeoquímicos das amostras 3C, 3D e 3E, realizadas no ponto 3.	80

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. Apresentação	11
1.2. Objetivos	11
1.3. Localização	12
1.4. Aspectos Fisiográficos	13
1.4.1. Clima	13
1.4.2. Vegetação	15
1.4.3. Solos	15
1.4.4. Hidrografia	16
2. GEOLOGIA REGIONAL	17
2.1. Domínio Médio Coreau	18
2.1.1. Complexo Granja	19
2.1.2. Sequência Vulcânica Saquinho	19
2.1.3. Grupo Martinópole	20
2.1.4. Grupo Ubajara	21
2.1.5. Granitóides	22
2.1.6. Grupo Jaibaras	22
2.1.7. Grupo Riacho do Sairi	23
2.1.8. Grupo Barreiras	25
3. LATERIZAÇÃO – PROCESSO E PRODUTO	26
3.1. Intemperismo	26
3.1.1. Hidrólise	29
3.1.2. Oxidação	30
3.1.3. Hidratação	31
3.1.4. Carbonatação	32
3.1.5. Dissolução	32
3.2. Laterito	32
3.3. Sistemas de Classificação	34
3.4. Tipos de Estruturas e Aspectos Mineralógicos	37
4. MÉTODOS E AMOSTRAGEM	39
4.1. Procedimento experimental	39
4.1.1. Etapa Inicial	39
4.1.2. Etapa de campo – Amostragem	39

4.1.3. Etapa de Laboratório	42
4.1.3.1. Análise Química	42
4.1.3.2. Análise Isotópica – Método Sm/Nd	43
4.1.3.3. Análise Petrográfica	44
4.1.3.4. Difractometria de Raios X	44
4.1.4. Etapa Final	45
5. ASPECTOS GEOLÓGICOS, MINERALÓGICOS E TEXTURAIS	46
5.1. Complexo Granja	46
5.2. Grupo Martinópolis	52
5.2.1. Formação São Joaquim	52
5.2.2. Formação Santa Teresinha	60
5.3. Grupo Barreiras	63
6. GEOQUÍMICA	65
6.1. Elementos Maiores	65
6.1.1. Fe_2O_3 x SiO_2	69
6.1.2. Al_2O_3 x SiO_2	71
6.1.3. TiO_2 x SiO_2	72
6.1.4. LOI x SiO_2	74
6.2. Elementos Traços e Terras Raras	76
6.3. Resultados para o Sm/Nd	81
7. EXTENSÃO DAS LATERITAS	82
8. CONCLUSÃO	84
9. REFERÊNCIAS	86

1. INTRODUÇÃO

1.1. Apresentação

Este trabalho faz uma avaliação sobre a geoquímica nas lateritas superficiais que ocorrem nas imediações de municípios de Granja, Martinópolis e Parazinho a noroeste do Estado do Ceará. O termo aqui será usado levando em consideração o conceito utilizado por Costa (1991) para designar rochas formadas ou em processo de formação através de um intenso intemperismo químico de rochas pré existentes.

Geologicamente a área está localizada no Domínio Médio Coreaú, situado na porção noroeste da Província Borborema, é caracterizada, pelo Complexo Granja representando o embasamento da região, composto por gnaisses, granulitos e migmatitos, e por seqüências supracrustais compostas pelos quartzitos, filitos e xistos do Grupo Martinópolis e Ubajara. O Grupo Barreiras é representado pelos conglomerados, que segundo Praxedes (2011) ocorrem em contato discordante com hiato por sobre as unidades Gnáissica-Migmatítica e Granulítica do Complexo Granja. As lateritas formam uma capa de intemperismo associadas às litologias do Complexo Granja, Grupo Martinópolis e Grupo Barreiras.

Uma definição complexa e exata sobre o que vem a ser esse material ainda não foi plenamente aceita, já que o mesmo também é estudado por diferentes áreas de conhecimento além da geologia, dentre eles os engenheiros civis, pedólogos e geógrafos. Entretanto atualmente o conceito mais aceito é de Schellmann (1981), onde o mesmo define Lateritos como “produtos de intenso intemperismo químico de rochas sub-aéreas, cujos conteúdos de Fe e/ou Al são maiores, e os de Si são menores aos da rocha-mãe meramente caulinizada”.

1.2. Objetivos

O objetivo geral do trabalho consistiu em realizar um levantamento geoquímico das ocorrências de lateritas sob o Complexo Granja, Grupo Martinópolis e Grupo Barreiras, Folha Granja – CE, visando 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.

Além do objetivo geral, enumeraram-se metas específicas que foram definidas visando aprimorar o entendimento do trabalho e também na melhor organização do mesmo, como segue:

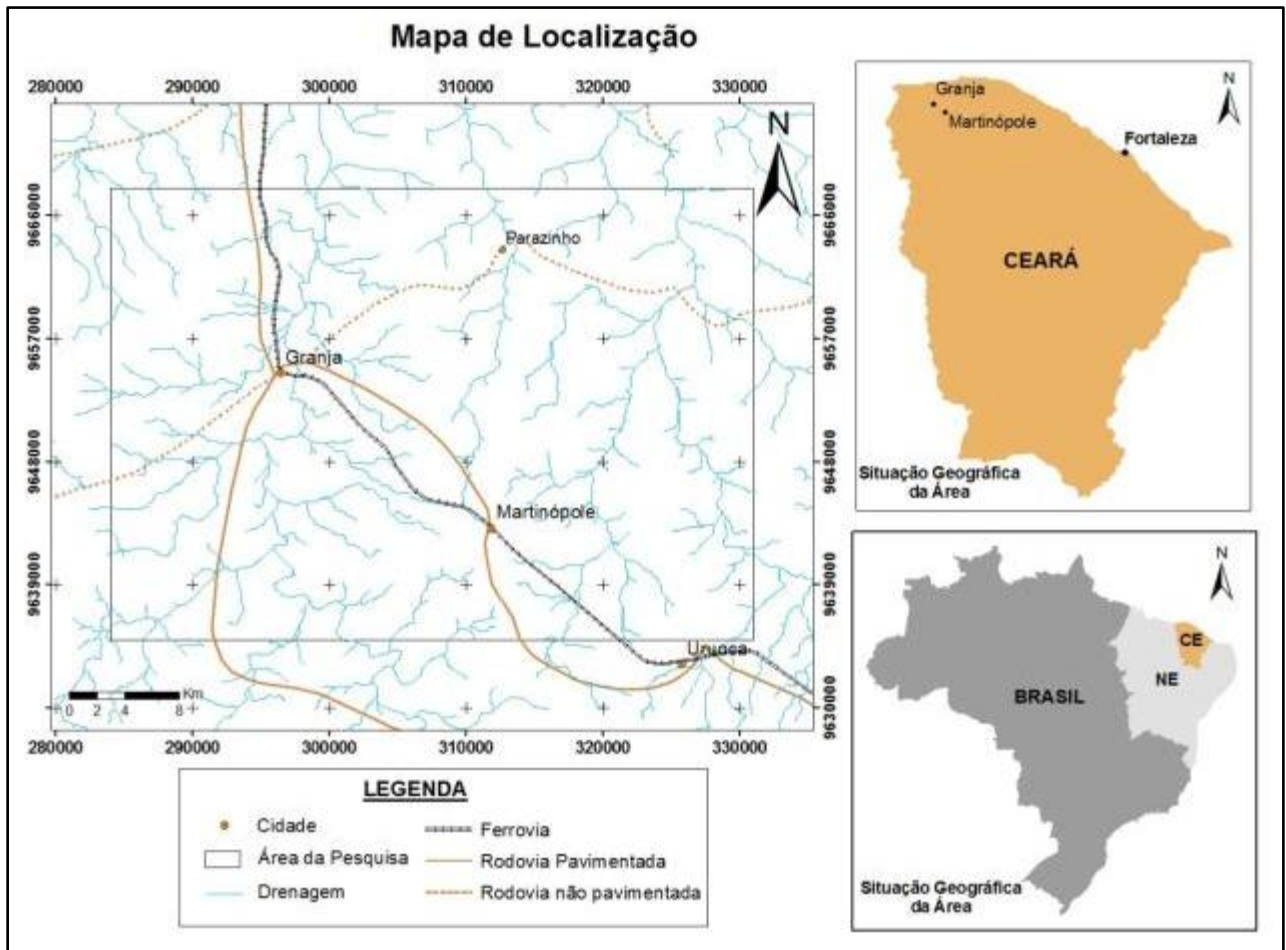
1. Avaliar especificamente o enriquecimento e/ou empobrecimentos nos teores de Ferro, na tentativa de definir a possibilidade de exploração mineral deste elemento.
2. Analisar juntamente com o comportamento e mobilidade do Ferro o comportamento específico também do Alumínio, Sílica, Titânio e Água durante o processo de intemperismo/laterização da rocha.
3. Analisar o comportamento dos elementos traços, elementos terras raras (ETR) e especificamente do Sm/Nd.
4. Analisar as propriedades em termos mineralógicos e estruturas características encontradas em lateritas.
5. Classificar o tipo de laterização através de metodologias já utilizada por outros autores como Oliveira (2006), Harrassowitz, Martin e Doyne (1927 apud Nogueira Junior 1985), Karunakaran – Sinha Roy (1971 apud Nogueira Junior 1985) e Schellmann (1983, apud Costa 2007).

1.3. Localização

Geograficamente a área abrange os municípios de Granja e Martinópolis, situadas a noroeste do Estado do Ceará e está inserida 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 possui área de 2.697,20 km² e está localizada a 03°07'13" de latitude sul e 40°49'34" de longitude oeste, estando a uma altitude de 10,55 metros. Martinópolis possui área de 298,95 km², localizada a 3° 13' 32" de latitude sul e 40° 41' 48" de longitude oeste.

Os pontos analisados estão posicionados a sul e sudeste (S e SW) da cidade de Martinópolis, a noroeste (NW) de Granja e a sudoeste (SW) do município de Parazinho (Figura 1). O acesso à região seguindo a partir de Fortaleza pode ser feito através das rodovias BR - 020 e BR - 222, seguindo pela mesma até a cidade de Sobral (~240 km), entrando na CE - 362 chegando à cidade de Granja (~60 km).

Figura 1: Mapa de localização da área de pesquisa.



Fonte: Própria.

1.4. Aspectos Fisiográficos

Os dados e informações aqui apresentadas foram, em parte, extraídos do pelo Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE, 2010) e da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME, 2002; 2009).

1.4.1. Clima

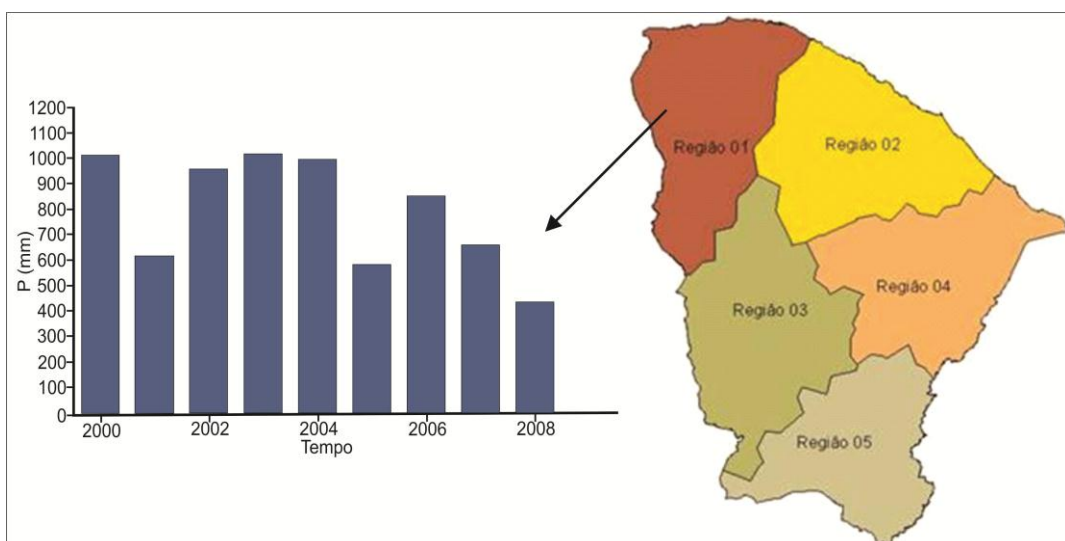
O clima é o fator que desempenha maior atividade no processo de formação dos solos. Atuando através de componentes como temperatura, precipitação, umidade relativa do ar, vento e suas variações, o clima pode agir, direta ou indiretamente, determinando o tipo de intemperismo predominante.

O clima da região de Granja é do tipo tropical quente semi-árido brando e tropical quente subúmido, em Martinópole é do tipo tropical quente semi-árido brando e tropical quente semi-árido (IPECE, 2010). Ambos são fortemente influenciados pelas precipitações pluviométricas que definem uma estação chuvosa irregular (de 3 a 5 meses) e uma estação seca no restante do ano. A temperatura média ($^{\circ}\text{C}$) varia em torno de 26° a 28° durante o período seco e escassez de chuvas, durante o período chuvoso, caracterizados entre os meses de janeiro a maio, a maior precipitação pluviométrica apresenta média anual em torno de 1.039,9 mm no município de Granja e 1.302,1 mm no município de Martinópole (FUNCEME 2002; IPECE, 2010).

Segundo dados pluviométricos anuais, de 2000 a 2008, para as regiões do Estado do Ceará (Figura 2), os períodos chuvosos são representados pelos meses de Janeiro a Maio, enquanto que para os demais meses os índices de pluviometria são praticamente nulos (FUNCEME 2009). Estes dados evidenciam os aspectos pluviométricos (Figura) da área de estudo, representado pela região 1, em comparação com as outras regiões do Estado do Ceará.

Pode-se estabelecer como um limite mínimo de precipitação necessário para formação e evolução das lateritas, a faixa compreendida entre 750 a 1200 mm anuais. Os dados indicam valores altos com cerca de 1.100 mm anuais em um período que varia de 3 a 5 meses do período chuvoso, assim mostrando que na região o intemperismo é intenso. A apresentação destes dados caracteriza apenas o clima da região, pois os mantos lateríticos inseridos nos municípios de Granja, Martinópole e regiões adjacentes, foram desenvolvidos muito antes dos dados pluviométricos analisados neste trabalho.

Figura 2 - Mapa do Estado do Ceará expondo sua divisão regional. A área de estudo está localizada na Região 1. Ao lado dados pluviométricos para a Região 1 representado no gráfico.



Fonte: Funceme 2009.

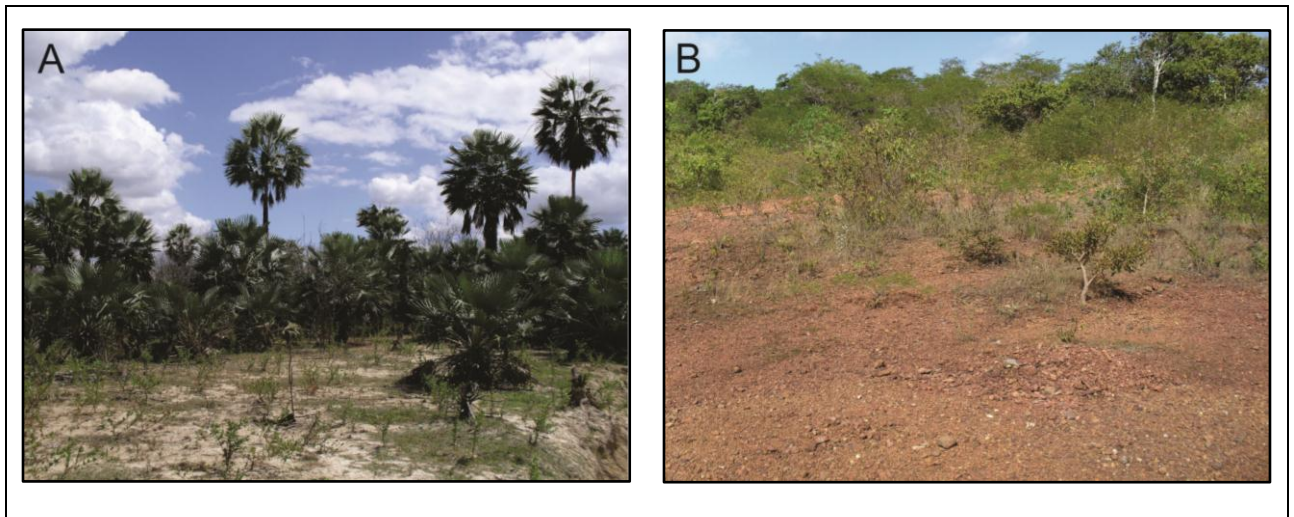
1.4.2. Vegetação

Dados do IPECE (2010) descreve que a vegetação da região de Granja é composta predominantemente pelo complexo vegetacional da zona litorânea (Figura A), cerrado e floresta caducifólia espinhosa, já na região mais próxima à Martinópolis, além do complexo vegetacional da zona litorânea e cerrado, também ocorre à caatinga arbustiva densa e aberta (Figura B).

A vegetação de pequeno porte permite uma maior lixiviação, facilitando assim a mobilização do ferro. Segundo Nogueira Junior (1985) embora a proteção contra a erosão seja menor, seu efeito elimina os materiais de cobertura e o elevado escoamento das águas superficiais concentra material granular, criando condições favoráveis à laterização.

Essa cobertura vegetal é influenciada pelo clima, em época de chuvas elas são bem marcadas e verdes, com aspectos de médio porte, enquanto que em períodos secos apresentam um aspecto arbustivos e sem cor. São mais frequentes nas proximidades das drenagens e circundando maciços e matacões (FUNCEME/IPECE, 2002).

Figura 3 - Vegetação típica da região, onde (A) representa o complexo vegetativo de zona litorânea e (B) a caatinga arbustiva densa.



Fonte: Própria

1.4.3. Solos

Próximo à região de Granja encontram-se areias quartzosas distróficas, solos litólicos, planossolo solódico, podzólico vermelho-amarelo, solonchak e solonetz solodizado. Em Martinópolis os mesmos tipos já citados exceto as areias quartzosas e solonchak.

Os litólicos são solos pedregulhosos, deficiente em água e de pouca espessura. Os planossolos apresentam profundidades moderadas e são dotados de boas condições de fertilidade e os podzólicos podem apresentar maior fertilidade natural e grande potencial para agricultura.

1.4.4. Hidrografia

Os municípios de Granja e Martinópolis estão inseridos na bacia hidrográfica do rio Coreáú. Esta região hidrográfica engloba tanto a bacia drenada especificamente pelo rio Coreáú e seus afluentes, como também o conjunto de bacias independentes adjacentes. O rio Coreáú nasce da confluência dos riachos Jatobá e Caiçara, oriundos do sopé da serra de Ibiapaba, e desenvolve-se (praticamente no sentido sul-norte) por 167,5Km até o Oceano Atlântico.

Como principais drenagens superficiais de padrão dendrítico e de caráter intermitente, podem ser mencionados: o rio Coreáú, o riacho Jurema e os Açudes Jureminha, Premiada e o Premuoca, sendo este último o maior açude do município e o mais movimentado como local de lazer.

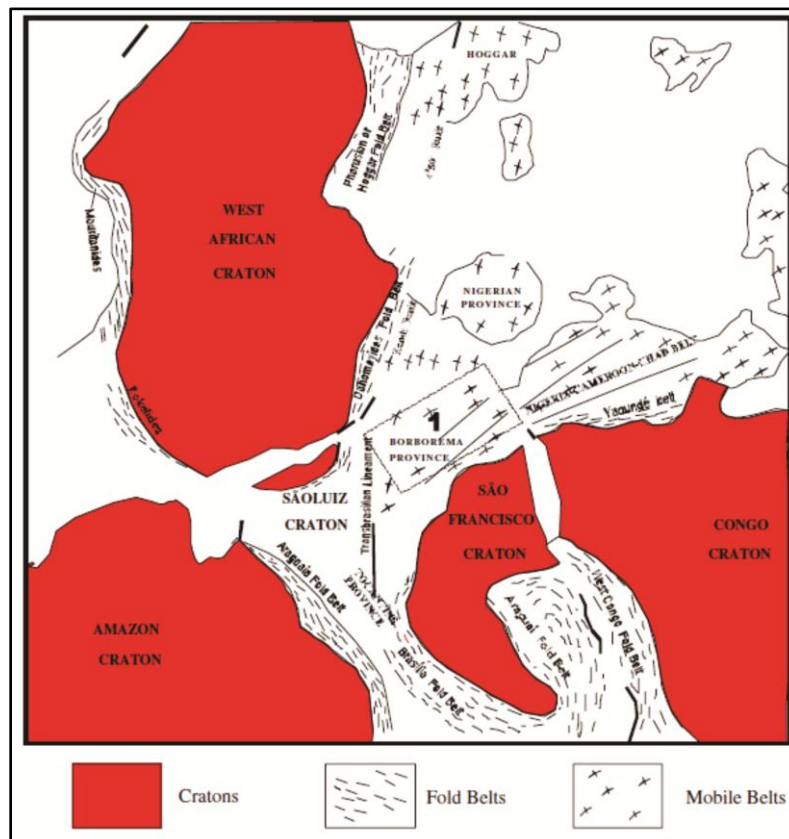
O rio Coreáú é um rio temporário com débito fluvial sujeito às variações pluviométricas típicas da região, que é marcada por um período chuvoso que vai de janeiro a maio e um período seco que vai de junho a dezembro. Nos períodos chuvosos, o escoamento ao longo dos canais dos rios é considerável, porém, após o final das precipitações verifica-se o total esgotamento das suas lâminas de água em um curto período de tempo. Quando a bacia hidrográfica se situa sobre terrenos cristalinos ocorrem inundações por causa da baixa porosidade destas rochas.

2. GEOLOGIA REGIONAL

A área pesquisada está inserida dentro do contexto geológico da Província Borborema, denominada assim primeiramente por Almeida et al. (1977). Segundo Santos et al. (2007) uma província é um retalho de terrenos de diferentes litologias, separados por falhas e lineamentos importantes.

Esta província cobre uma 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 orogénético Pan-Africano-Brasiliano, desenvolvido como consequência de uma convergência e colisão dos crátons São Luís - Oeste da África e São Francisco-Congo-Kasai no final do Neoproterozóico (Figura 4).

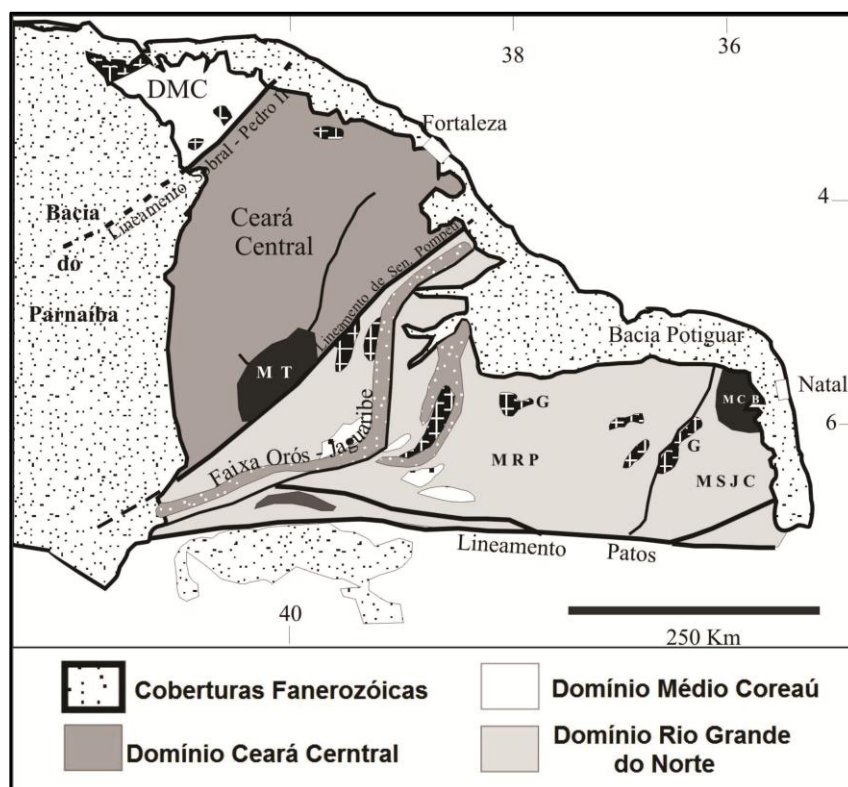
Figura 4 - Reconstrução de parte a deriva dos continentes da África e América do Sul mostrando as principais províncias cratônicas. No centro a porção Norte da PB (adaptado de Trompette, 1994).



Fonte: Santos et al., 2008

A Província Borborema, recentemente dividida em domínios geotectônicos neoproterozóicos, é formada por blocos crustais amalgamados durante a orogênese (colagem) brasileira (SANTOS et al., 2001). Representado na Figura 5 está a porção norte desta Província, onde acima do Lineamento Patos, é subdividida em três grandes Domínios, a saber: Médio Coreau, Ceará Central e Rio Grande do Norte (BRITO NEVES, 2000). A área de estudo está inserida dentro do **Domínio Médio Coreau (DMC)**.

Figura 5 - Domínios geológicos da porção norte da Província Borborema (modificado de Fetter, 1999).



Fonte: Santos, Nogueira Neto e Fetter (2001).

2.1. Domínio Médio Coreau

O Domínio Médio Coreau - DMC (Figura 6) situa-se na parte noroeste do Estado do Ceará e nordeste do Estado do Piauí, está limitado entre a margem retrabalhada do Cráton São Luis - Oeste Africano e o Lineamento Transbrasiliano (BRITO NEVES; DOS SANTOS; VAN SCHMUS, 2000). Para Santos et al. (2008) representa a margem noroeste da Província Borborema, compreendendo um cinturão colisional Brasileiro/Panafricano formado durante a

aglutinação do Gondwana oeste. O limite leste com o Domínio Ceará Central é marcado pelo lineamento Sobral-Pedro II.

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

Esse domínio também é composto por segmentos capturados de cinturões vulcano-sedimentares (Grupo Martinópolis) e segmentos pelíticos carbonáticos (Grupo Ubajara) neoproterozóicos. Complementa-se o **DMC** uma sequência de corpos graníticos Neoproterozóicos localizados no extremo sul do **DMC**, uma bacia (Bacia do Jaibaras – Grupo Jaibaras) residual molássica continental (TORQUATO; NOGUEIRA NETO 1996 e NOGUEIRA NETO 2000). Santos et al. (2008), apresenta ainda uma sequência vulcânica Saquinho. E Cavalcante et al. (2003) propõem a existência do Grupo Riacho Sairi.

2.1.1. Complexo Granja

O Complexo Granja representa o embasamento do **DMC**, segundo Santos et al. (2001) através de dados em campo, geocronologia Rb/Sr, associados a estudos geoquímicos e petrográficos o Complexo Granja pode ser dividido em três sequências. Deste modo, tem-se a Sequência I, representada por uma suíte de rochas com afinidade tonalítica-trondjemítica-granodiorítica (TTG); a Sequência II, composta de granulitos, kondalitos e kinzigitos e; Sequência III, formada por migmatitos.

Em trabalhos mais atuais Santos et al. (2008) definiram que seria constituído por ortognaisses (TTG), anfibolitos gnáissicos, anfibolitos, leucogranitos, granulitos máficos, enderbitos, kondalitos, kinzigitos e migmatitos.

Fetter (1999) e Nogueira Neto (2000) através do método Sm-Nd (T_{DM}) mostram idades de 2.63 e 2.36 Ga para amostras de granada-gnaisses e granulitos máficos, respectivamente. Os mesmos interpretaram estas idades como provenientes de uma crosta juvenil desenvolvida a partir do Paleoproterozóico (2.3Ga).

2.1.2. Sequência Vulcânica Saquinho

Esta unidade compreende rochas vulcânicas félsicas a intermediárias incluindo traquiandesitos, riolitos, brechas vulcânicas e tufos (SANTOS et al., 2002 apud SANTOS et al. 2008).

2.1.3. Grupo Martinópole

Foi através de Brito Neves (1975) que o Grupo Martinópole foi assim nomeado, em seguida Prado *et. al.* (1981) subdividem o Grupo Martinópole nas três formações clássicas:

- ✓ Santa Terezinha constituída por filitos,
- ✓ Covão formada essencialmente por xistos e
- ✓ São Joaquim onde os quartzitos são os principais litotipos e colocam-no no Proterozóico Médio.

Porém inumeros autores questionaram a coluna litoestratigráfica e idade desse grupo, Torquato, Pereira e Nogueira Neto (1987) retiram a Formação São Joaquim e subdividem as duas superiores em membros. A Santa Terezinha passou a constituir-se dos seguintes Membros: Casinha, Vargem e Marfim, e a Covão dos Membros Várzea Grande e Lagoa Grande, tudo no Proterozóico Superior. Oliveira (1982) coloca o grupo no espaço de tempo compreendido entre o Proterozóico Superior e Médio e em 1987 igualmente retira a Formação São Joaquim do Grupo Martinópole. Santos e Hackspacher (1992) colocam o Grupo Martinópole no Proterozóico Inferior e adotam uma nova subdivisão, usando Unidades em vez de Formações, sendo estas:

- ✓ Unidade I (Unidade basal) que passa a conter quartzo-clorita-sericita xistos,
- ✓ Unidade II que corresponde em tudo à antiga Formação São Joaquim,
- ✓ Unidades III e IV são equivalentes das Formações Covão e Santa Terezinha.

Cavalcante (1993) passa-o para o Proterozóico Médio a Inferior e Torquato e Pedreira (1994), mantêm a mesma coluna de 1987 e passam-no para o Proterozóico Inferior. Fetter *et. al.* (1995) através do método U/Pb obtêm a idade de 808 Ma. Santos *et. al.* (2008) definem que o Grupo Martinópole representa uma sequência supracrustal constituída da base para o topo pelas seguintes formações:

- ✓ Formação Goiabeira: repousa discordantemente sobre o Complexo Granja e é composta por granada-clorita xisto, estaurolita xisto, muscovita-cloritaxisto, biotita xisto, cianita xisto, granada-biotita xisto e paragneisses;

- ✓ Formação São Joaquim: é constituída principalmente por quartzitos com variável composição mineralógica, incluindo minerais como cianita, silimanita e muscovita com intercalações menores de calcissilicáticas, xistos e metavulcânicas félsicas;
- ✓ Formação Covão: é uma sequência que consiste de muscovita-quartzo sericitá-clorita xisto com intercalações de quartzitos;
- ✓ Formação Santa Terezinha: é constituída por metapelitos, xisto ricos em quartzo e metacarbonatos com metagrauvas, metaritimitos, quartzitos e intercalações de metariolitos.

2.1.4. Grupo Ubajara

O Grupo Ubajara foi descrito primeiramente por Small (1914) como sendo composto de folhelhos, calcários e arenitos. Posteriormente esse grupo foi chamado de Grupo Bambuí e foi subdivido em quatro unidades por Mabassone, Beurlen, Rand (1971) e Costa et al. (1973), sendo estas Formação Coreaú (composta por grauvas, arcóseos, arenitos finos e hornfels), Formação Freicheirinha (composta por calcários e hornfels), Formação Caiçaras (composta por ardósia, quartzito e hornfels) e Formação Trapiá (composta por arenito, siltito, siltito filitoso e hornfels).

Posteriormente essas unidades foram melhor definidas por outros autores e com alterações efetuadas por Cavalcante et al. (1983; 1993) que o Grupo Ubajara passou a ser representado da base para o topo pelas seguintes formações:

- ✓ Formação Trapiá: constituída por quartzitos conglomeráticos, arenitos grossos, metarenitos finos a médios com matriz síltico-argilosa;
- ✓ Formação Caiçaras: composta por ardósias vermelhas e roxo avermelhadas, metassiltitos e intercalações de metarenito, frequentemente cristalizados e cortados por veios de sílica;
- ✓ Formação Frecheirinha: compreende metacalcários, metassiltitos e metaquartzitos escuros; formada também por Hornfels, que são termometamorfitos derivados de litotipos das formações Trapiá e Coreaú (evento térmico cambriano/pós-orogênico);
- ✓ Formação Coreaú: são subarcóseos e arcóseos, grauvas e grauvas conglomeráticas.

2.1.5. Granitóides

Diversas intrusões de corpos graníticos ocorrem no **DMC**, estes corpos estão representados segundo Santos (1999) pelos batólitos graníticos de Meruoca, Mucambo, Chaval e Tucunduba. Dois desses granitos (Chaval e Tucunduba) foram afetados pela deformação Brasileira (SANTOS *et. al.*, 2008).

Os corpos grabíticos representados por Meruoca e Mucambo são usados como referências no posicionamento estratigráfico dos Grupos Ubajara e Jaibaras por apresentarem uma relação de metamorfismo de contato (SANTOS, 1999). Os granitóides não deformados Meruoca e Mucambo representam o plutonismo pós-orogênico do DMC e ambos intrudem as rochas do embasamento e o Grupo Ubajara. O granitóide Chaval representa uma intrusão sin-orogênica e intensamente cisalhada, ocorre na porção noroeste do DMC, intrudindo no Complexo Granja e no Grupo Martinópolis, especialmente na Formação Goiabeira (SANTOS *et. al.*, 2008).

2.1.6. Grupo Jaibaras

O Grupo Jaibaras foi caracterizado por Small (1914) pela presença de grábens os quais foram formados durante fases tracionais da tectônica Brasileira.

Segundo Cavalcante *et. al.* (2003), este grupo é constituído da base para o topo pelas seguintes formações:

- ✓ Formação Massapê: são ortoconglomerados brechóides, de matriz arenaroseana cinzenta, com seixos de gnaisses, granitóides, quartzitos, filitos e arenitos, em contatos transicionais com a Formação Pacujá caracterizando um ambiente fluvial;
- ✓ Formação Pacuja: é constituída por arenitos líticos e arcoseanos, micáceos e de granulometria variável, folhelhos e siltitos vermelhos, micáceos, leitos conglomeráticos; cores escura, roxo-avermelhada; estratificação plano-paralela e laminação; metamorfismo de muito baixo grau caracterizando um ambiente fluvial;
- ✓ Formação Parapuí: compreende basaltos (em parte amigdaloidais/ vesiculares e/ou espilitizados/queratofirizados), andesitos, riolitos (com fases porfíricas e ignimbríticas), gabros, diabásios e dacitos, somando-se seções marcadas por associações vulcano-vulcanoclástica e piroclástica (com bombas e lapílis);

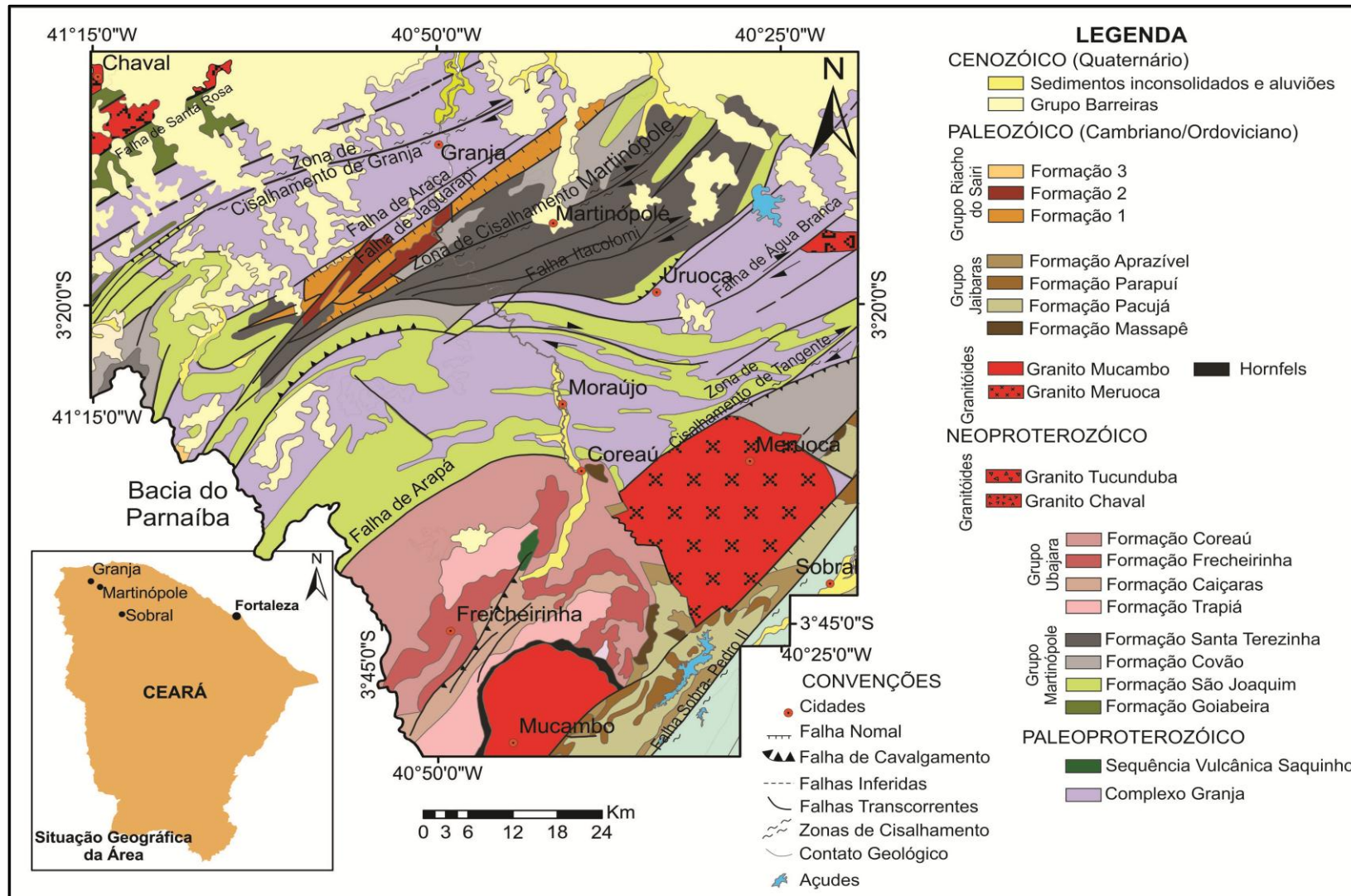
- ✓ Formação Aprazível: ortoconglomerados grossos e polimíticos, com matriz arcoseana e, normalmente, sem acamamento caracterizando um ambiente fluvial.

2.1.7. Grupo Riacho do Sairi

Segundo Cavalcante *et. al.* (2003), o Grupo Riacho Sairi é constituído da base para o topo pelas seguintes formações:

- ✓ Formação 1: conglomerados polimíticos com seixos de quartzitos, granitóides, gnaisses e filitos, de matriz areno-arcoseana cinzenta em contatos transicional-interfaciais com a Formação 2 caracterizando um ambiente fluvial com trato proximal;
- ✓ Formação 2: arenitos quartzosos, arcoseanos, líticos e micáceos, de granulometria diversificada, matriz quartzo feldspática e cimento silicoso e ferruginoso; tonalidades escura, roxo-avermelhada e, subordinadamente, cinza-esverdeada e creme; estratificação plano-paralela, marcas de ondas e laminação, caracterizando um ambiente fluvial com tratos distais.
- ✓ Formação 3: ortoconglomerados polimíticos, geralmente de matriz arenofeldspática sem acamamento marcante, caracterizando um sistema fluvial.

Figura 6 - Mapa geológico regional do Domínio Médio Coreaú, NW do Estado do Ceará.



Fonte: modificado de CAVALCANTE et al., 2003.

2.1.8. Grupo Barreiras

Originalmente essa unidade foi determinada como Formação Barreiras por Kendel (1957 apud ANTUNES 2004), ainda segundo Antunes (2004), essa unidade foi redefinida e promovida a Grupo Barreiras por de Mabeoone et al. (1972), sendo subdividida nas Formações Serra dos Martins, unidade basal representada por coberturas remanescentes no interior continental, Guararapes e Macaíba, sendo essas duas últimas presentes no litoral do Nordeste, onde cada uma delas seria separadas entre si através de discordâncias e cada uma delas apresentaria perfis de intemperismo típicos.

Antunes 2004 também cita Morais Neto (1999) que indentifica que esta unidade compreende depósitos de arenitos médio a grossos, argilosos, com intercalações de níveis conglomeráticos, argilitos e folhelhos, embora sejam raros e que comumente apresentam-se caulinizados e laterizados no topo.

3. LATERIZAÇÃO – PROCESSO E PRODUTO

A laterização é um processo de alteração de rocha que ocorre através de intensa lixiviação, para isso é necessário que as condições climáticas sejam favoráveis e a precipitação seja maior que a evapotranspiração potencial durante a maior parte do ano. Outro fator importante é a velocidade de decomposição da matéria orgânica, esta deve ser igual à de sua produção, não havendo acúmulo sobre o solo.

A ação mais característica da laterização é a remoção devido à grande velocidade de lixiviação. Com as condições climáticas propícias há uma rápida separação de sais solúveis de Ca, Mg, Na e K. A solubilidade da sílica é fortemente alterada pela presença de sais, se as soluções de alteração permanecem no meio provoca assim um aumento da solubilidade da sílica que é intensamente lixiviada proporcionando também retardamento da solubilidade de Al e Fe.

A solubilidade da sílica depende também do pH da solução. Quando o pH da água é menor que 8, o ácido silícico (H_4SiO_4) se dissocia no ânion silicato (SiO_3^{2-}), aumentando a solubilidade. Em pH maior que 8, a solubilidade também aumenta, mas a presença de ferro ou alumínio irá provocar a precipitação dos silicatos (BYRNE, 2002).

3.1. Intemperismo

Antes de tratarmos o conceito de Laterito, é importante que outro conceito seja levado em consideração e discutido neste trabalho. Trata-se do intemperismo, pois o processo que forma o laterito é um processo de alteração intempérica denominado laterização.

O intemperismo é o conjunto de modificações de ordem física (desagregação) e de ordem química (decomposição) que as rochas sofrem ao aflorar na superfície da Terra. Os produtos do intemperismo, rocha alterada e solo, estão sujeitos aos outros processos do ciclo supérgeno – erosão, transporte, sedimentação – os quais acabam levando à denudação continental, com o conseqüente aplainamento do relevo. (TEIXEIRA et al., 2003).

Diversos autores concordam que para desintegração da rocha, geralmente é necessário um período de tempo relativamente longo, esse período é variável em função de características como o tipo de rocha e condições climáticas atuantes na região. Esse é o principal motivo de ser extremamente comum que os diversos tipos de rochas se apresentem em diferentes estágios de alteração. Para Bigarella et al. (1994), além desses fatores a composição mineralógica e química da rocha, a forma e estrutura de jazimento, também são

extremamente importantes. A temperatura influi diretamente sobre o intemperismo químico. Segundo Fonseca (2005) geneticamente os lateritos obedecem aos princípios básicos aplicáveis a qualquer rocha. Seu intemperismo em condições favoráveis origina perfis de solo como qualquer outra rocha de qualquer gênese e composição.

Dentre os fatores que controlam a ação do intemperismo, podemos citar o clima, relevo, rocha parental, fauna e flora e tempo de exposição, cada um desses fatores influencia no intemperismo de maneira particular. Para Teixeira *et. al.* (2003), o clima se expressa pela variação da temperatura e distribuição das chuvas, já o relevo influi no regime de infiltração e drenagem das águas fluviais, a composição mineralógica da rocha parental assim como sua resistência aos processos de alteração intempérica. A série de Goldich representa a sequência normal de estabilidade dos principais minerais frente ao intemperismo (Figura 7). A fauna e flora atuam no fornecimento de matéria orgânica para reações químicas e remobilização de materiais, e finalmente, quanto maior o tempo de exposição da rocha aos agentes intempéricos, maior será a ação do intemperismo na mesma.

Figura 7 - Série de Goldchi: ordem de estabilidade frente ao intemperismo dos minerais mais comuns. Comparação com a série de cristalização magmática de Bowen.

ESTABILIDADE DOS MINERAIS	VELOCIDADE DE INTEMPERISMO	SÉRIE DE BOWEN
Mais estável	Menor	
Óxidos de ferro (hematita)		
Hidróxidos de alumínio (gibbsita)		Último a cristalizar
Quartzo		Quartzo
Argilominerais		
Muscovita		Muscovita
Ortoclásio		Ortoclásio
Biotita		
Albita		
Anfibólios		Anfibólio
Piroxênios		Piroxênio
Anortita		
Olivina		
Calcita		
Halita		
Menos estável	Maior	Primeiro a cristalizar

Minerais máficos (Série de cristalização descontínua): Olivina, Biotita

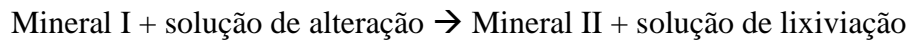
Plagioclásios (Série de cristalização contínua): Albita, Anortita

Fonte: Modificado de Teixeira *et. al.* (2003).

Em relação aos mecanismos atuantes nas rochas é levado em consideração três tipos de intemperismo: o químico, físico e biológico. Segundo Casseti (2005) o intemperismo

químico representa a quebra da estrutura química dos minerais originais que compõem as rochas. O intemperismo físico é responsável pela desintegração da rocha, envolve processos que conduzem à desagregação, sem que haja necessariamente alteração química maior dos minerais constituintes. O intemperismo biológico refere-se a ações comandadas por espécies animais e vegetais, que se manifestam de forma mecânica e química sobre a rocha, tendo participação expressiva no processo de pedogenização.

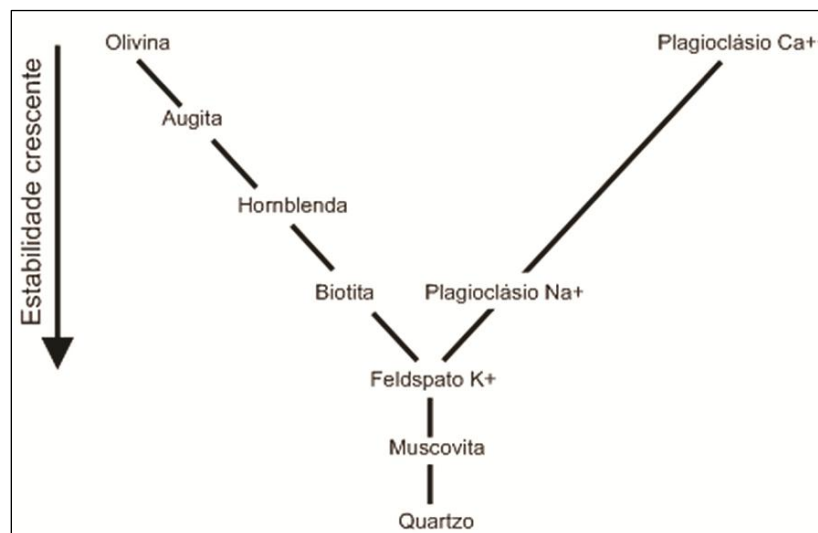
Neste trabalho é levado em consideração as reações do intemperismo químico, que segundo Teixeira et al. (2003) essas reações podem ser representadas basicamente pela seguinte equação genética:



Ainda segundo os autores estas reações estão sujeitas ao equilíbrio químico e as oscilações das condições ambientais e climáticas.

Com relação à composição mineral, Goldich (1938 apud CASSETI 2005) relata a resistência das rochas aluminossilicatadas à hidrólise, indo da olivina, através do piroxênio, anfibólio, biotita, feldspato alcalino, ao quartzo (Figura 8).

Figura 8 - Sequencia de alteração mineral Goldich (1938).



Fonte: Goldich (1938, apud Casseti 2005).

Para Demattê (1974 apud CASSETI 2005), as rochas são intemperizadas quimicamente por uma grande diversidade de reações. Considerando os ambientes de superfície as principais reações do intemperismo químico são hidrólise, oxidação, hidratação, carbonatação e dissolução, na maior parte desses ambientes as águas percolantes tem pH entre

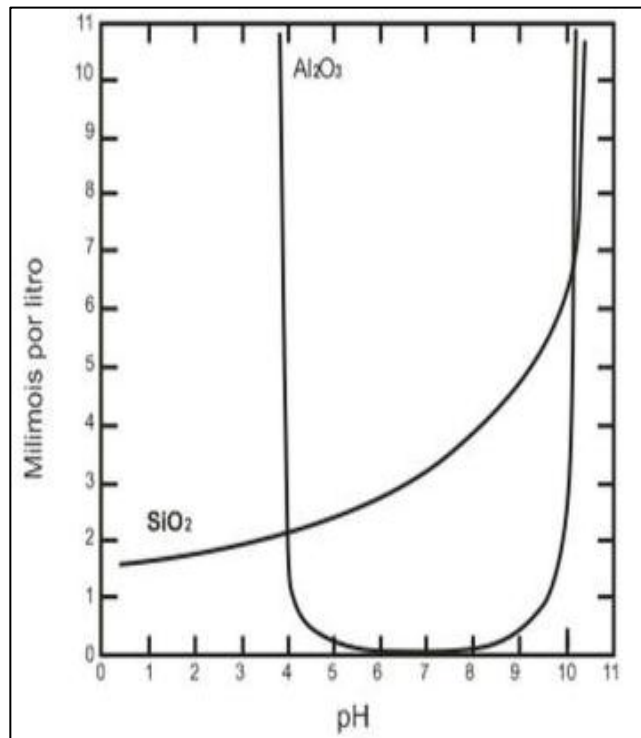
5 e 9, em casos em exceção onde o pH das águas é inferior a 5, ao invés de hidrólise a reação que predomina é a acidólise. A hidrólise é considerada o principal mecanismo de decomposição dos silicatos. Apresentam-se a seguir algumas características de cada uma dessas modalidades.

3.1.1. Hidrólise

É uma reação química entre os íons H^+ e OH^- da água e os íons do mineral. Segundo Teixeira et al. (2003) o íon H^+ resultado da ionização da água, entra nas estruturas dos minerais, deslocando principalmente os cátions alcalinos (K^+ e Na^+) e alcalino-terrosos (Ca^{2+} e Mg^{2+}) que são liberados para a solução. Ainda segundo os autores a estrutura do mineral na interface sólido/solução de alteração acaba sendo rompida, liberando Si e Al na fase líquida.

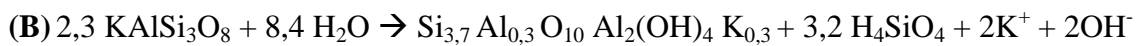
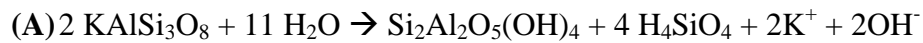
Através da representação de Mason (1966 apud CASSETI 2005), observa-se que enquanto a sílica (SiO_2) é altamente solúvel num meio básico, portanto pouco solúvel no meio ácido, a alumina (Al_2O_3) é solúvel nos extremos, tanto no meio ácido quanto no básico, apresentando baixa solubilidade em condição neutra (Figura 9).

Figura 9 - Solubilidade da sílica e da alumina em função do pH. A solubilidade da sílica aumenta em meios mais alcalinos e o alumínio é solúvel em meios muito ácidos ou muito alcalinos (Masson 1966).



Fonte: Masson (1966 apud Casseti 2005).

Na hidrólise parcial, em função das condições de drenagem menos eficientes, parte da sílica permanece no perfil, o potássio pode ser total ou parcialmente eliminado. Esses elementos reagem com o alumínio formando os aluminossilicatos hidratados (argilominerais). Segundo Teixeira et al. (2003) em função do grau de eliminação do potássio duas situações podem ocorrer, uma delas é quando 100% do potássio é eliminado em solução forma-se a caulinita, com eliminação de 66% da sílica e permanência de todo alumínio, representada na equação (A). A equação (B) representa outra situação, quando parte do potássio não é eliminado em solução forma-se outro tipo de argilomineral, a esmectita, com eliminação de 87% do potássio, 46% da sílica e permanência de todo alumínio.



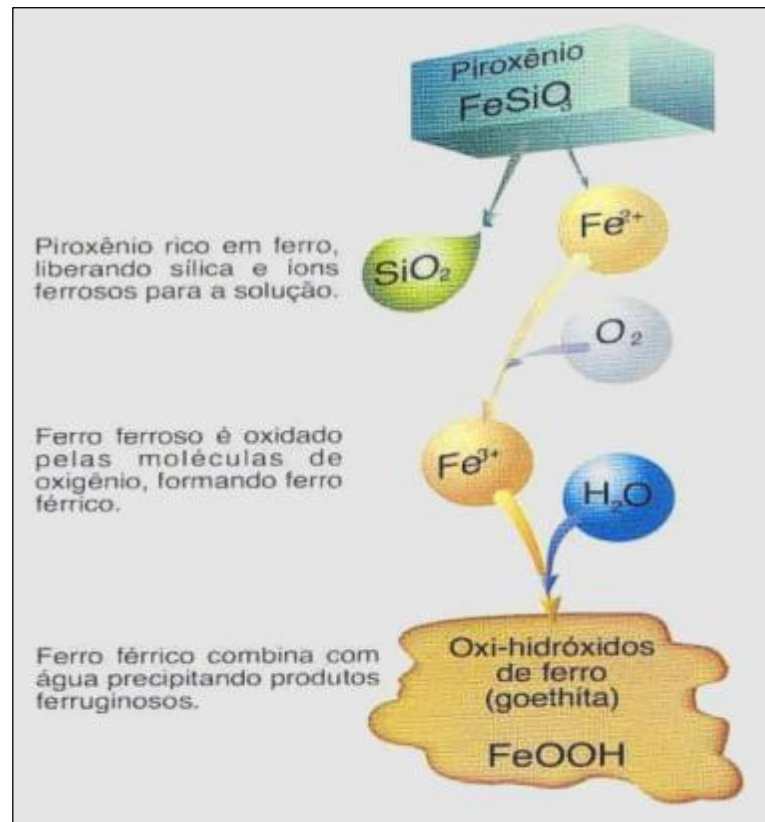
Ainda segundo os autores no caso de hidrólise total, além do alumínio, o ferro também permanece no perfil, já que esses dois elementos tem comportamento geoquímico muito semelhante no domínio hidrolítico.

3.1.2. Oxidação

Consiste na mudança do estado de oxidação de um elemento, normalmente através da reação com o oxigênio, destruindo a estrutura cristalina do mineral de rochas que contém ferro ferroso (Fe^{2+}). Segundo Teixeira et al. (2003), a figura 10 demonstra esse procedimento, quando o ferro presente nos minerais ferro-magnesianos primários como biotita, anfibólios, piroxênios e olivinas sob a forma de Fe^{2+} é liberado em solução, oxida-se a Fe^{3+} e precipita como um novo mineral, a goethita, que é um óxido de ferro hidratado.

A oxidação se processa principalmente nos primeiros metros da superfície, sendo efetiva principalmente na faixa acima da zona de saturação permanente. A reação contrária, em que o oxigênio é liberado de seus compostos, é denominada de redução. Reações de redução são comuns e importantes nas zonas de intemperismo, sendo a mais expressiva a fotossíntese, pela qual as plantas subdividem o CO_2 atmosférico e utilizam o carbono.

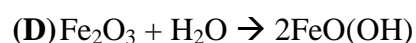
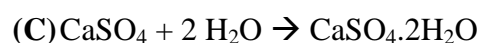
Figura 10 - A alteração intempérica de um mineral com Fe^{2+} resulta, por oxidação do Fe^{2+} para Fe^{3+} , na formação de um óxido hidratado, a goethita.



Fonte: (Teixeira *et. al.*, 2003).

3.1.3. Hidratação

A hidratação dos minerais ocorre pela atração entre os dipolos das moléculas de água e as cargas elétricas não neutralizadas das superfícies dos grãos. Na hidratação moléculas de água entram na estrutura mineral, modificando-a e formando um novo mineral (TEIXEIRA *et al.*, 2003). Trata-se, portanto, da adição de água em minerais para formar hidratos. As equações abaixo são exemplos de reações de hidratação onde em (C) tem-se a formação de anidrita em gipso e em (D) a hematita reage com a água na formação da goethita.



3.1.4. Carbonatação

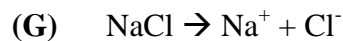
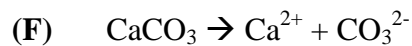
Segundo Casseti (2005) o gás carbônico dissolvido na água dá origem a uma solução ácida, que em reação com os minerais carbonatados, dá origem ao processo denominado carbonatação. Utiliza-se como exemplo a formação do bicarbonato de cálcio, que é bastante solúvel em água, a partir da calcita, como demonstrado na reação (E).



3.1.5. Dissolução

Consiste da solubilização direta de alguns minerais por ácidos. Como exemplo, nos depósitos salinos (halita) e camadas de gipso, a alteração é relativamente intensa; enquanto nas rochas carbonatadas, como o calcário e o dolomito a ionização é mais lenta; ao contrário, na sílica como o quartzo, que não apresenta ionização considerável na escala de pH das soluções naturais.

A calcita e halita entram em solução conforme as equações (F) e (G) respectivamente. A dissolução intensa das rochas pode levar a formação de terrenos cársticos.



3.2. Laterito

O termo Laterito, assim como o seu processo de formação vem ganhando cada vez mais atenção e aplicação nas últimas décadas à medida que aumenta o entendimento sobre o mesmo e as possibilidades de sua aplicação no campo da ciência.

Segundo Costa (2007), Buchanan foi o primeiro a relatar e inserir esse termo no meio científico, em 1807, para caracterizar materiais encontrados por ele na região de Malabar, Estado de Kerala, no sudoeste da Índia. Segundo Buchanan (1807, apud COSTA 2007) que primeiramente observou o material como uma argila endurecida, notou que o mesmo continha uma grande quantidade de ferro na forma de óxidos vermelho e amarelo e era muito valioso para construção por ser um material que adquiria alta resistência aos processos de alteração, sendo utilizado para formar tijolo.

Desde então o estudo desse material foi se tornando cada vez mais frequente, impulsionando inúmeros pesquisadores de diversas áreas desenvolverem pesquisas ligadas, direta ou indiretamente, a este material, abordando diversos pontos de vista e utilização do mesmo. Nogueira Junior (1985) cita que estudos relacionados à laterização estão sendo focalizados pelo ponto de vista geológico, mineralógico, geoquímico, pedológico, geotécnico e econômico. Com isso o entendimento vem se tornando cada vez mais amplo, até o presente momento já é possível definir algumas diretrizes para o estudo de lateritos. Vale ressaltar que Nogueira Junior (1985) também leva em consideração a complexidade do assunto em questão devido a diversos problemas encontrados, desafiando assim aqueles que estudam esse campo da ciência. Diversos estudos já desenvolvidos no mundo levam a verificação de um perfil característico para cada situação, não sendo possível instituir um perfil ou comportamento padrão que possa ser adotado em todos os casos.

Atualmente a definição mais aceita é de Schellmann (1981), onde o mesmo 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 (op. cit.) defende que esse conceito fundamenta-se 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 poucos móveis e concentração absoluta desses constituintes móveis nos níveis do perfil do solo onde os mesmos são acumulados.

Para que fosse possível obter uma definição convincente Schellmann (1981) comparou características semelhantes dos principais estudos realizados com lateritos do mundo mundo, inclusive o seu, chegando dessa maneira a um conceito em comum acordo a esses diversos estudos realizados até então. Essas características são as seguintes:

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

No presente trabalho os lateritos serão analisados como produtos geológicos decorrentes dos processos de lateritização, ou seja, como rochas, formadas pelo intemperismo a partir de qualquer tipo de rocha exposta superfície dos terrenos e/ou próximo à superfície, denominados coletivamente de lateritas ou formações lateríticas.

3.3. Sistemas de Classificação

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

Os índices químicos são relativamente precisos para obtenção do grau de alteração química. Esse sistema de classificação é básico e fundamentado através dos teores químicos, não são considerados fatores genéticos e pedológicos. Neste trabalho, devido à falta de um perfil de solo apropriado, onde é possível estudar as integrações e características de cada horizonte, os índices químicos dos materiais serão utilizados para auxiliar na classificação das lateritas.

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 químicos através de equações estabelecidas por Harrassowitz (1926 apud OLIVEIRA 2006) que propôs os índices K_i e K_r , classificando os solos através da quantidade de sílica relativa. Onde K_i é calculado pela relação (SiO_2/Al_2O_3) e K_r pela relação entre $(SiO_2/(Al_2O_3 + Fe_2O_3))$.

Complementando as relações de Harrassowitz, Martin e Doyne (1927 apud NOGUEIRA JUNIOR 1985) propõem uma classificação para materiais lateríticos baseada no índice de K_i , considerando os seguintes limites:

$K_i < 1,33 =$ laterita verdadeira

K_i entre 1,33 – 2,00 = solo laterítico

$K_i > 2,00 =$ solo não laterítico

Esses mesmos limites utilizados por Martoin e Doyne para o K_i são usados em ou outro estudo por Medina (apud PERSONS 1964) para a relação molecular de K_r , sendo assim mais confiável por apresentar os três elementos químicos de extrema importância em relação à laterização, obtendo assim:

$Kr < 1,33 =$ laterita verdadeira

Kr entre 1,33 – 2,00 = solo laterítico

$Kr > 2,00 =$ solo não laterítico

Neste trabalho as relações moleculares de Ki e Kr , foram determinadas por meio da análise química total das amostras da rocha e concreções, com a finalidade de mostrar a sequência de atuação dos processos intempéricos, sendo assim a classificação de solo laterítico e solo não laterítico não é apropriada sendo assim substituída por “material laterítico” e “material não laterítico”.

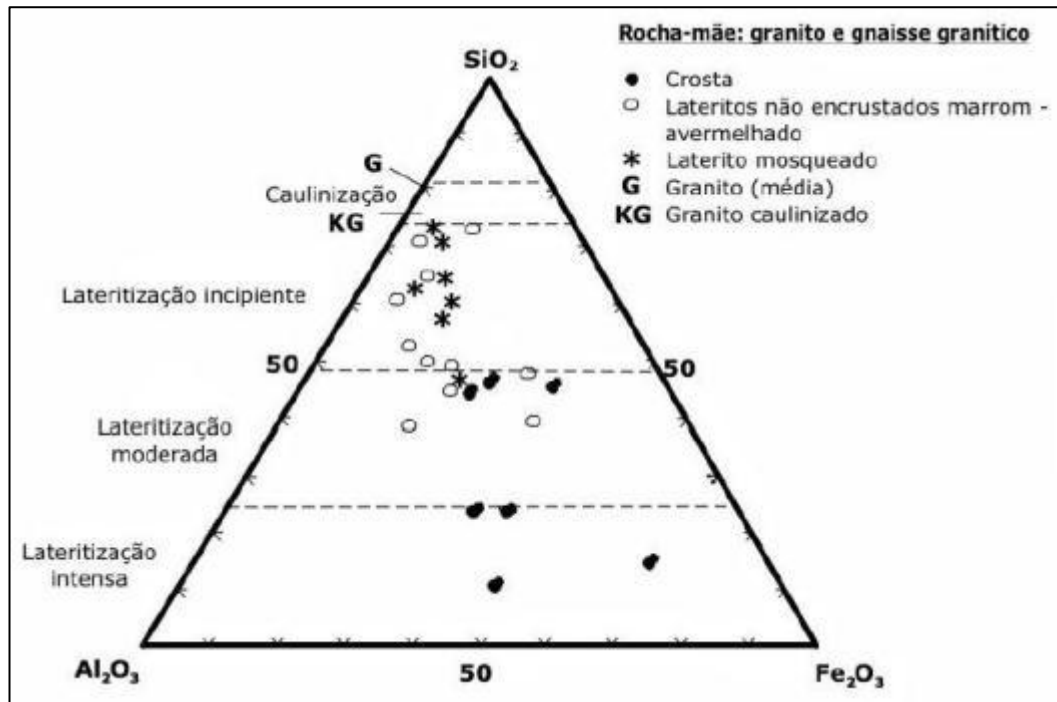
Nesse trabalho também será levado em consideração o sistema definido por Sinha Roy (1967) e Karunakaran – Sinha Roy (1971 apud NOGUEIRA JUNIOR 1985) onde os autores fazem uma classificação em lateritas ferruginosas e aluminosas utilizando-se das comparações entre os teores de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 , portanto a classificação seria do seguinte modo:

$$\frac{Fe_2O_3}{Al_2O_3} > 1 \text{ e } \frac{SiO_2}{Fe_2O_3} < 1,33 = \text{Lateritas Ferruginosas}$$

$$\frac{Fe_2O_3}{Al_2O_3} < 1 \text{ e } \frac{SiO_2}{Fe_2O_3} > 1,33 = \text{Lateritas Aluminosas}$$

Outra classificação que será observada neste trabalho é de Schellmann (1983 apud COSTA 2007) que também identificou distintos graus de lateritização com base num diagrama ternário $SiO_2 - Al_2O_3 - Fe_2O_3$ (Figura 11), classificando assim o decorrer do processo de lateritização em caulinizacão, lateritização incipiente, lateritização moderada e lateritização intensa. O diagrama representa a continua perda de SiO_2 e o relativo ganho de Al_2O_3 e Fe_2O_3 .

Figura 11 - Diagrama ternário $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3$ mostrando a classificação dos lateritos derivados de granitos e gnaisses graníticos, segundo Schellmann (1983).



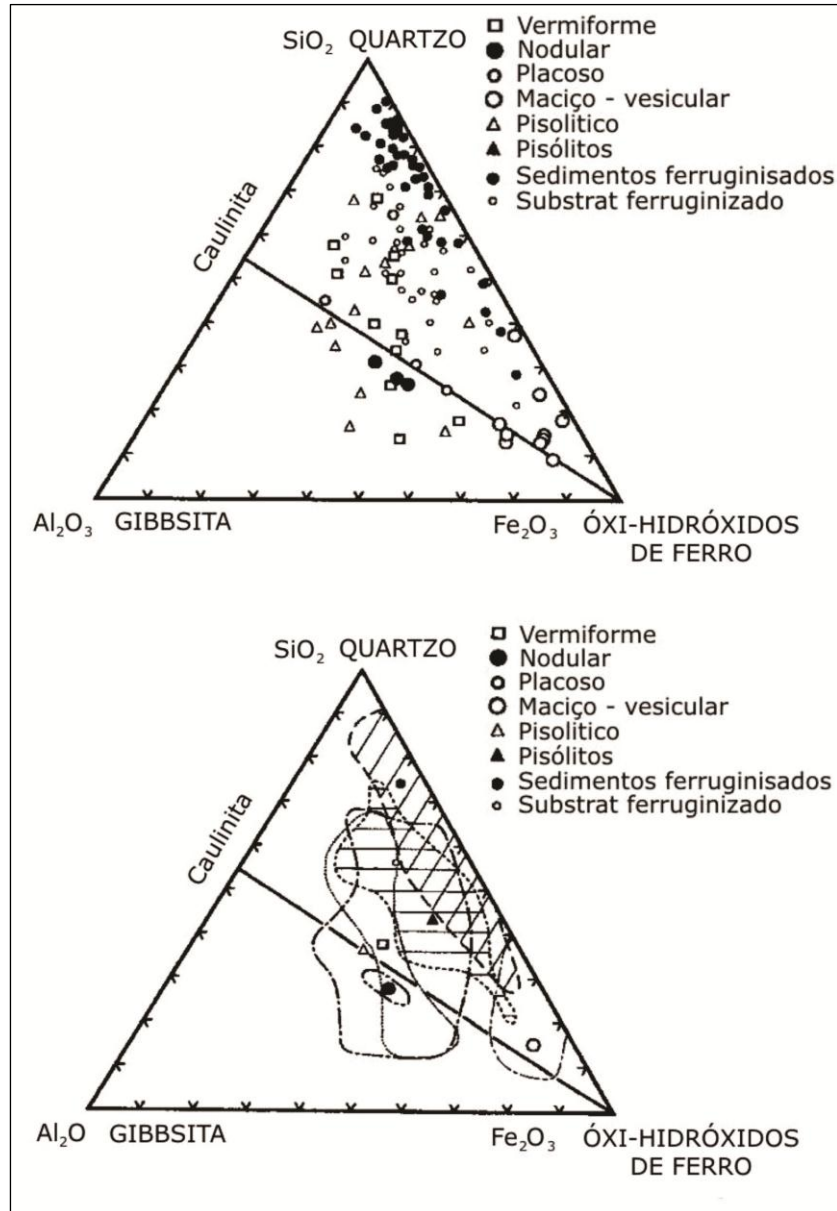
Fonte: Costa (2007).

Costa (2007) observa também os autores Bourman e Ollier que em 2002 apresentaram um estudo discordando da definição de Schellmann (1983), mostrando que a base química não representa a amplitude química dos lateritos, constituindo uma simplificação muito grande e além de exigir análises químicas, que não estão disponíveis no campo.

Bourman e Ollier (2002 apud COSTA 2007) apresentam diagramas (Figura 12) aperfeiçoados em cima do diagrama ternário de Schellmann, onde no mesmo o quartzo, gibbsita e óxidos e hidróxidos de ferro, representam respectivamente $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3$.

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.

Figura 12 - Diagramas modificados de Bourman e Ollier (2002), onde $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3$ representam respectivamente quartzo, gibbsita e hematita + goethita + maghemita, e ressaltam os diferentes materiais encontrados na zona ferruginosa dos perfis lateríticos, no entanto, com domínio maior de SiO_2 e Fe_2O_3 , convergindo assim para as zonas da caulinitização e da lateritização incipiente e moderada de Schellmann (1983).



Fonte: Bourman e Ollier (2002 apud Costa 2007).

3.4. Tipos de estruturas e aspectos mineralógicos

Outros dois aspectos importantes no estudo de lateritos está relacionado às estruturas apresentadas nas rochas no decorrer do processo de intemperismo e a mineralogia da mesma.

De acordo com Nahon (1976 apud NOGUEIRA JÚNIOR 1985) é possível organizar em quatro categorias essas estruturas existentes em rochas lateríticas.

- A. Estruturas herdadas: correspondem estruturas existentes na rocha mãe, preservando assim a proveniência do material.
- B. Estruturas de acumulação: após a epigênese dos minerais, no processo de laterização, essas estruturas aparecem nos “vazios” e são representadas primeiramente por “nódulos”, passando a estruturas maciças.
- C. Estruturas de reorganização: são produzidas pelas soluções que apresentam circulação constante no perfil, reorganizando estruturas de acumulação. Ocorre reorientação, a partir da recristalização da matéria que entrou em solução, formando-se “foliações”, “fitas”, “montes”, etc.
- D. Estruturas de lixiviação: correspondem a “canais”, “tubos” e “vazios” oriundos da dissolução da matéria.

As estruturas de lixiviação podem sofrer acumulação e reorganização e serem novamente lixiviadas.

Segundo Costa (2007) quando se faz referência à mineralogia das formações lateríticas os minerais que mais se destacam são a hematita e goethita, que na literatura antiga muitas vezes são referidos como limonita. Segundo Delvigne (1986) a limonita é uma constituição de agregados minerais micro ou cripto-cristalinos de óxidos e hidróxidos de ferro com um certo número de moléculas de água adicionais. No entanto a composição mineralógica destas formações é muito rica e característica, destacam-se os minerais óxi-hidróxidos de ferro (hematita, maghemita e goethita) e de alumínio (gibbsita, boehmita) e de argila (caulinita, halloysita).

4. MÉTODOS E AMOSTRAGEM

4.1. Procedimento Experimental

O procedimento experimental seguiu etapas individuais que ao mesmo tempo foram complementares para o desenvolvimento da pesquisa. As etapas que se sucederam à medida que o trabalho foi sendo desenvolvido são enumeradas logo a seguir:

4.1.1. Etapa Inicial

Consistiu primeiramente do levantamento bibliográfico, que se caracterizou como uma fase contínua, onde abrangeram consultas à bibliografia relacionada ao tema, assim como métodos e técnicas utilizadas para se realizar um estudo geoquímico em lateritos. Também foram analisados diversos artigos sobre a contextualização do Domínio Médio Coreaú enfatizando as unidades onde o processo de laterização está associado, o Complexo Granja, Grupo Martinópole e Grupo Barreiras.

4.1.2. Etapa de campo – Amostragem

Nesta etapa, foi efetuado o reconhecimento geológico da área visando caracterizar as ocorrências lateríticas da região e suas associações com as diversas litologias. Para isso foi usado, como base geológica, o mapeamento da Folha Granja realizado em convênio com a Universidade Federal do Ceará (UFC) e Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM – Serviço Geológico do Brasil).

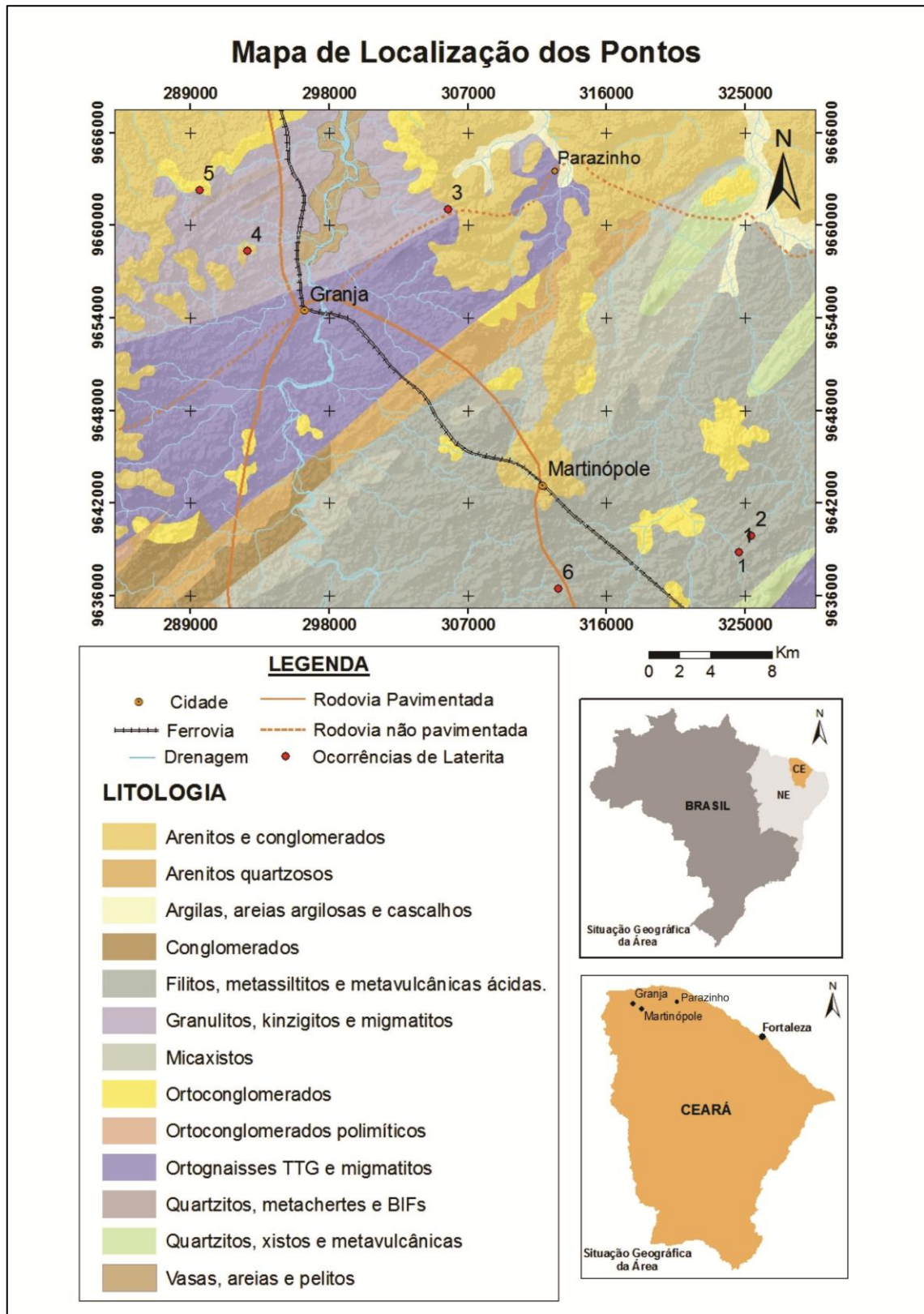
Também nessa etapa, foi efetuada a coleta das amostras para o estudo, que constou em uma amostragem pontual em diferentes graus de alteração da rocha. A localização dos pontos estudados apresenta-se na figura 13, foram 6 pontos associados às diferentes litologias, totalizando assim 17 amostras, que estão representadas na tabela 1, indicando qual a denominação dada a cada amostra que foi retirada de cada ponto e a situação em que a mesma se encontrava no momento da coleta.

Seguindo dessa maneira a partir da rocha fresca ou pouco alterada, após a rocha em expressivo processo de alteração e em alguns pontos foi possível a amostragem da concreção ferruginosa, quando isso não foi possível amostrou-se a rocha em processo avançado de alteração.

Tabela 1 – Tabela identificando a 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	Gnaisse	3A	Roche 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

Figura 13 – Mapa de localização dos pontos de amostragem, com a fusão entre a geologia (modificado CPRM) e do modelo digital de terreno (MDT).



Fonte: modificado de CAVALCANTE, 2003.

4.1.3. Etapa de Laboratório

4.1.3.1. Análise Química.

Essa etapa constou da análise dos elementos maiores, traços e em um dos pontos, também foram feitas análises para geoquímica total, incluindo os elementos terras raras (ETR). Em algumas amostras também foi utilizado o método de difração de raios X (DR-X), a tabela 2 mostra o que foi feito em cada amostra.

Tabela 2 – Tabela identificando que tipo de análise química foi feito nas amostras.

Ponto	Amostra	Elementos Maiores	Geoquímica Total	DR-X
1	1A	X		
	1B	X		X
	1C	X		
2	2A	X		
	2B	X		
	2C	X		X
	2D	X		
3	3A	X		
	3B	X		
	3C	X	X	
	3D	X	X	X
	3E	X	X	
4	4A	X		
5	5A	X		
	5B	X		
6	6A	X		
	6B	X		

A primeira fase dessa etapa foi direcionada para preparação de amostras, seguindo os parâmetros que proporcionam estudos geoquímicos, foi realizada no Laboratório de Preparação de Amostras do Departamento de Geologia da UFC.

Primeiramente as rochas foram trituradas através de um moinho de mandíbula, após a redução da granulometria, utilizou-se um micronizador para pulverização das amostras que depois de pulverizadas foram enviadas para 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. As análises químicas foram feitas utilizando os métodos fluorescência de raios X, absorção atômica, via úmida, e ICP – PLASMA para os elementos terras raras.

Posteriormente, os dados geoquímicos obtidos foram tratados utilizando o NewPet que é um programa desenvolvido para o estudo geoquímico de rochas, associando informações em diversos diagramas dos mais conceituados autores. Este programa foi criado em 1987 por Daryl Clarke (Memorial University of New Foundland / Canadá – Department of Earth Science – Centre for Earth Resources Research). Outro software para apoio na geração de gráficos foi o Excel – Microsoft.

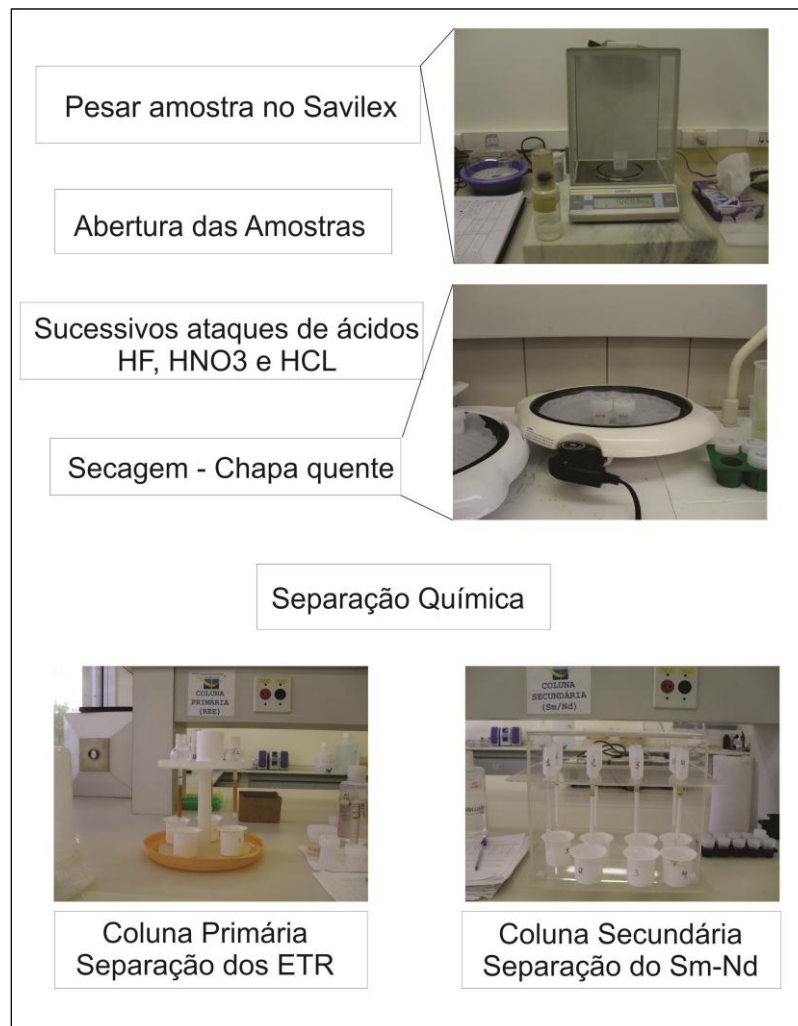
Os valores das amostras da geoquímica total ainda foram comparados com os valores de amostras da rocha fonte isenta de qualquer processo de alteração da mesma área, as amostras foram cedidas de um estudo realizado em conjunto com a Universidade Federal do Ceará e o Serviço Geológico do Brasil (CPRM), para que pudesse ser feita uma análise mais apurada da variação dos elementos no decorrer do intemperismo do ponto 3, único ponto em que foi feita a análise da geoquímica total em 3 amostras.

4.1.3.2. Análise Isotópica – O método Sm-Nd

Essa fase foi realizada no Laboratório de Geocronologia da Universidade de Brasília (UnB), sendo dividida em quatro fases: pesagem (1), abertura (2), separação química (3) e espectrometria de massa (4).

Na pesagem (1) de cada amostra, foi definido o peso de um recipiente plástico de teflon (Savilex), depois cerca de 50 micrograma de amostra pulverizada é pesada e misturada a uma solução traçadora (spike). Após a fase 1, iniciou-se o processo de abertura (2) das amostras, onde a mesma é dissolvida por meio de sucessivos ataques de ácidos em HF, HNO₃ e HCl e entre a adição desses ácidos a amostra passa por processos de secagem em uma chapa quente. A fase 3 de separação química, onde os conteúdos de Sm e Nd são extraídos através de colunas de trocas catiônicas, foi divididas em duas partes, primeiramente a separação dos elementos ETR (calibração da coluna primária) e após a separação do Sm e Nd (calibração da coluna secundária). Os procedimentos de 1 a 3 estão representados na figura 14. Os sais de Sm e Nd são depositados em filamentos de rênio (Re) com ácido nítrico destilado e evaporados. As leituras das razões foram realizadas no espectrômetro de massas Finnigan MAT.

Figura 14 - Fases do método Sm-Nd, pesagem, abertura e separação química.



Fonte: Própria

4.1.3.3. Análise Petrográfica

Essa etapa foi voltada a preparação de amostras, seguindo parâmetros que proporcionaram estudos petrográficos. Assim, por meio de serras diamantadas e politrizes especiais, foram confeccionadas 15 seções delgadas. Os estudos petrográficos rotineiros (microscopia ótica), que foram efetuados no Laboratório de Microscopia e Petrografia do Departamento de Geologia da UFC.

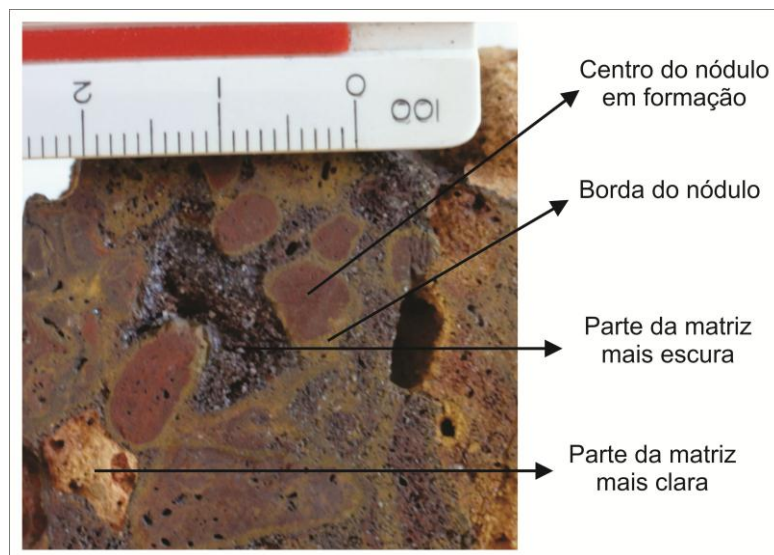
4.1.3.4. Difractometria de Raios X

A difratometria de raios X (DR-X) é um método comumente utilizado na identificação dos minerais presentes em solos e rochas. Segundo Oliveira (2006) o princípio

desta técnica consiste em se registrar os ângulos associados à reflexão de um feixe de elétrons incidente em uma amostra. Cada mineral gera um conjunto característico de reflexões segundo ângulos θ , que podem ser convertidos nos espaços interplanares formados por seus planos cristalinos.

As amostras para DR-X foram preparadas através do método pó, utilizando um almofariz e uma broca para que fossem retiradas fases específicas da amostra, como é mostrado na figura 15, cada amostra (em pó) foi colocada em um suporte adequado para o aparelho de DR-X.

Figura 15 - Fases da amostra para DR-X, sendo evidenciado o centro e a borda do nódulo em formação e as partes mais clara e mais escura da matriz da rocha.



Fonte: Própria.

A difração de raios X foi utilizada como uma ferramenta auxiliar para a comprovação da existência dos possíveis minerais já indicados nas análises químicas, assim como na separação das fases de laterização. Foi realizada nas amostras que apresentavam alto grau de intemperismo.

4.1.3.5. Etapa Final

Concluídas as análises petrográfica e geoquímica, juntamente com a integração dos resultados obtidos e com os dados disponíveis na literatura, foi possível nessa fase a interpretação desses dados adquiridos.

5. ASPECTOS GEOLÓGICOS, MINERALÓGICOS E TEXTURAIS

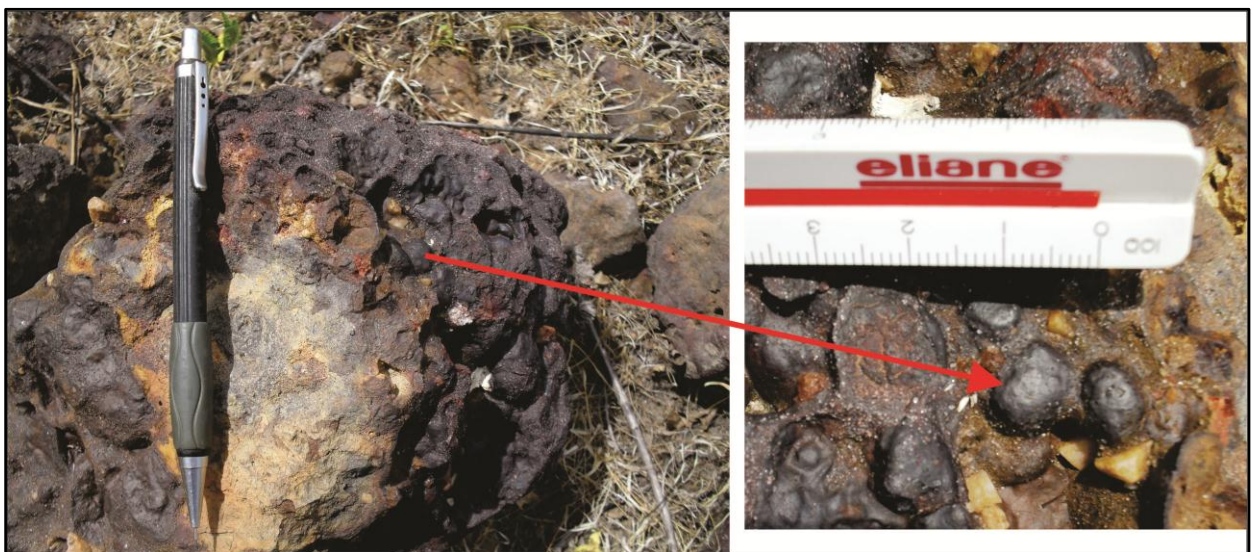
Nesta seção estão apresentadas características correspondentes aos aspectos geológicos, mineralógicos e análise da presença de texturas comuns encontradas nas rochas em processos de laterização.

5.1. Complexo Granja

Constitui o embasamento cristalino do **DMC**, representado por gnaisses de diferentes composições, migmatitos e granulitos. São rochas de granulação média a fina, apresentando também, bandamento gnáissico, alternando minerais de feldspato potássico e minerais máficos, com espessuras que variadas. Com relação à composição mineralógica são compostos predominantemente por quartzo, biotita e plagioclásio, podendo também ser observado feldspato e piroxênio.

Na pesquisa é representado pelo ponto três, nesse ponto, assim como em outros locais da região, essas rochas encontram-se em processo de intemperismo avançado. A presença de texturas típicas de materiais laterizados, como estruturas de acumulação (Figura 16 e Figura 20) e lixiviação (Figura 19) caracterizam o intemperismo atuante na região. Os materiais característicos de laterização encontram-se em forma de blocos soltos muito alterados (Figura 17 e Figura 18).

Figura 16 - Processo de desagregação da rocha. Presença de estruturas de acumulação e de nódulos de alteração, observados em detalhe.



Fonte: Própria.

A figura 16 mostra o processo de desagregação da rocha, além do intemperismo evidente é possível observar a evolução para a formação de concreções ou nódulos peculiares. Com a evolução do processo intempérico essas concreções tendem a ser separadas da rocha, levando assim a formação de uma crosta laterítica (Figura 17 e Figura 18).

Como se conhece durante o processo de intemperismo os minerais remobilizados na rocha, tendem a ser lixiviados ou agregar-se em uma nova disposição, na figura 19 e figura 20 as amostras representam o granulito em um estágio de intemperismo médio, é possível observar com a mudança das características originais da rocha o início da formação de nódulos, a formação de diferentes fases e a presença de zoneamento.

Figura 17 - Blocos soltos em avançado estágio de intemperismo.



Fonte: Própria

Figura 18 - Evolução do processo de intemperismo, concreções separadas da rocha levando a formação de uma crosta laterítica.



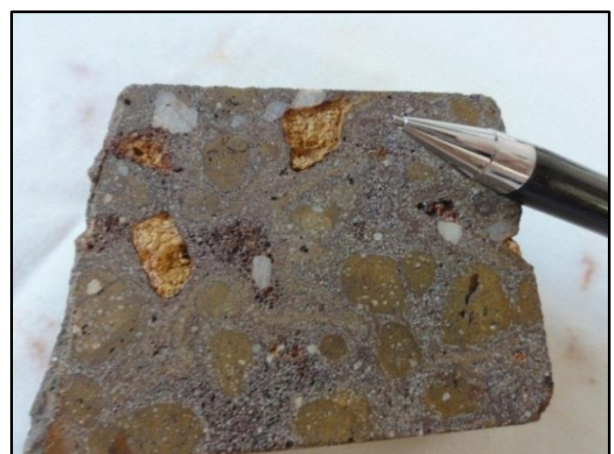
Fonte: Própria

Figura 19 - Estruturas de lixiviação, possível observar “vazios” gerados pela remoção do material.



Fonte: Própria

Figura 20 - Estruturas de acumulação, início da formação de nódulos, possível observar o zoneamento nas bordas dos nódulos.

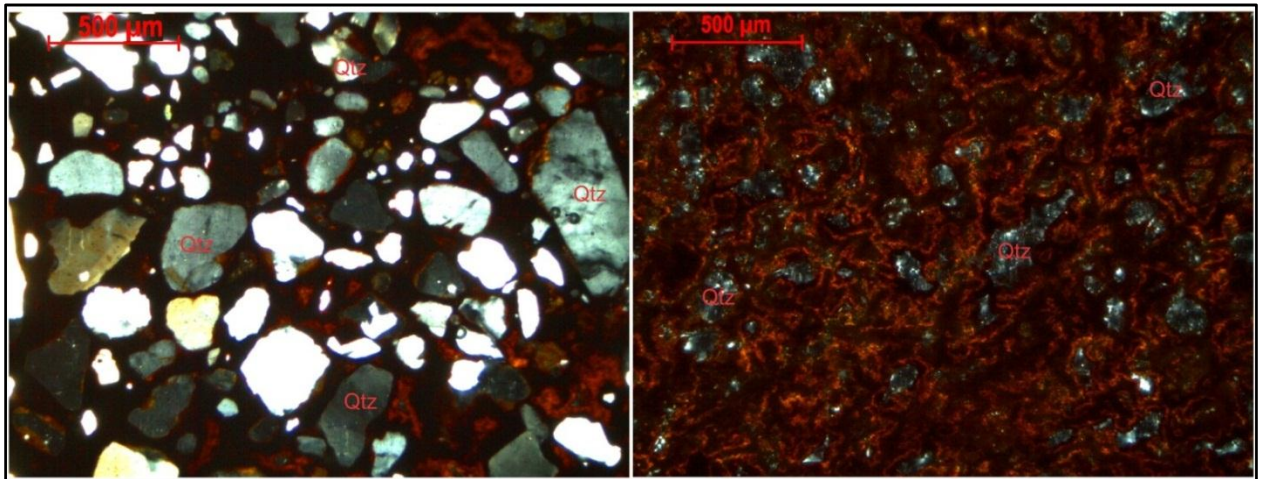


Fonte: Própria

Os aspectos microscópicos, ou seja, analisados em lâminas delgadas as rochas intemperizadas apresentam basicamente quartzo, plagioclásio, silimanita, biotita e opacos. Como se conhece durante o processo de intemperismo os minerais são remobilizados na rocha e tendem a ser lixiviados, desestruturando a rocha, tornando assim mais difícil identificação dos minerais em seção delgada.

Os cristais de quartzo em geral são deformados, fraturados e marcados por extinção ondulante. É possível perceber em lâmina os minerais de quartzo sendo envolvidos por óxidos e hidróxidos de ferro, disseminado na rocha no decorrer do processo de alteração, sendo evidente o preenchimento de óxidos se agregando aos cristais de quartzo (Figura 21).

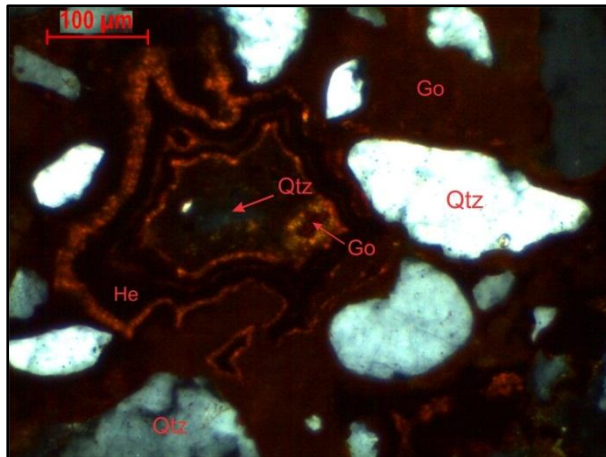
Figura 21 - Diferentes estágios de alteração da rocha, apresentando o preenchimento de óxidos se agregando aos cristais de quartzo. Observação em Luz Ortoscópica - LO/Objetiva de 5x. Abreviatura: Qtz – quartzo.



Fonte: Própria.

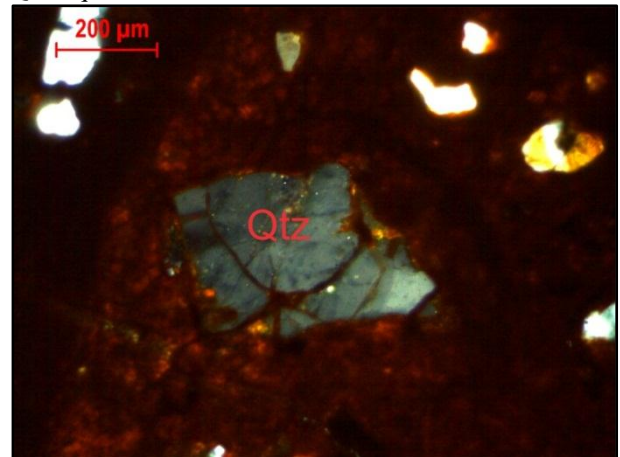
No decorrer do processo de desagregação os óxidos e hidróxidos formam uma estruturação distribuída através das bordas dos cristais de quartzo, contornando e envolvendo os mesmos até que futuramente pode-se evoluir para a formação de uma estrutura botroidal apresentada em alguns pontos (Figura 22). Essa agregação também ocorre através de micro fraturas nos cristais, formando assim, uma estrutura intergranular (Figura 23).

Figura 22 - Estruturação distribuída através das bordas dos cristais de quartzo. Observação em Luz Ortoscópica - LO/Objetiva de 20x. Abreviaturas: Qtz – quartzo; Go – Goethita; He - Hematita.



Fonte: Própria.

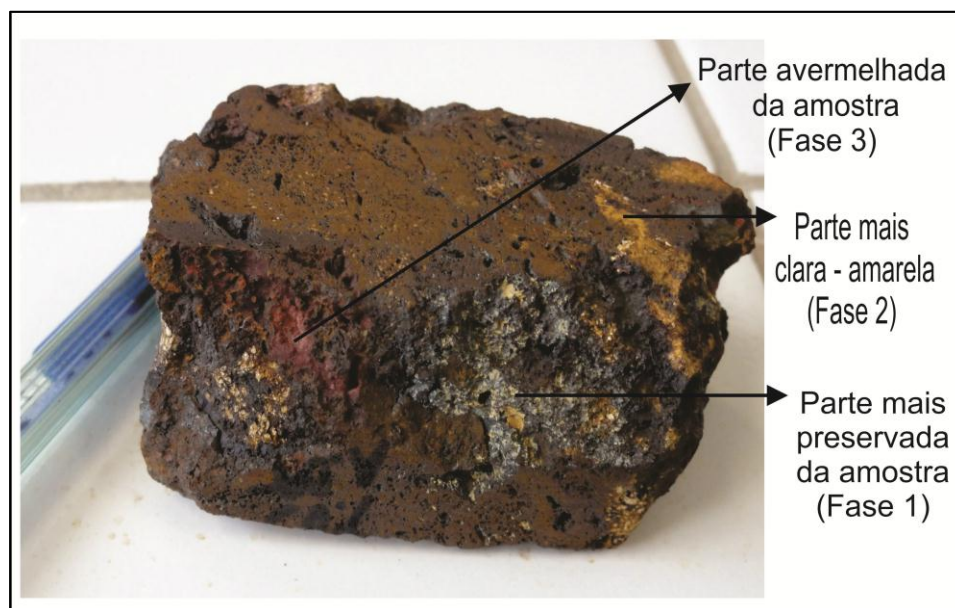
Figura 23 - Preenchimento de óxidos se agregando aos cristais de quartzo através das fraturas. Observação em Luz Ortoscópica - LO/Objetiva de 10x. Abreviaturas: Qtz – quartzo.



Fonte: Própria.

Além das lamínas delgadas também foi usado para reconhecimento dos minerais o método de análise por difração de raios X, realizado em diferentes fases específicas de uma amostra em cada ponto. Neste caso, a amostra utilizada estava em processo avançado de intemperismo, representada na tabela 2 do capítulo anterior como amostra 3D, sendo possível observar através da figura 24, uma fase mais preservada, mas apresentando sinais de alteração, outra mais clara (amarelada) e ainda uma fase avermelhada, complementando assim 3 fases a serem analisadas da mesma amostra.

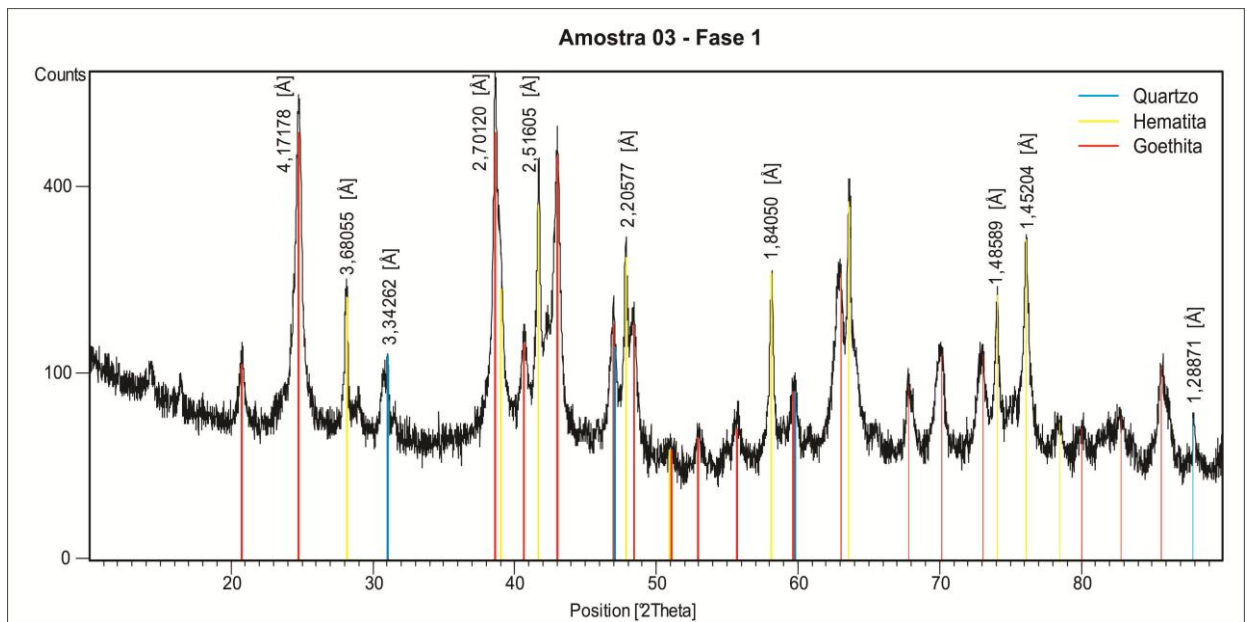
Figura 24 - Amostra do Complexo Granja fortemente alterada, utilizada para análise de difração de raios X. A figura mostra as diferentes fases analisadas.



Fonte: Própria.

Os óxidos e hidróxidos de ferro estão presentes nas três fases da amostra 3D na forma de hematita e goethita. Na fase 1 (Figura 25), encontra-se ainda a presença de quartzo. A goethita é representada por duas variações sendo uma mais hidratada, onde a fórmula química é $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ e a outra possui a fórmula química $\text{Fe} + 3\text{O} (\text{OH})$.

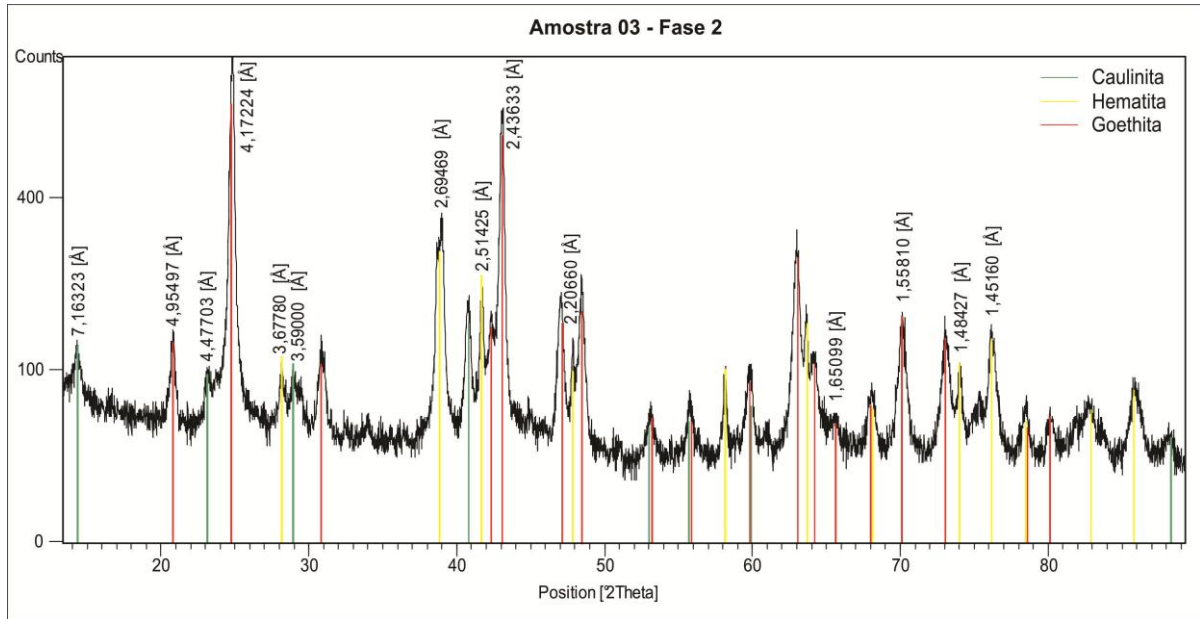
Figura 25 - Difratoograma de raios X da fase 1, que configura a parte mais preservada da amostra, exibindo como minerais o quartzo, hematita e goethita.



Fonte: Própria.

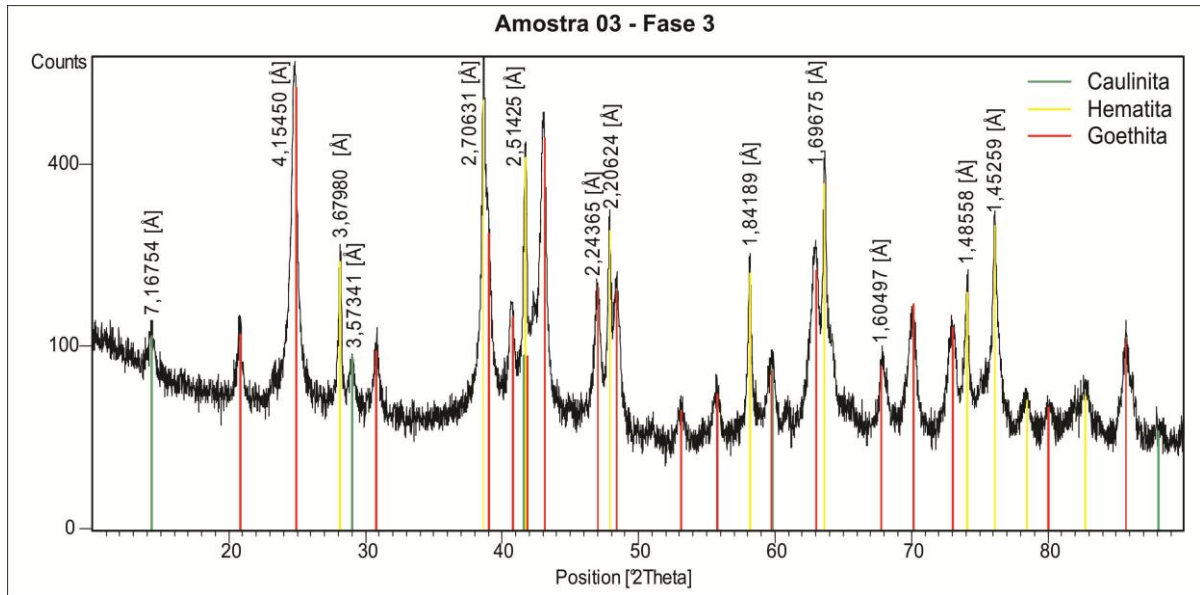
A fase 2 (Figura 26) da amostra expõe a parte mais clara e amarelada, evidenciando a alteração das propriedades físicas, essa alteração também aparece na fase 3 (Figura 27) que configura a parte mais avermelhada da amostra. Essas duas fases são representadas pelos mesmos minerais, onde o quartzo é retirado do sistema e a caulinita aparece, com a permanência da hematita e goethita.

Figura 26 - Difratoograma de raios X da fase 2, que configura a parte mais clara da amostra, exibindo como minerais o caulinita, hematita e goethita.



Fonte: Própria.

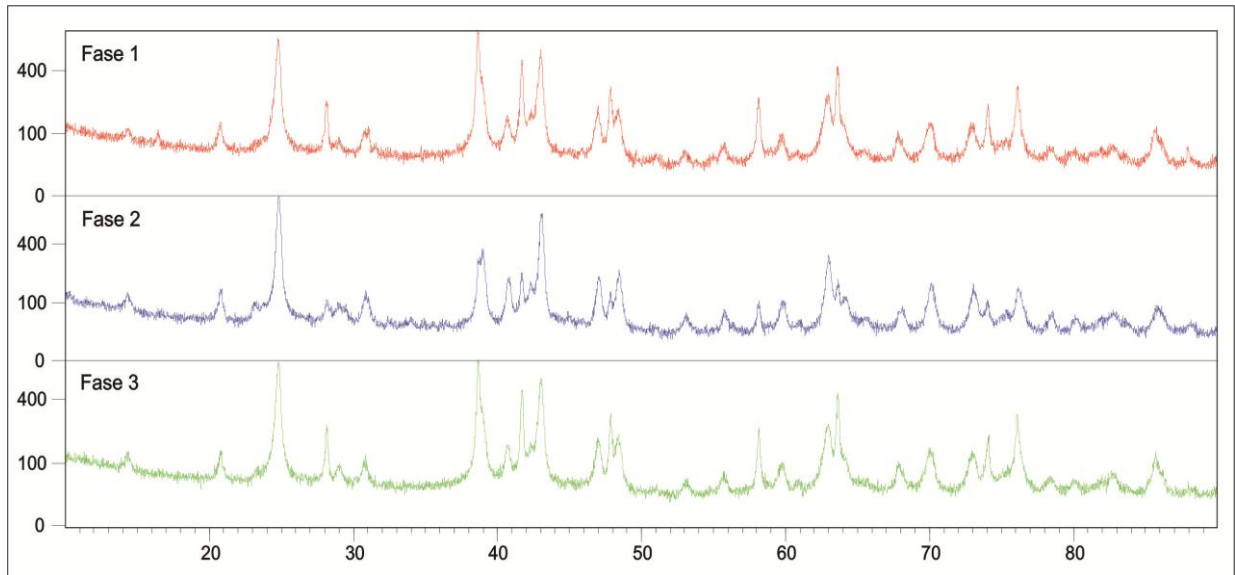
Figura 27 - Difratoograma de raios X da fase 3, que configura a parte avermelhada da amostra, exibindo como minerais o caulinita, hematita e goethita.



Fonte: Própria.

Através da sobreposição de fases, representada na figura 28, é possível observar que as próprias são pertencentes à mesma amostra, pois apresentam o mesmo padrão e os picos mais representativos estão coerentes entre si.

Figura 28 - Sobreposição das fases da amostra 3D de raios X.



Fonte: Própria.

5.2. Grupo Martinópolis

5.2.1. Formação São Joaquim

A Formação São Joaquim é constituída principalmente por quartzitos com variável composição mineralógica, é representada pelo ponto 1. No geral, são rochas que exibem estrutura maciça e granulação variando de média a grossa e possuem textura granoblástica. É possível definir uma relação com o filito da Formação Santa Teresinha, pois os mesmos ocorrem intercalados, podendo assim definir um contato de caráter gradual entre essas duas litologias. Mineralogicamente, esses quartzitos são constituídos basicamente de minerais de quartzo, feldspato e em pequenas quantidades minerais opacos.

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 (Figura 29).

Figura 29 - Blocos rolados de quartzitos contendo ferro e sulfetos (pirita e calcopirita).



Fonte: Própria.

A capa de alteração é representada por uma couraça ferruginosa (ou concreções), com tamanhos na faixa de 2 a 5 centímetros e de extensão de centenas de metros, podendo chegar à unidade de quilômetros (Figura 30 e Figura 31). O solo também apresenta cor avermelhada.

Figura 30 - Couraça ferruginosa, concreções ou capa de alteração ferruginosa.



Fonte: Própria.

Figura 31 - Extensão de centenas de metros.



Fonte: Própria.

Em observação macroscópica é possível notar a presença de texturas típicas de materiais laterizados, estruturas de acumulação, reorganização e lixiviação são encontradas nas amostras intemperizadas (Figura 32 a Figura 37). As estruturas de acumulação são representadas por nódulos, é possível observar também um zoneamento em formação de

nódulos na rocha alterada, as estruturas de reorganização são representadas principalmente por “foliações” e estruturas de lixiviação são representadas por “canais”, “tubos” e “vazios”. Na Figura é possível perceber que a formação dos nódulos de concreção está em fase de desagregação da amostra.

Figura 32 - Estruturas de reorganização, representada por micro foliações através da reorganização e reorientação da matéria que entrou em solução.



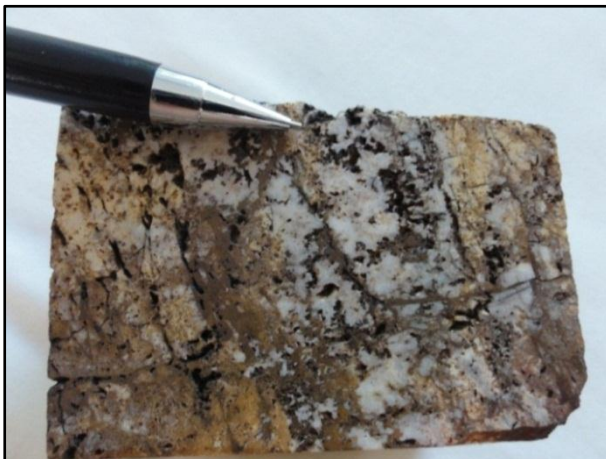
Fonte: Própria.

Figura 33 - Estruturas de acumulação, formação de nódulos maciços.



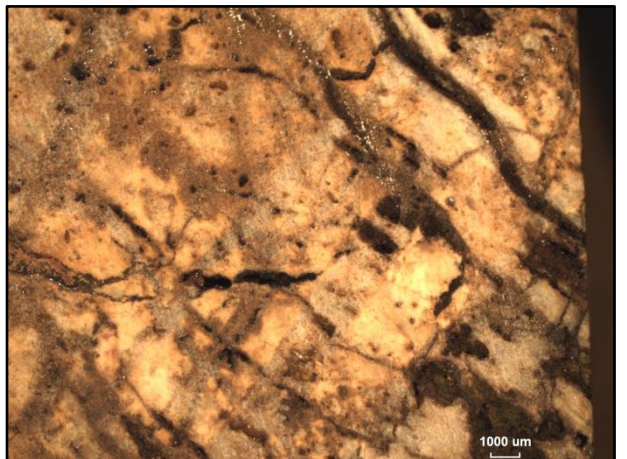
Fonte: Própria.

Figura 34 - Quartzito apresentando estrutura de lixiviação é possível notar a presença de “canais”, “tubos” e “vazios”, oriundos da subtração de matéria.



Fonte: Própria

Figura 35 - Em maior detalhe, na lupa binocular com aumento de 6.7 vezes, mostrando os vazios e a reorganização da estrutura da rocha.



Fonte: Própria

Figura 36 - Estruturas de acumulação, formação de nódulos, possível observar o zoneamento nas bordas dos nódulos.



Fonte: Própria.

Figura 37 - Estruturas de acumulação, formação de nódulos concrecionário em fase de desagregação da amostra.

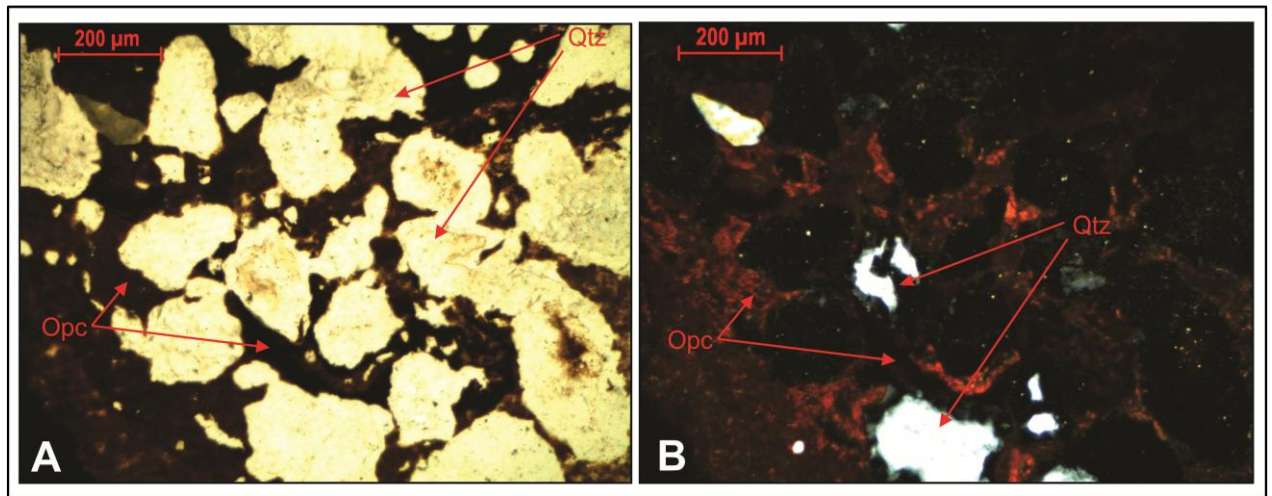


Fonte: Própria.

Os aspectos microscópicos as rochas intemperizadas apresentam basicamente material opaco e quartzo (Figura 38). Os cristais de quartzo em geral são deformados e marcados por extinção ondulante, apresentam-se recristalizados, fraturados e alterados. Os cristais não apresentam orientação preferencial e encontram-se em meio a uma matriz escura e fina (representada por óxidos de Fe), sendo predominante na rocha.

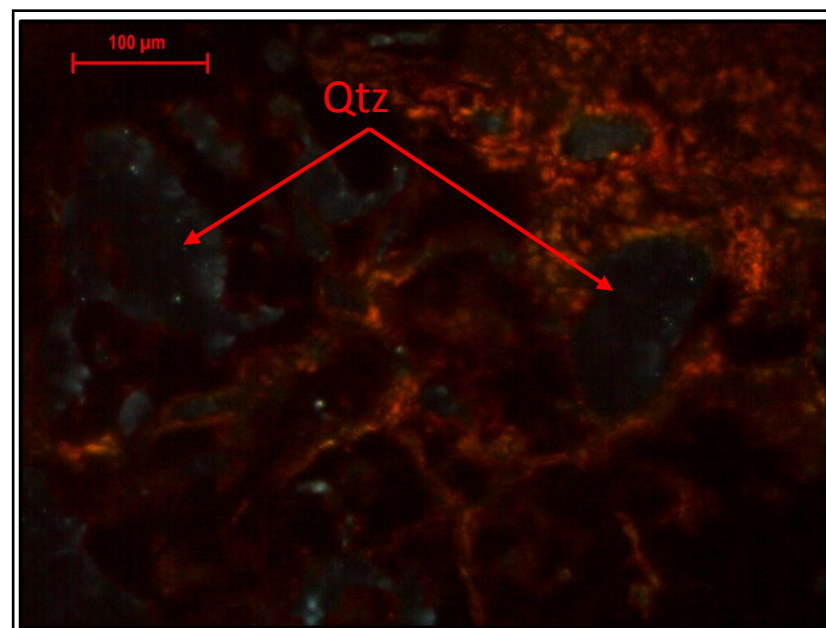
É possível perceber em lâmina a desagregação dos minerais de quartzo sendo envolvidos por uma matriz que começa a ser predominantemente envolvida por óxidos de ferro, muitas vezes ocorre um preenchimento de óxidos através das fraturas existentes nos cristais de quartzo (Figura 39) ou formando uma estrutura botroidal em volta do mesmo. Isso acontece à medida que o processo de intemperismo atinge a rocha e incide com a dessilicificação e enriquecimento em óxidos. Os óxidos de ferro são representados principalmente por minerais de hematita, com resquícios de goethita.

Figura 38 - Fotomicrografia tirada de uma lâmina delgada de quartzito fortemente intemperizado. Em ambas é notada a presença de minerais opacos em meio os minerais de quartzo. Em A observação em Luz Natural Polarizada - LNP/Objetiva de 10x; e em B observação em Luz Ortoscópica - LO/Objetiva de 10x. Abreviaturas: Opc – minerais opacos; Qtz – quartzo.



Fonte: Própria.

Figura 39 - Fotomicrografia evidenciando a desagregação dos cristais de quartzos sendo envolvidos por óxidos de ferro. LO/Objetiva de 20x. Abreviaturas: Qtz – quartzo.

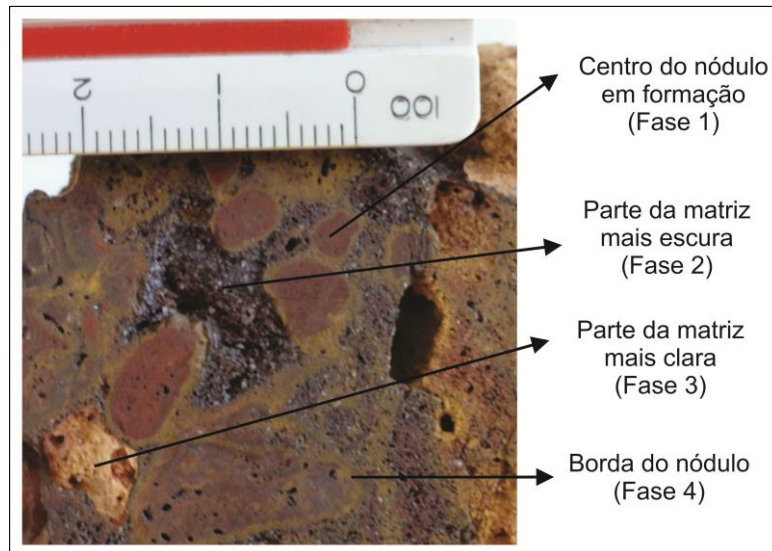


Fonte: Própria.

Nesse ponto os resultados de difração de raios X, que foram realizados na amostra 1B (Figura 40), demonstram a variação dos minerais dependendo da fase de alteração da rocha. O quartzo, por exemplo, não aparece dentro do nódulo em formação, ficando restrito até o limite da borda que está zoneando o nódulo. O óxido de ferro é representado pela hematita e

diferente do ponto anterior a goethita está presente em pequena quantidade em apenas uma fase dessa amostra.

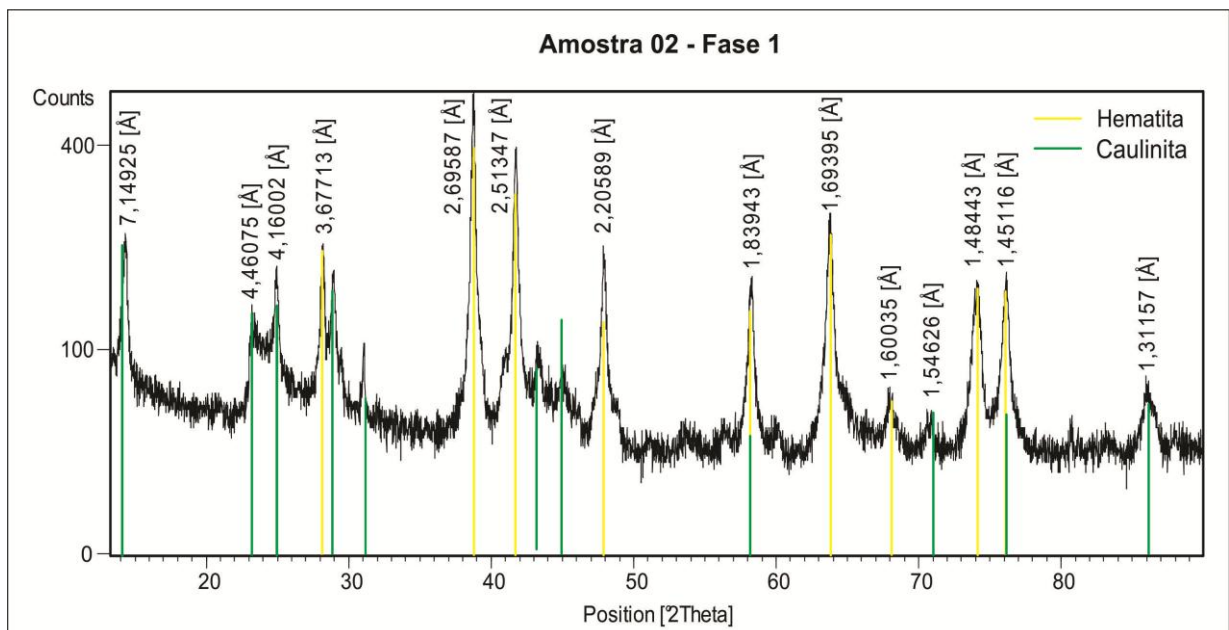
Figura 40 - Amostra da Formação São Joaquim fortemente alterada, utilizada para análise de difração de raios X. A figura mostra as diferentes fases analisadas.



Fonte: Própria.

A figura 41 mostra o difratograma da fase 1, que representa o centro da do nódulo em formação, os minerais encontrados são a hematita que está representando um óxido de ferro, birnessita, um polimorfo do óxido de manganês e caulinita.

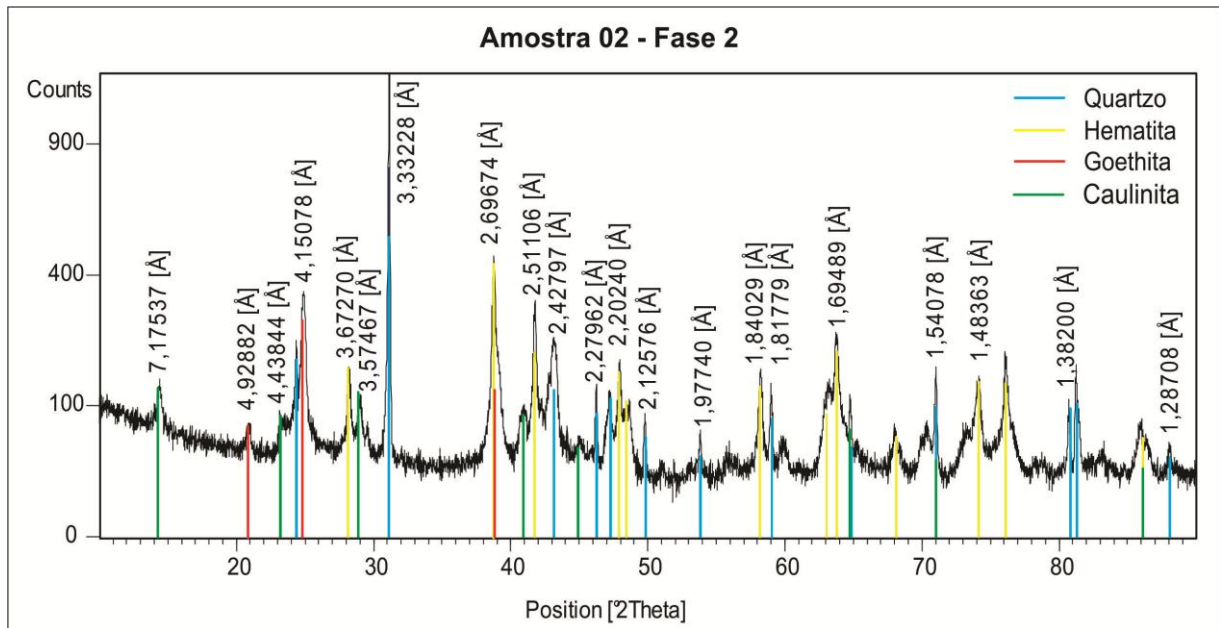
Figura 41 - Difratograma de raios X da fase 1, que configura o centro do nódulo em formação da amostra, exibindo como minerais a hematita e caulinita.



Fonte: Própria.

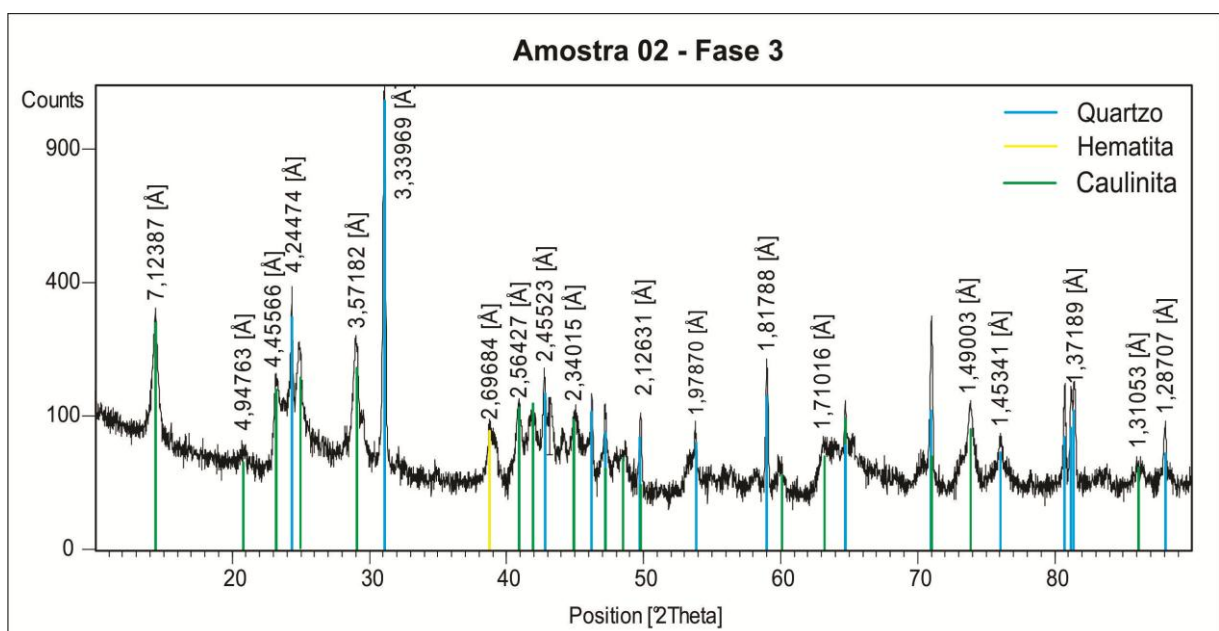
A fase 2 representada pelo difratograma da figura 42, mostra os minerais presentes na fase mais escura da amostra. Essa fase é a única em que a goethita está presente, já na fase 3 (Figura 43) os óxidos de ferro estão em menor quantidade, no caso da goethita já não aparece mais nessa fase e a hematita aparece em pequena proporção, a grande maioria dos picos expostos são de quartzo e caulinita.

Figura 42 - Difratograma de raios X da fase 2, que configura a parte da matriz mais escura da amostra, exibindo como minerais o quartzo, hematita, goethita e caulinita.



Fonte: Própria.

Figura 43 - Difratograma de raio X da fase 3, que configura a parte clara da amostra, exibindo como minerais o quartzo, hematita e caulinita.

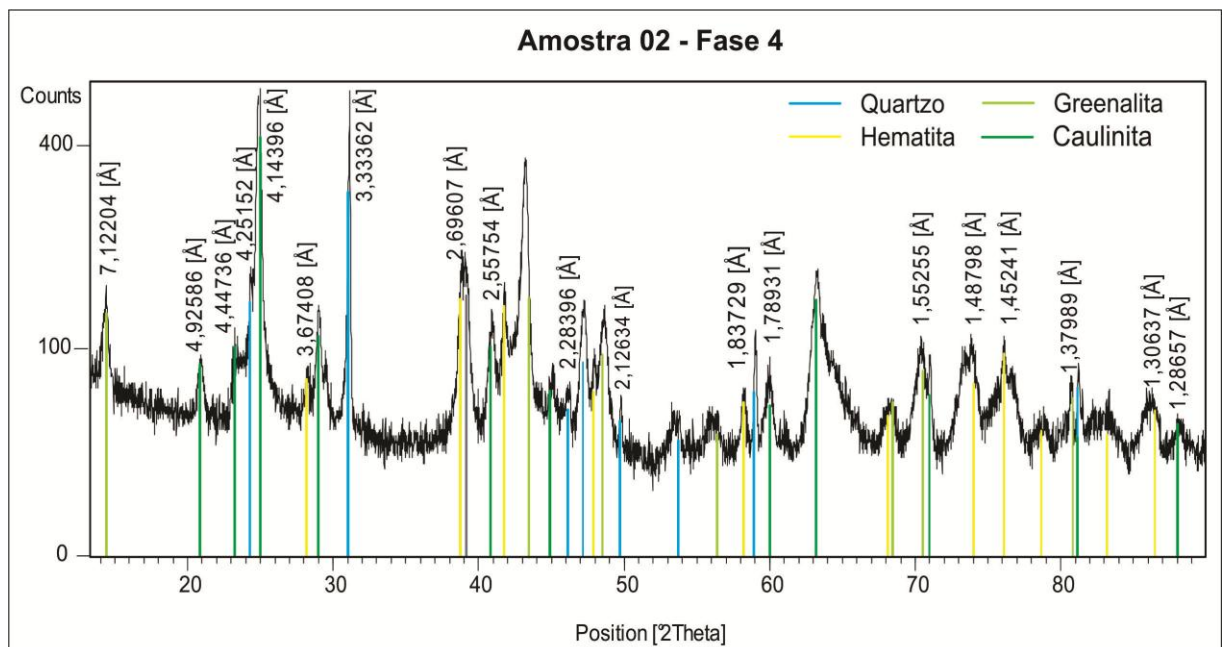


Fonte: Própria.

A fase 4 também apresenta uma quantidade variada de minerais, demonstrados no difratograma da figura 44. Nessa fase foi encontrado quartzo, hematita, greenalita e caulinita.

Pode-se dizer que essa fase é uma transição para o componente mais ferruginoso da amostra, que é o centro do nódulo, o que futuramente decorrerá nas concreções encontradas na região. Através dos difratogramas é possível evidenciar que o quartzo se restringe até o limite de transição e nesse limite também ocorre um elemento incomum nos outros pontos, a greenalita. A greenalita é um mineral no grupo caulinita-serpentina de fórmula química $Fe_3Si_2O_5(OH)$, pode ocorrer como uma fase primária em formações ferríferas

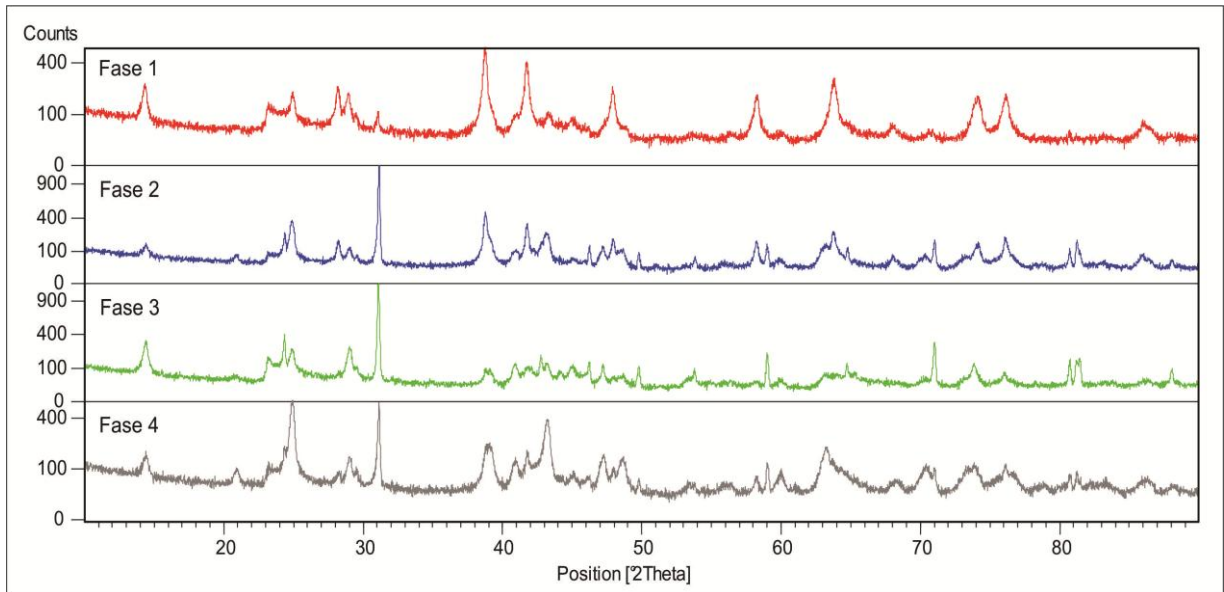
Figura 1 - Difratograma de raios X da fase 4, que configura a borda da concreção, exibindo como minerais o quartzo, hematita, greenalita e caulinita.



Fonte: Própria.

Através da sobreposição de fases, representada na figura 45, é possível observar que todas as fases apresentam-se distintas, esta distinção é observada principalmente nos picos e ocorre devido a grande variação de minerais em cada fase analisada.

Figura 45 - Sobreposição das fases que se apresentam com os picos distintos.



Fonte: Própria.

5.2.2. Formação Santa Terezinha

Em relação aos filitos, nessa região são rochas de granulação muito fina, apresentam estratificações plano paralela e em alguns pontos encontram-se bastante alterado. A rocha fonte geralmente de cor amarelada, porém podem apresentar uma cor avermelhada tendendo muitas vezes pra cor marrom. Notou-se também fraturas, sendo estas preenchidas por veios quartzíticos como intercalações. No presente trabalho os pontos que representam a Formação Santa Teresinha são os pontos 2 e 6.

A rocha alterada nesse ponto apresenta cristais de quartzo ainda bem notáveis, pode ser decorrente de um contato entre o quartzito e o filito, sendo possível que a alteração ferruginosa esteja associada também ao contato entre essas duas litologias.

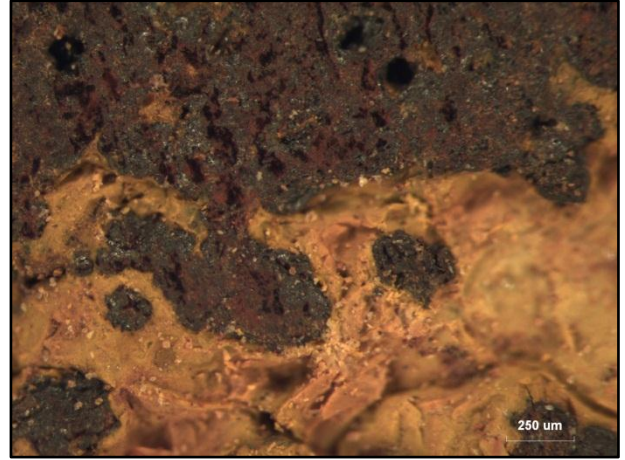
Em termos de estruturas a rocha apresenta estruturas de acumulação e lixiviação, com a presença de canais, tubos e vazios (Figura 46 e Figura 47).

Figura 46 - Estrutura de lixiviação, possível notar a presença de “canais”, “tubos” e “vazios”, oriundos da subtração de matéria.



Fonte: Própria.

Figura 47 - Em maior detalhe, com aumento de 60 vezes na lupa binocular, mostrando a reorganização da estrutura da rocha.

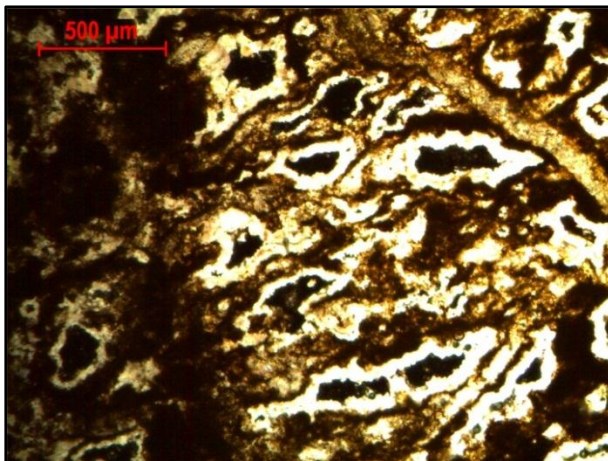


Fonte: Própria.

O intemperismo laterítico oblitera muito a estrutura da rocha mesmo em estágios iniciais da laterização. Em estágios menos intemperizados, a rocha em seção delgada apresentam uma estrutura cordada de granulação muito fina (Figura 48).

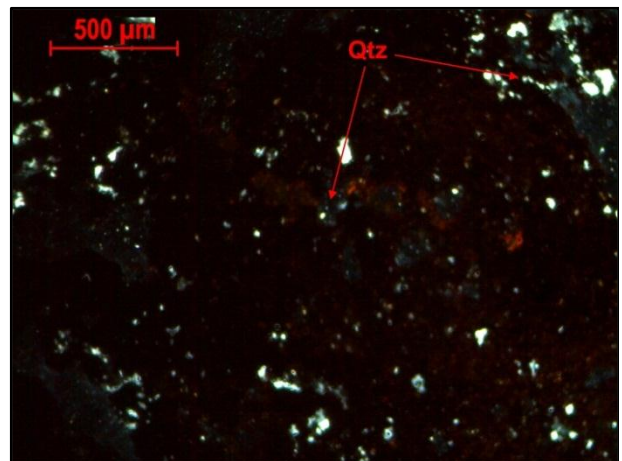
O filito mais intemperizado apresenta uma rica quantidade de ferro que compõem uma matriz escura, responsável pela coloração e cristais de quartzo muito finos (Figura 49).

Figura 48 - Estrutura cordada apresentada em lâmina através do aumento de 5 vezes.



Fonte: Própria.

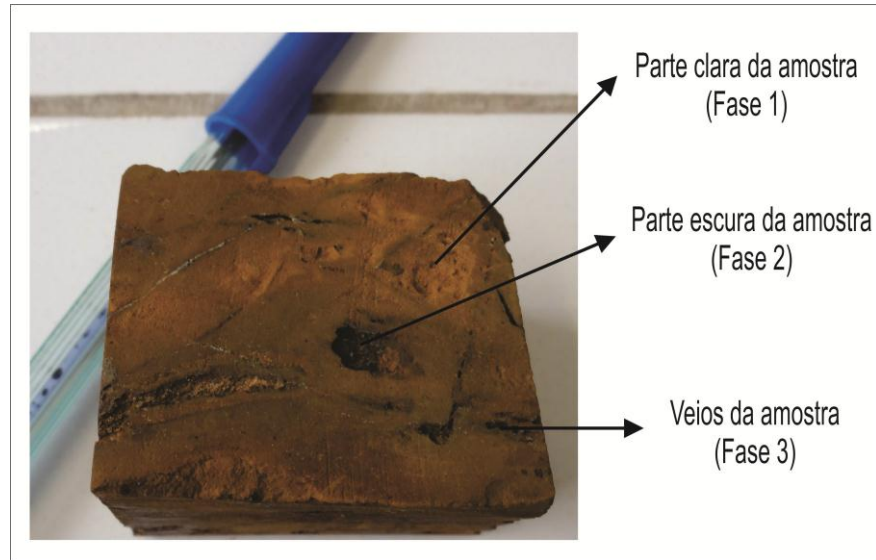
Figura 49 - Em menor detalhe, com aumento de 5 vezes, vazios mostrando a reorganização da estrutura da rocha.



Fonte: Própria.

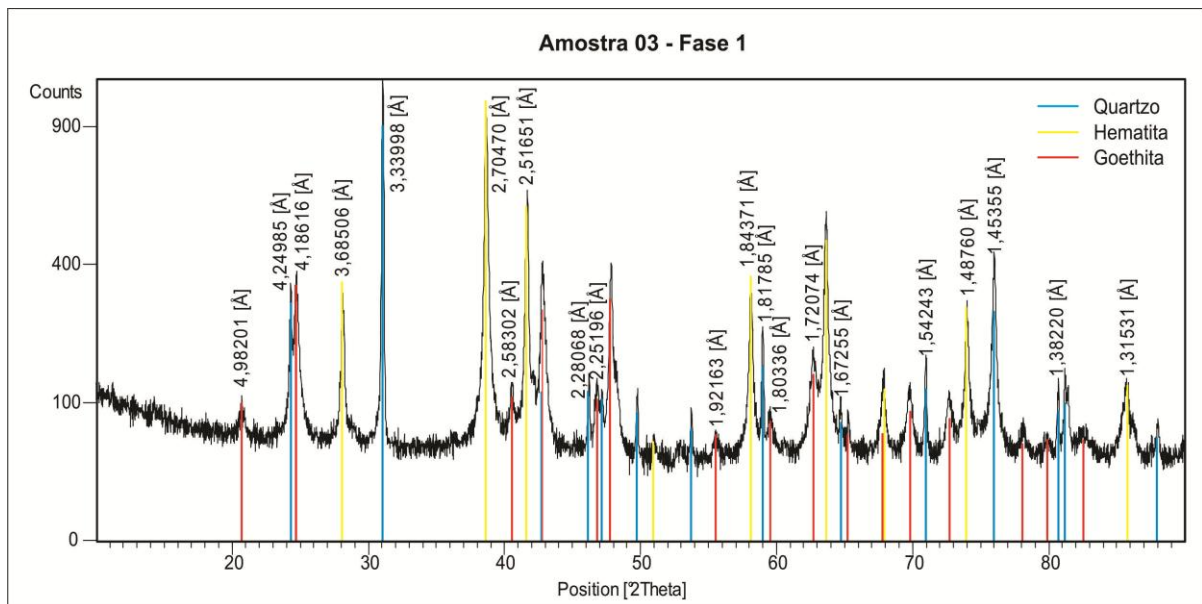
Nesse ponto os difratogramas de raios X foram realizados na amostra 3D (Figura 50). Os resultados apresentados mostram que as fases não tiveram variação em relação aos minerais presentes, sendo eles a hematita, goethita e quartzo (Figura 51). Em todas as fases os difratogramas apresentam a mesma estruturação e estão coerentes entre si (Figura 52).

Figura 2 - Amostra da Formação Santa Teresinha fortemente alterada, utilizada para análise de difração de raios X. A figura mostra as diferentes fases analisadas.



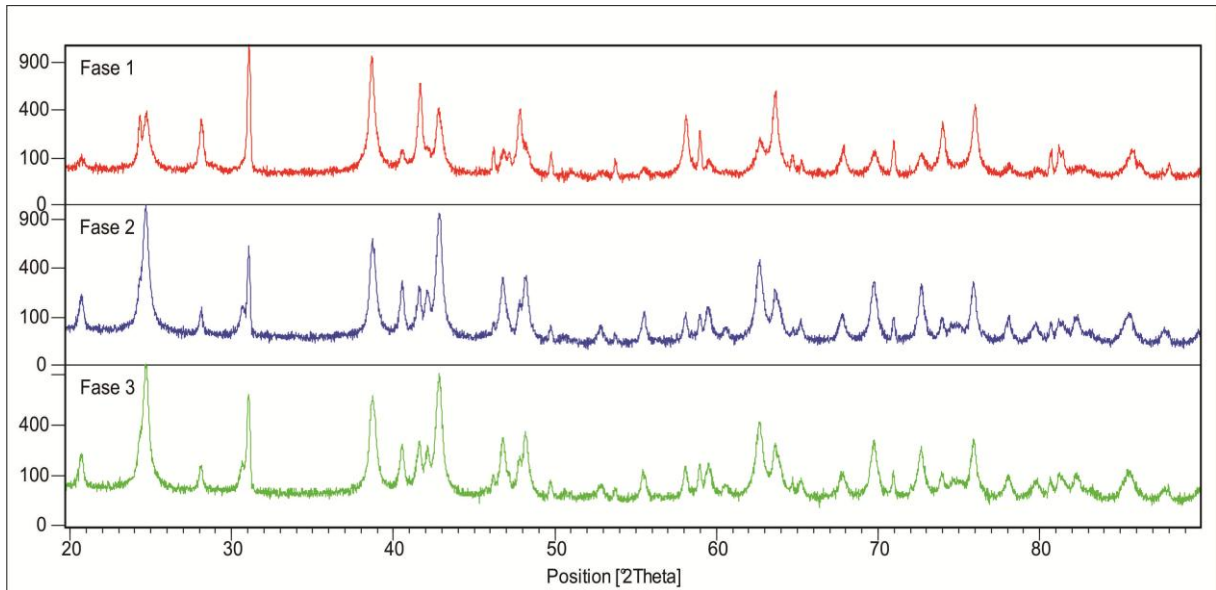
Fonte: Própria.

Figura 3 - Difratoograma de raios X da fase 1 exibindo como minerais o quartzo, hematita, goethita.



Fonte: Própria.

Figura 4 - Sobreposição das fases da amostra que se apresenta com os picos coerentes.



Fonte: Própria.

5.3. Grupo Barreiras

Os pontos 4 e 5 estão localizados a noroeste da área de pesquisa. São representados por conglomerados, mal selecionados e com seixos de quartzo arredondados a subangulosos cimentado por material argiloso (Figura 53). Apresenta textura de lixiviação (Figura 54).

Ocorrem na área como uma extensa capa de concreções associados aos conglomerados, os pontos 4 e 5 são distintos, mas possuem o mesmo material, porém no ponto 4 seria uma representação da rocha fonte pouco alterada, o que não foi possível coletar no ponto 5 já que no mesmo as amostras encontradas já apresentavam um estágio mais avançado de alteração.

Análises de DR-X não foram realizadas nesses pontos devido aos valores apresentados nas análises químicas de elementos maiores serem mais significativos associados as litologias anteriormente apresentadas.

Figura 553 - Matriz da rocha cimentada por material argiloso.



Fonte: Própria.

Figura 54 - Estruturas de lixiviação.



Fonte: Própria.

6. GEOQUÍMICA

6.1. Elementos Maiores

Através do padrão químico apresentado pelas amostras analisadas é possível perceber as diferenças nos teores dos elementos no decorrer de alteração das rochas se tornando claro o processo de evolução do intemperismo, seguindo para formação de materiais com características de laterização evidentes.

A Tabela mostra a classificação comparando apenas os 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) (apud Nogueira Junior 1985) e os índices de intemperismo Kr e Ki utilizando a classificação Moreira e Oliveira (2008) para rochas e concreções que apresentam características de materiais lateríticos.

Os resultados mostram que o processo de laterização ocorrido na rocha levou a formação de lateritas ferruginosas, onde os valores de Fe_2O_3 dividido por Al_2O_3 foram maiores que 1,00 e os valores de SiO_2 dividido pelos valores do Fe_2O_3 foram menores que 1,33 nas amostras 1B, 1C, 2D, 3C, 3D, 3E e 5B que representam as amostras mais intemperizadas de cada ponto (Tabela 1).

Comparando as três classificações, os resultados mostram-se discordantes em todas as litologias, quando comparado as três classificações apresentadas na tabela 3. Porém nos pontos 1 e 3, que representam respectivamente o quartzito e gnaiss essa discordância ocorre apenas em uma amostra de cada ponto. A amostra 1C e 3C, onde o índice Ki apresenta como material não laterítico quando o Kr e a classificação segundo Sinha Roy (1967) e Karunakaran – Sinha Roy (1971) apresentam resultados para laterita e laterita ferruginosa, respectivamente.

Utilizando apenas a classificação segundo Sinha Roy (1967) e Karunakaran/Sinha Roy (1971) e o índice Kr, só existe discordância nos filitos, especificamente nas amostras 2C e 6B, onde o índice de Kr aponta para laterita e material laterítico respectivamente e a classificação de Sinha Roy (1967) e Karunakaran – Sinha Roy (1971) 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.

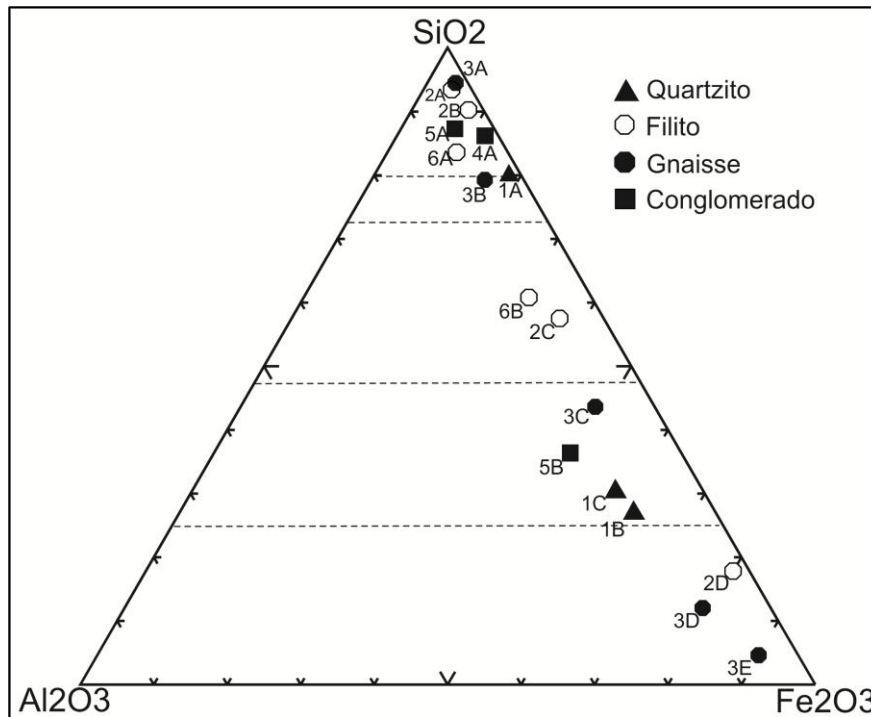
Tabela 3 - Classificação do tipo de laterização segundo Sinha Roy (1967) e Karunakaran – Sinha Roy (1971) e através dos índices de intemperismo Kr e Ki, baseados na classificação de Martin e Doyne (1927) e Medina.

Ponto	Amostra	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃ /Al ₂ O ₃	SiO ₂ /Fe ₂ O ₃	Classificação 1	Kr	Classificação 2	Ki	Classificação 3
							Sinha Roy (1967) e Karunakaran/Sinha Roy (1971)	SiO ₂ /(Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃)	Índice Kr	SiO ₂ /Al ₂ O 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

Relacionando o diagrama ternário SiO₂ – Al₂O₃ – Fe₂O₃ (Figura) com diagrama de classificação dos distintos graus de lateritização de Schellmann (1983), já apresentado no capítulo 4, 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 figura 55 a contínua perda de SiO₂, um aumento, pouco expressivo, do Al₂O₃ e um enriquecimento considerável em Fe₂O₃, confirmando assim a classificação 1 apresentada na tabela 3, que aponta esses materiais dentro dos limites para o tipo de laterita ferruginosa existente na área. Esse gráfico mostra de maneira mais clara o processo de alteração da rocha, através dele também é possível observar que as amostras analisadas possuem um baixo teor de alumínio.

Figura 55 - Diagrama Ternário mostrando a variação dos elementos, SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 no decorrer do processo de alteração da rocha.

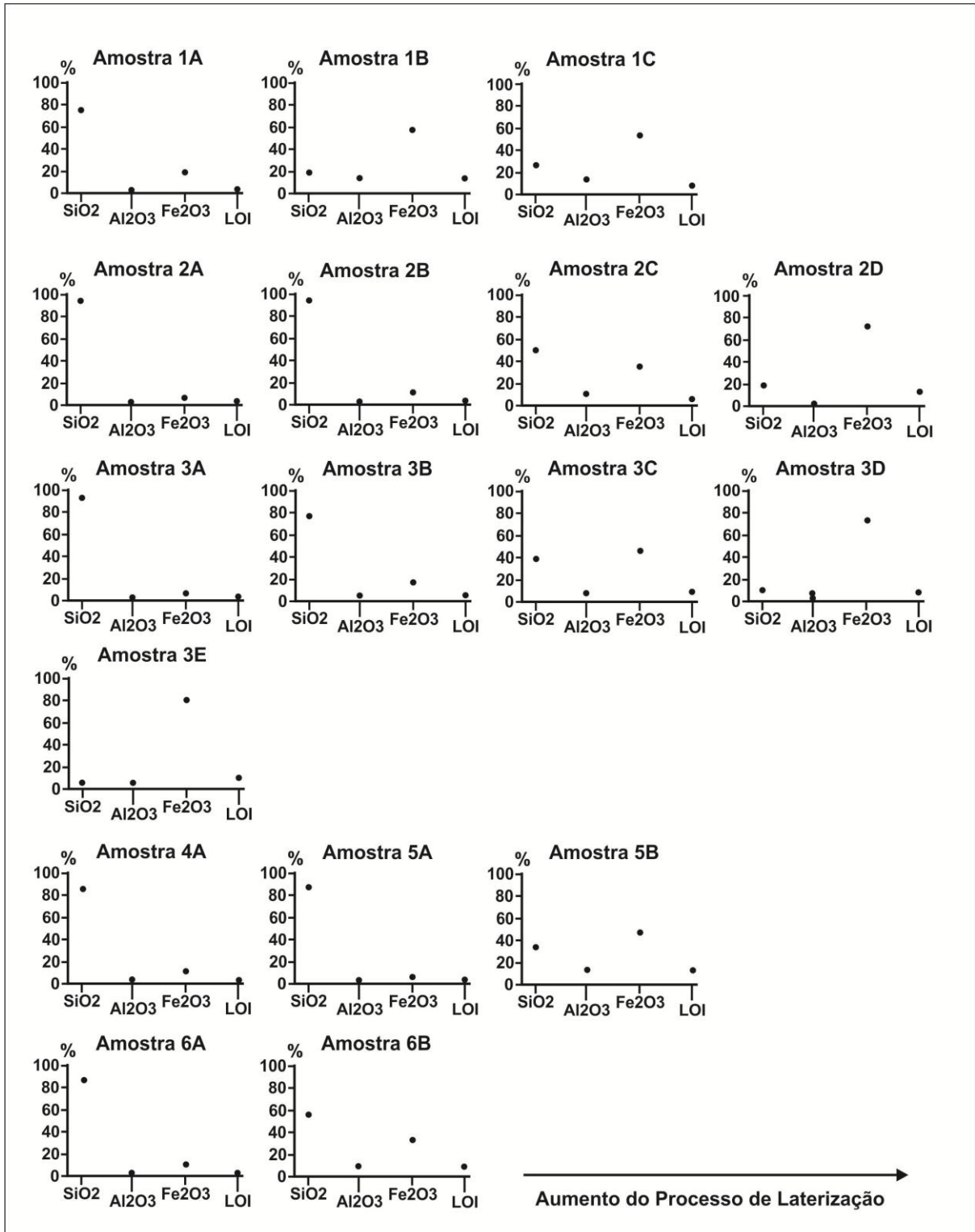


Fonte: Própria.

Os gráficos apresentados na figura 56 representam de forma mais evidente os picos nos valores de Fe_2O_3 e a queda em SiO_2 nas amostras mais intemperizadas em cada uma das litologias. 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.

Os teores de TiO_2 são pouco consideráveis e podem ser melhor observados nos diagramas binários a seguir apresentados em escala diferenciada, sua variação fica mascarada pela variação dos percentuais dos outros óxidos (Si, Al e Fe) devido aos valores absolutos dos mesmos ser muito superior aos do TiO_2 .

Figura 56 - 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 .



Fonte: Própria.

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 conseqüentemente o enriquecimento ou empobrecimento dos elementos químicos no decorrer dos estágios de laterização. Através desse diagrama é possível observar com melhor eficiência a mobilidade dos elementos. A comparação foi feita através de SiO_2 porque apesar de ser um elemento considerados um dos mais resistentes aos processos intempéricos e de ser pouco solúvel na faixa de pH da hidrólise no geral o comportamento da sílica pode ser intensamente lixiviada ou até mesmo totalmente eliminada se as soluções de alteração, provocadas pela remoção de sais solúveis, permanecerem diluídas no meio, o que acontece em condições de pluviosidade alta e drenagem eficiente dos perfis de solo.

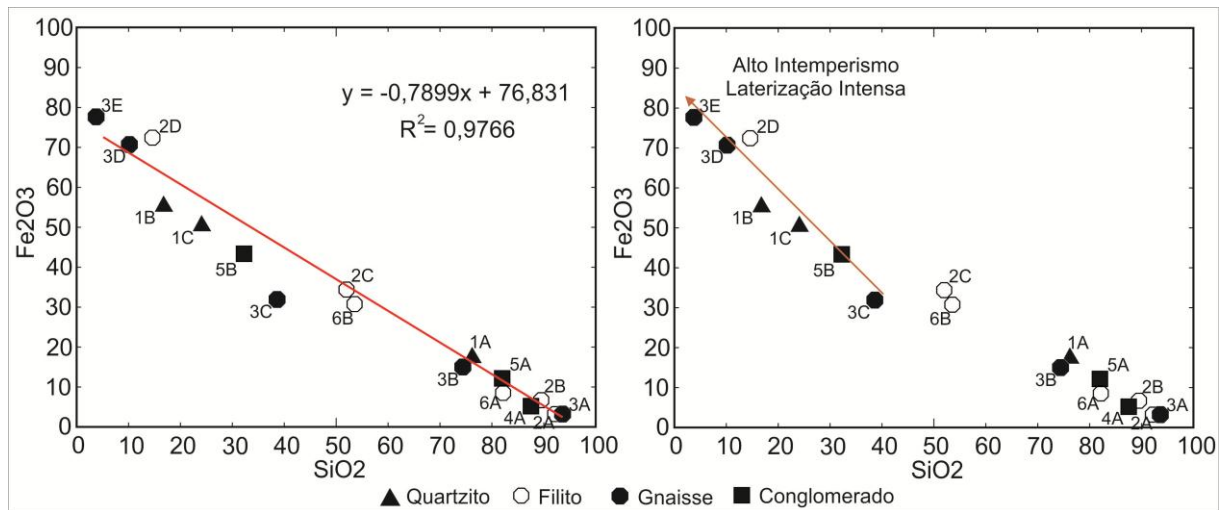
Além desses elementos a porcentagem de H_2O (LOI) também foi correlacionada com a de sílica, essa relação deve ser levada em consideração, pois os valores de H_2O aumentam no decorrer do processo de laterização levando à formação de limonitas e a presença de outros minerais hidratados.

6.1.1. Fe_2O_3 x SiO_2

O diagrama da figura 57 relaciona o comportamento e mobilidade do ferro em comparação com a sílica do decorrer das fases de intemperismo/laterização. No canto inferior direito encontra-se o grupo de amostras relacionadas a rocha preservada ou menos alterada possível, seguindo para esquerda é possível observar um enriquecimento do Fe_2O_3 em todas as litologias, juntamente com esse enriquecimento ocorre o processo intempérico/laterização da rocha.

Através da dispersão dos pontos entre os valores do Fe_2O_3 e SiO_2 como variáveis do gráfico o coeficiente de correlação indica que o grau de associação no diagrama de dispersão sendo assim possível se visualizar a disposição dos pontos se aproximando de uma reta, indicando uma correlação linear entre as variáveis, indicando assim uma forte correlação.

Figura 57 - Diagrama Binário, com a reta da regressão linear e coeficiente y, comparando o comportamento e mobilidade do ferro com a sílica no decorrer das fases do intemperismo/laterização.



Fonte: Própria.

Levando em consideração o quartzito como rocha fonte (amostras do ponto 1), é possível observar que o maior enriquecimento em óxido de ferro (Fe_2O_3) se deu nos primeiros estágios de intemperismo/laterização, permanecendo estável no estágio final de laterização. O empobrecimento ou lixiviação da sílica ocorreu também nos primeiros estágios, a amostra 1A apresenta-se no campo próximo aos altos teores de sílica e baixos teores de ferro, seus valores, em porcentagem, são de 76,16% de SiO_2 e 19,58% de Fe_2O_3 , simula a rocha mais próxima possível da rocha fonte, sendo este o primeiro estágio de laterização, no mesmo ponto foi considerado a rocha em processo mais avançado de alteração (amostra 1B) e as concreções ferruginosas que aparecem na amostra 1C, ambas apresentam teores em porcentagem de 17,26 e 25,77 de SiO_2 e seus teores em Fe_2O_3 são de 56,68 e 52,93, respectivamente.

A rocha fonte das amostras do ponto 2 é o filito, o aumento nos teores de Fe_2O_3 se tornou ainda mais significativo no decorrer do processo de intemperismo chegando a apresentar teores acima de 70% (amostra 2D), os valores de SiO_2 houve uma diminuição de 90,75% para 15,53% (amostras 2A e 2B, respectivamente). Porém, no estágio mais alterado da sequência de amostras é observado uma diminuição nos teores de Fe_2O_3 e leve aumento na SiO_2 , isso pode ocorrer devido a liberação da sílica e o acúmulo do ferro se dá em estágios médios de alteração, sendo o ferro retido nesse estágio e a sílica que é liberada fique retida em estágios mais avançados. Outra possibilidade estaria ligada a variação dos valores de ferro e sílica na dimensão física em que ocorre o intemperismo laterítico.

O gnaïsse também apresentou teores em Fe_2O_3 com valores maiores a 70%, chegando próximo a 80%, na rocha em processo de alteração elevado. Os valores para SiO_2 variam de 94,23% na rocha-fonte para 4,95% na rocha em alto estágio de intemperismo (amostras 3A e 3E, respectivamente), diminuindo em sequência no decorrer do estágio de alteração.

Para a o conglomerado o enriquecimento em Fe_2O_3 passa de 7,10% (amostra 5A) para 44,71% (amostra 5B), a amostra 4A também é um conglomerado e representaria um dos estágios de laterização, estando com valores intermediários entre a 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 SiO_2 que decrescem para 54,98% no decorrer do processo de intemperismo.

6.1.2. Al_2O_3 x SiO_2

Neste segundo diagrama (Figura 58) que relaciona os valores do alumínio com os da sílica, é possível perceber 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 apresenta que não há uma correlação linear.

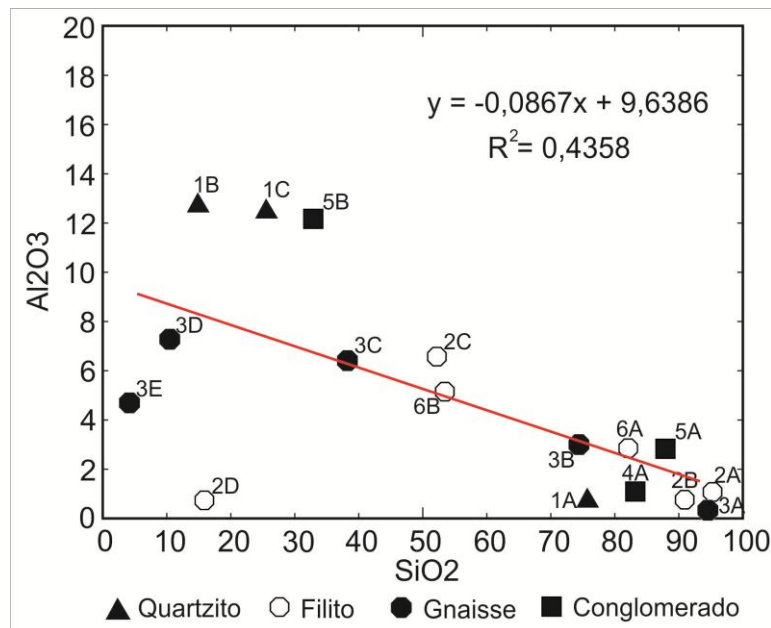
As amostras que representam o quartzito no ponto 1 (1A, 1B e 1C), é possível observar que a maior concentração em alumínio se deu nos primeiros estágios de intemperismo/laterização, permanecendo estável no estágio final de laterização, seguindo assim o comportamento do ferro. Os teores de Al_2O_3 dessas amostras, em porcentagem, estão em torno de 0,62; 12,58 e 12,60 respectivamente.

Já avaliando as amostras do ponto 2 observa-se que 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, chega a apresentar valores de 6,17%, caracterizando a rocha em processo moderado de alteração, com o decorrer do processo apresenta teores de 0,89%, na amostra 2D.

Para a mobilidade do alumínio quando o mesmo é representado em um perfil característico de laterização, amostrado através da profundidade e horizontes de solo os teores em alumínio apresentam-se mais elevados antes do horizonte mais intemperizado, classificado como horizonte ferruginoso. Apesar da falta do perfil, devido a profundidade do solo e condições da laterização não foi possível fazer coleta de amostras em perfil, é possível

observar que nas amostras que representam o filito e gnaisse os teores de alumínio que foram crescentes em relação ao aumento da ação do intemperismo na rocha até um determinado ponto e decrescendo assim, na amostra mais intemperizada e ferruginosa.

Figura 58 - Diagrama Binário, com a reta da regressão linear e coeficiente y , comparando o comportamento e mobilidade do alumínio com a sílica no decorrer das fases do intemperismo/laterização.



Fonte: Própria.

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

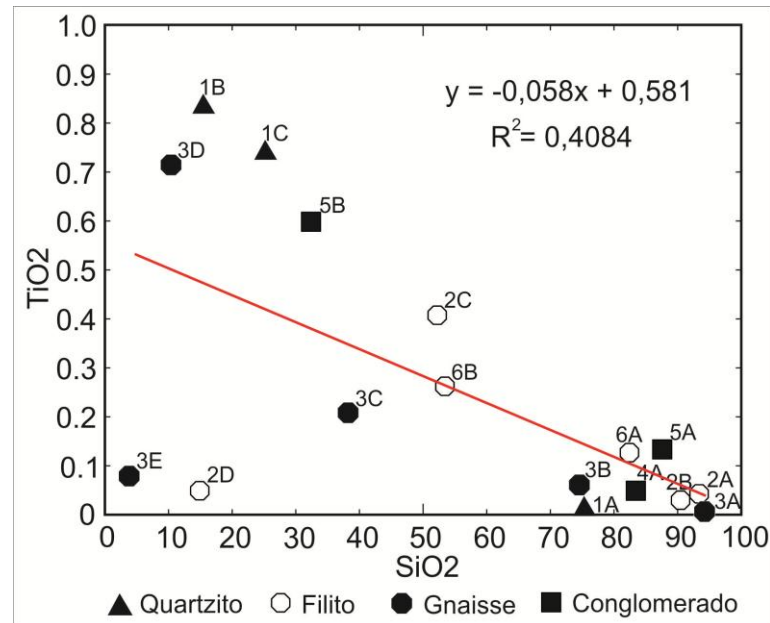
O conglomerado e a amostras que representam o filito do ponto 6, não é possível definir se existe esse comportamento, pois só foram amostrados duas condições de alteração em cada ponto, sendo o ponto 5B, as concreções ferruginosas. Porém em ambos os pontos os teores de Al₂O₃ apresentaram acréscimo e os de SiO₂ diminuíram nas amostras mais alteradas.

6.1.3. TiO₂ x SiO₂

Em todas as amostras coletadas, que representam mais de duas fases do processo de intemperismo, é possível observar através do diagrama (Figura 59) 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.

Figura 59 - Diagrama Binário, com a reta da regressão linear e coeficiente y , comparando o comportamento e mobilidade do titânio com a sílica no decorrer das fases do intemperismo/laterização.



Fonte: Própria.

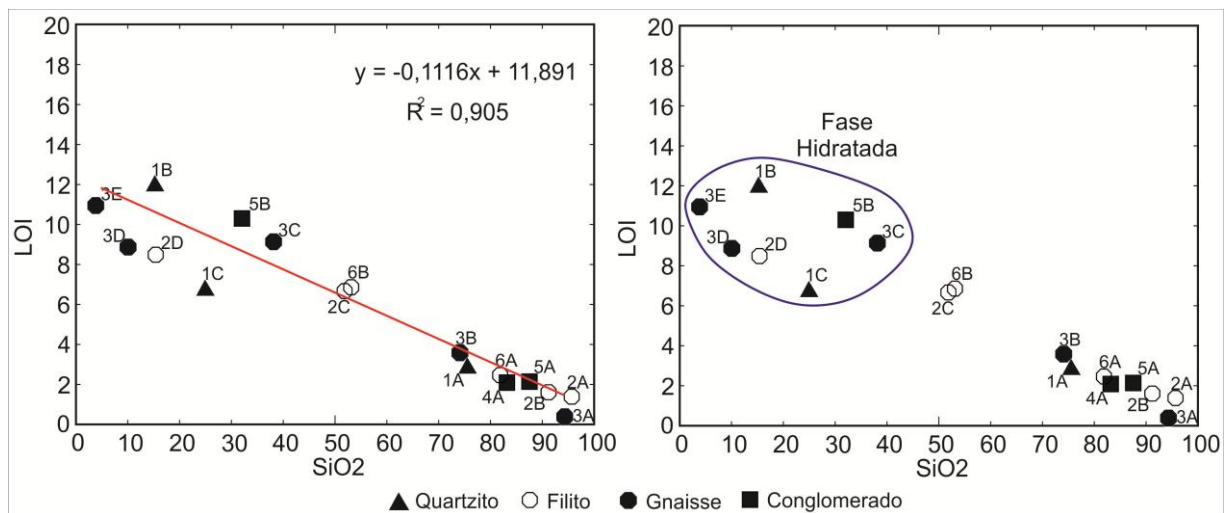
Levando em consideração o quartzito como rocha fonte (ponto 1), é possível observar que ocorreu um enriquecimento em óxido de titânio (TiO_2) nos primeiros estágios de intemperismo/laterização apresentando teores de 0,02 na amostra 1A e passando para 0,85 na amostra 1B, na amostra 1C que representa as concreções ferruginosas, o teor apresentado foi de 0,76, mostrando que nesse ponto o TiO_2 tende a permanecer no decorrer do processo de laterização. Já nos pontos 2 e 3, onde a rocha fonte é o filito e o gnaise, respectivamente, o comportamento do TiO_2 apresenta características distintas de enriquecimento e mobilidade, onde ocorre um enriquecimento nos primeiros estágios de intemperismo porém no decorrer do processo o TiO_2 também é lixiviado. O aumento nos teores de TiO_2 no quartzito do ponto 2 também não foi tão expressivo como no ponto 1, já no gnaise os valores de TiO_2 chegou a apresentar teores de 0,71% na amostra 3D.

No conglomerado não é possível definir se existe esse comportamento, pois só foram amostrados duas condições de alteração em cada uma. No entanto, é possível definir que também houve um enriquecimento nos primeiros estágios de laterização, 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.

6.1.4. LOI x SiO₂

As distribuições dos valores analisados de porcentagem de perda ao fogo estão expostas no diagrama da figura 60 que relaciona 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.

Figura 1 - Diagrama Binário, com a reta da regressão linear e coeficiente y, comparando o comportamento e mobilidade de LOI através da sílica no decorrer das fases do intemperismo/laterização.



Fonte: Própria.

No campo das amostras que simulam o gnaisse é possível observar que na amostra 1C representa as concreções onde os valores em H₂O diminuíram consideravelmente em comparação com a amostra 1B, porém a amostra 5B, que também representa as concreções, porém com a rocha fonte sendo o 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.

Para outros elementos como o cálcio, magnésio, sódio, potássio, cromo, manganês e fósforo que apresentaram teores dos óxidos estáveis na grande maioria das amostras analisadas, foram usados resultados de geoquímica das litologias cedidas pela CPRM para uma comparação aprimorada desses elementos, levando em consideração que todas as amostras deste trabalho possuíam um grau, mesmo mínimo, de alteração.

A tabela 4 apresenta a geoquímica das amostras analisadas neste trabalho e a tabela 5 apresenta o resultado das amostras cedidas pelo estudo realizado em convênio com a CPRM/UFC.

Tabela 4 - Tabela apresentando os valores da geoquímica dos elementos maiores (%peso).

Ponto	Litologia	Amostra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Cr ₂ O ₃	MnO	P ₂ O ₅	TiO ₂	LOI	TOTAL
1	Quartzito	1A	76,16	0,62	19,58	0,06	0,04	0,01	0,14	0,045	0,02	0,29	0,02	3,0	99,98
		1B	17,26	12,58	56,68	0,01	0,01	0,01	0,01	0,056	0,02	0,24	0,85	12,0	99,80
		1C	25,77	12,60	52,93	0,08	0,10	0,01	0,31	0,035	0,03	0,22	0,76	6,8	99,69
2	Filito	2A	92,22	1,28	4,33	0,03	0,10	0,01	0,29	0,043	0,03	0,05	0,04	1,6	100,01
		2B	90,75	0,95	6,04	0,08	0,07	0,01	0,08	0,053	0,03	0,05	0,03	1,9	100,01
		2C	51,67	6,17	34,69	0,01	0,01	0,01	0,02	0,022	0,01	0,10	0,43	6,7	99,88
		2D	15,53	0,89	73,90	0,05	0,09	0,01	0,01	0,007	0,46	0,11	0,04	8,8	99,91
3	Gnaisse	3A	94,23	0,27	4,84	0,01	0,01	0,01	0,01	0,059	0,02	0,02	0,01	0,6	100,04
		3B	75,69	3,80	16,41	0,02	0,01	0,02	0,11	0,056	0,01	0,08	0,05	3,7	99,97
		3C	38,24	6,67	44,77	0,03	0,01	0,01	0,05	0,024	0,01	0,08	0,22	9,5	99,57
		3D	10,23	7,35	71,00	0,07	0,02	0,03	0,12	0,010	0,01	1,02	0,71	9,3	99,89
		3E	4,95	4,81	77,85	0,10	0,03	0,01	0,05	0,011	0,12	0,86	0,09	10,9	99,82
4	Conglomerado	4A	83,52	1,00	13,12	0,01	0,01	0,01	0,01	0,066	0,01	0,03	0,07	2,1	99,93
5	Conglomerado	5A	86,25	3,02	7,10	0,02	0,31	0,01	0,96	0,037	0,03	0,06	0,12	2,1	99,98
		5B	31,95	12,13	44,71	0,02	0,02	0,01	0,04	0,049	0,02	0,12	0,63	10,1	99,83
6	Filito	6A	83,73	2,83	9,62	0,02	0,31	0,01	0,87	0,028	0,06	0,05	0,12	2,3	99,98
		6B	54,98	5,94	31,50	0,03	0,10	0,01	0,21	0,050	0,03	0,07	0,28	6,6	99,86

Tabela 5 -Tabela apresentando os valores da geoquímica (%peso) cedidos pelo estudo feito em convênio com a CPRM/UFC.

Amostra	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Cr ₂ O ₃	MnO	P ₂ O ₅
Quartzito	0,02	0,01	0,04	0,17	0,002	0,01	0,03
	0,01	0,01	0,01	0,02	0,002	0,01	0,01
Filito	1,04	0,21	3,32	4,29	0,002	0,02	0,05
Gnaisse	5,90	2,87	4,98	0,42	0,020	0,10	0,06
	3,02	1,17	4,27	2,68	0,003	0,04	0,15
	4,82	2,41	4,14	2,35	0,004	0,07	0,26
Conglomerado	0,03	0,01	0,01	0,04	0,008	0,01	0,07

Através da comparação existe a possibilidade de que no processo de alteração ocorra a perda quase total no gnaiss e no filito dos elementos Ca, Mg, Na e K logo no início do intemperismo. O conglomerado e o quartzito já apresentam teores baixos para esses elementos. Todos os resultados estão apresentados na tabela do apêndice A.

6.2. Elementos Traços e Terras Raras

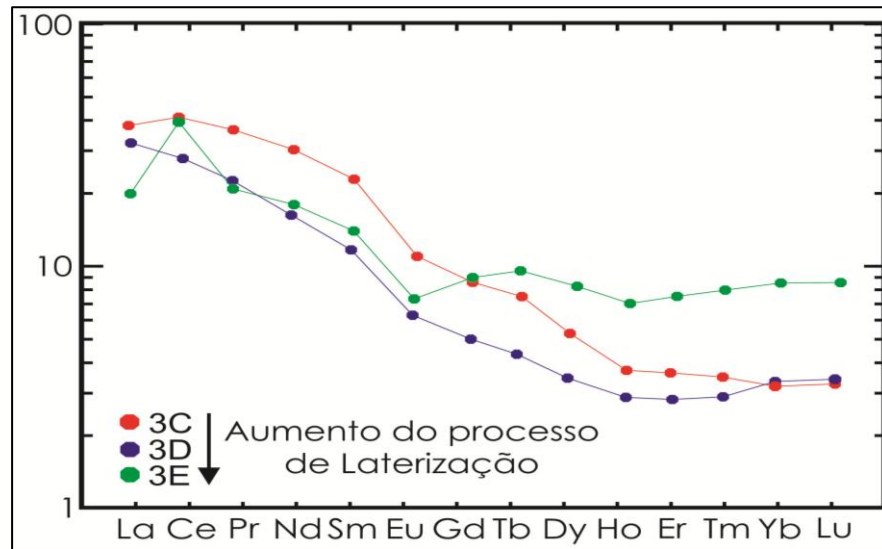
As amostras analisadas para esses elementos foram provenientes do ponto três (3), que é representado pelos gnaisses do Complexo Granja e foram realizadas apenas nas três amostras mais intemperizadas do ponto. Sendo assim, também foi necessária a utilização de resultados de geoquímica da litologia em questão, cedidas pela CPRM, para que pudesse ser feita alguma comparação acerca da variação dos elementos químicos.

O resultado das análises nas amostras intemperizadas foi comparado com o resultado de diferentes pontos de amostras de gnaisses, que por apresentarem valores próximos e características semelhantes no spider diagrama foi exposto no trabalho em questão apenas dois desses resultados.

Levando em consideração apenas as amostras intemperizadas, a série La-Lu apresenta padrões assimétricos observados no gráfico (Figura 61) é possível observar que as amostras apresentam valores enriquecidos em elementos terras raras (ERT) leves, mostrando assim que o material analisado é proveniente de crosta continental ou pode ser contaminado pela mesma.

O leve enriquecimento em ETR pesados quando comparado às amostras entre si é decorrente da possibilidade do material ser proveniente de processos mantélicos, já que materiais decorrentes do manto sempre apresentam tendência a enriquecer em ETR pesados, onde são os mais interessantes em termos de exploração.

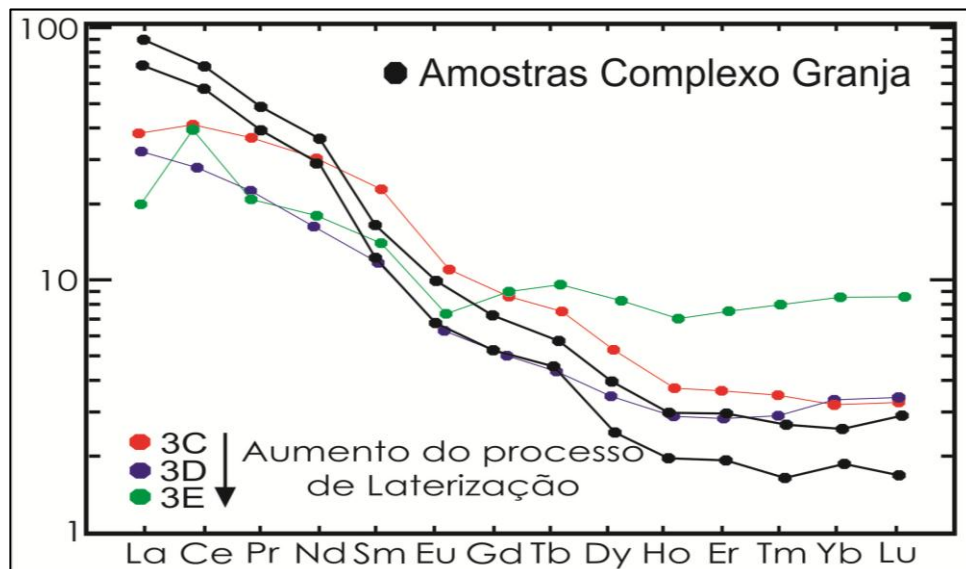
Figura 61 - Padrões de distribuição dos elementos terras raras em relação ao manto primordial (Sun e McDonough, 1989). Série La-Lu.



Fonte: Sun e McDonough, 1989.

É possível que esse enriquecimento seja ainda mais significativo, quando comparado com os resultados da geoquímica das amostras de gnaisses cedidas pela CPRM, representadas pelas linhas pretas no gráfico da figura 62 e na tabela 6.

Figura 62 - Padrões de distribuição dos elementos terras raras em relação ao manto primordial (Sun e McDonough, 1989). Série La-Lu representada também em preto as amostras do Complexo Granja cedida pela CPRM.



Fonte: Sun e McDonough, 1989.

Tabela 6 -Tabela apresentando os valores da geoquímica dos elementos terras raras, série lantânio - lutécio (valores em ppm).

Amostra	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
CPRM	44,5	92,4	9,6	34,9	4,95	1,02	2,8	0,4	1,69	0,29	0,84	0,11	0,82	0,11
CPRM	57,3	113,3	12,26	44,5	6,56	1,5	3,99	0,54	2,62	0,44	1,31	0,18	1,12	0,19
3 C	23,4	64,2	9,59	37,3	8,25	1,56	4,57	0,75	3,52	0,55	1,49	0,24	1,45	0,20
3 D	21,1	42,6	5,37	21,3	4,53	1,03	3,10	0,52	2,75	0,47	1,28	0,21	1,41	0,20
3 E	12,2	64,0	5,23	22,3	5,67	1,16	4,58	0,88	5,01	0,86	2,57	0,43	3,12	0,43

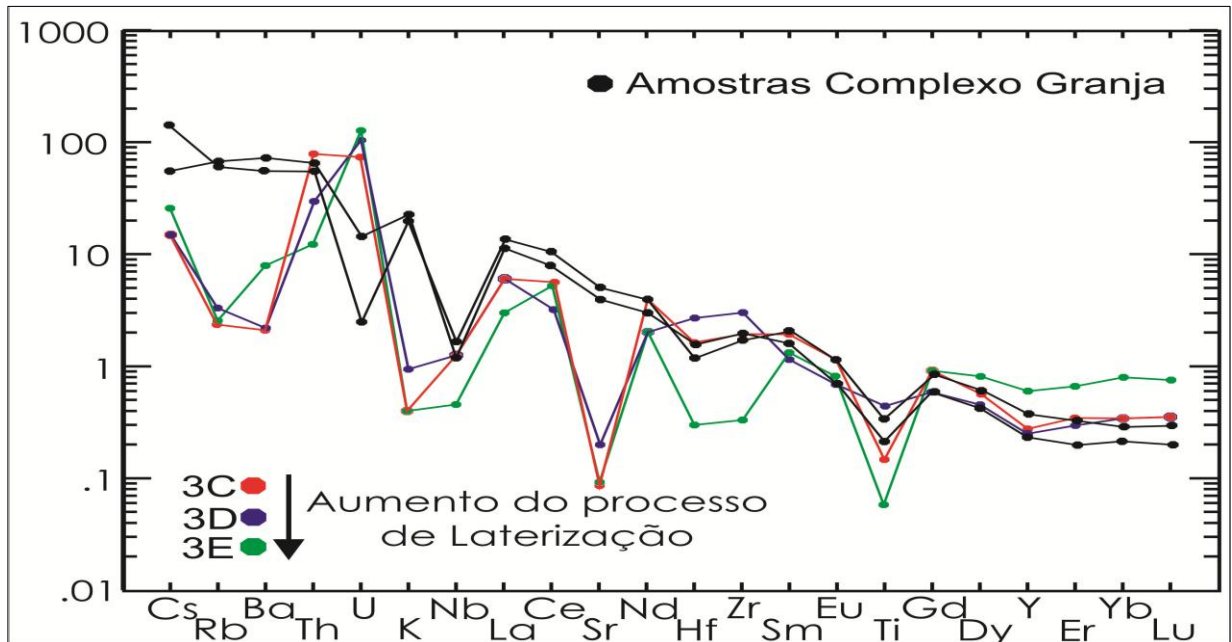
Discorrendo acerca do comportamento e mobilidade geoquímica dos elementos durante o intemperismo laterítico é comum que além dos elementos mais importantes já demonstrados, outros elementos possam ser parcialmente retidos em minerais neoformados (COSTA 1987), estes são representados pelo: arsênio, cobre, níquel, chumbo, antimônio e zinco. Através da tabela 7 que representa os valores desses elementos listados, é possível observar o crescimento nos valores do arsênio, cobre, chumbo e zinco. No caso do cobre e zinco esse crescimento foi mais representativo na amostra mais intemperizada.

Tabela 7 - Tabela apresentando os valores da geoquímica dos elementos que podem ser parcialmente retidos em minerais neoformados (valores em ppm).

Amostra	As	Cu	Ni	Pb	Sb	Zn
CPRM	<0,5	2,6	<20	1	<0,1	46
CPRM	<0,5	14,6	27	2,1	<0,1	51
3 C	79,2	55,4	<20	90,7	0,1	28
3 D	4,4	28,8	<20	20,5	<0,1	30
3 E	8,6	132,6	<20	83,9	0,1	251

Além desses elementos também pode-se observar na tabela do apêndice B um aumento nos teores de ouro (Au), cobalto (Co) e vanádio (V), o que é normal acontecer em processos de laterização nas zonas mais ferruginosas. O aumento do urânio (U) é representado também através do spider diagrama da figura 63, onde através do mesmo é possível observar as perdas nos teores dos elementos, sendo lixiviados através do aumento do processo de intemperismo.

Figura 63 - Spider Diagrama representando a distribuição dos elementos comprados com amostras do Complexo Granja cedidas pela CPRM .



Fonte: Sun & McDonough, 1989.

Nas amostras do ponto 2, é importante também levar em consideração o leve aumento nos teores de Y e um significativo aumento nos teores de Ni (Tabela 8), nas amostras mais intemperizadas ou crosta que juntamente com o aumento nos teores de P, Sr, Ba, Y, Sc e U, pode indicar a presença de fosfatos de cálcio-alumínio e a possibilidade de uma crosta aluminosa.

Nos resultados da tabela do apêndice A, os valores da amostra 2C chegam muito próximos aos valores estabelecidos por Sinha Roy (1967) e Karunakaran/Sinha Roy (1971) (apud NOGUEIRA JUNIOR 1985) para lateritas aluminosas. Como não foi realizado um estudo de geoquímica total da rocha nesse ponto, deve-se levantar a possibilidade para que um próximo estudo seja direcionado de forma mais atenciosa nessa questão.

Tabela 8: Tabela com os resultados litogeoquímicos das amostras 3C, 3D e 3E, realizadas no ponto 3.

				Ponto 3			
	Ponto 3			ppm	3C	3D	3E
%	3C	3D	3E				
SiO₂	38,24	10,23	4,95	Be	1	3	10
TiO₂	0,22	0,71	0,09	Sc	19	29	55
Al₂O₃	6,67	7,35	4,81	V	2531	417	788
Fe₂O₃	44,77	71	77,85	Co	3,3	5,3	47,2
MnO	<0.01	0,01	0,12	Ni	8,1	10,2	35,7
MgO	<0.01	0,02	0,03	Cu	55,4	28,8	132,6
CaO	0,03	0,07	0,1	Zn	28	30	251
Na₂O	<0.01	0,03	0,01	Ga	7,8	23,2	5,6
K₂O	0,05	0,12	0,05	As	79,2	4,4	8,6
P₂O₅	0,08	1,02	0,86	Se	5,7	0,7	<0.5
Cr₂O₃	0,024	0,01	0,011	Rb	2,7	3,7	2,8
LOI	9,5	9,3	10,9	Sr	12,2	26,5	14,0
Total	99,57	99,89	99,82	Y	8,6	8,0	19,8
				Zr	200,4	332,0	31,6
				Nb	4,4	4,9	1,8
				Mo	5,7	1,1	1,0
				Ag	<0.1	<0.1	0,6
				Cd	<0.1	<0.1	0,3
				Sn	<1	1	2
				Sb	0,1	<0.1	0,1
				Cs	0,3	0,2	0,3
				Ba	31	33	119
				Hf	5,2	8,2	0,8
				Ta	0,3	0,2	0,3
				W	4,3	1,1	10,5
				Au	4,3	0,7	2,3
				Hg	<0.01	<0.01	0,03
				Tl	<0.1	<0.1	<0.1
				Pb	90,7	20,5	83,9
				Bi	<0.1	<0.1	0,6
				Th	15,1	5,2	2,5
				U	5,6	7,6	11,1

				Ponto 3			
	Ponto 3			ppm	3C	3D	3E
ppm	3C	3D	3E				
La	23,4	21,1	12,2				
Ce	64,2	42,6	64,0				
Pr	9,59	5,37	5,23				
Nd	37,3	21,3	22,3				
Sm	8,25	4,53	5,67				
Eu	1,56	1,03	1,16				
Gd	4,57	3,10	4,58				
Tb	0,75	0,52	0,88				
Dy	3,52	2,75	5,01				
Ho	0,55	0,47	0,86				
Er	1,49	1,28	2,57				
Tm	0,24	0,21	0,43				
Yb	1,45	1,41	3,12				
Lu	0,20	0,20	0,43				

6.3. Resultados para o Sm/Nd

Aplicando a metodologia Sm\Nd nas lateritas visamos comparar três diferentes protólitos das mesmas. Os gnaisses do Complexo Granja (Ponto 3/Amostra 4, tabela 9) e os quartzitos e metapelitos do Grupo Martinópolis (Pontos 1 e 2/Amostras 2 e 4, tabela 9), respectivamente.

Tabela 9 - Tabela com os resultados do Sm/Nd de rochas intemperizadas sobre diferentes litologias.

Ponto	Amostra	Sm (ppm)	Nd (ppm)	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ($\pm 2\text{SE}$)	$\epsilon_{\text{Nd}}(0)$	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 gnaisse

Os valores obtidos mostram que as lateritas desenvolvidas sobre os gnaisses paleoproterozóicos do Complexo Granja onde os valores das idades modelo (T_{DM}) são mais antigos (CPRM, 2010), possuem T_{DM} 3.1.

Nas lateritas desenvolvidas sobre os metassedimentos Tonianos do Grupo Martinópolis os valores T_{DM} variam de 1,7 a 2,8.

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

Devido a pequena amostragem não podemos ter uma conclusão mais direta sobre o processo de intemperização e a variação isotópica do Sm\Nd. Os valores de T_{DM} como traçadores dos protólitos e suas anomalias metálicas nas suas respectivas lateritas, aparentemente não podem ser utilizados como meio de prospecção mineral.

Esta análise foi realizada devido às características da geologia onde diferentes mantos lateríticos são formados na região de Granja-CE. Porém para uma melhor conclusão na relação isotópica protólito\laterita, recomenda-se um estudo mais apurado, com uma quantidade maior de amostras para que possa fazer uma comparação e obter resultados coerentes.

7. EXTENSÃO DAS LATERITAS

As ocorrências de lateritas ocorrem em dimensão considerável na região. A figura 64 representa uma imagem aerogeofísica obtida através da gamaespectometria. A radiação gama é detectada na superfície terrestre e resulta da desintegração de elementos radioativos. A desintegração é decorrente da instabilidade do núcleo do átomo radioativo que libera energia pela emissão de partículas alfa, beta e radiação gama.

As principais fontes de radiação gama provêm da desintegração natural do potássio (${}_{40}\text{K}$), urânio (${}_{238}\text{U}$) e tório (${}_{232}\text{Th}$) que estão presentes na composição da maioria das rochas em superfície. Entretanto somente podem ser detectadas até aproximadamente 40 cm de profundidade.

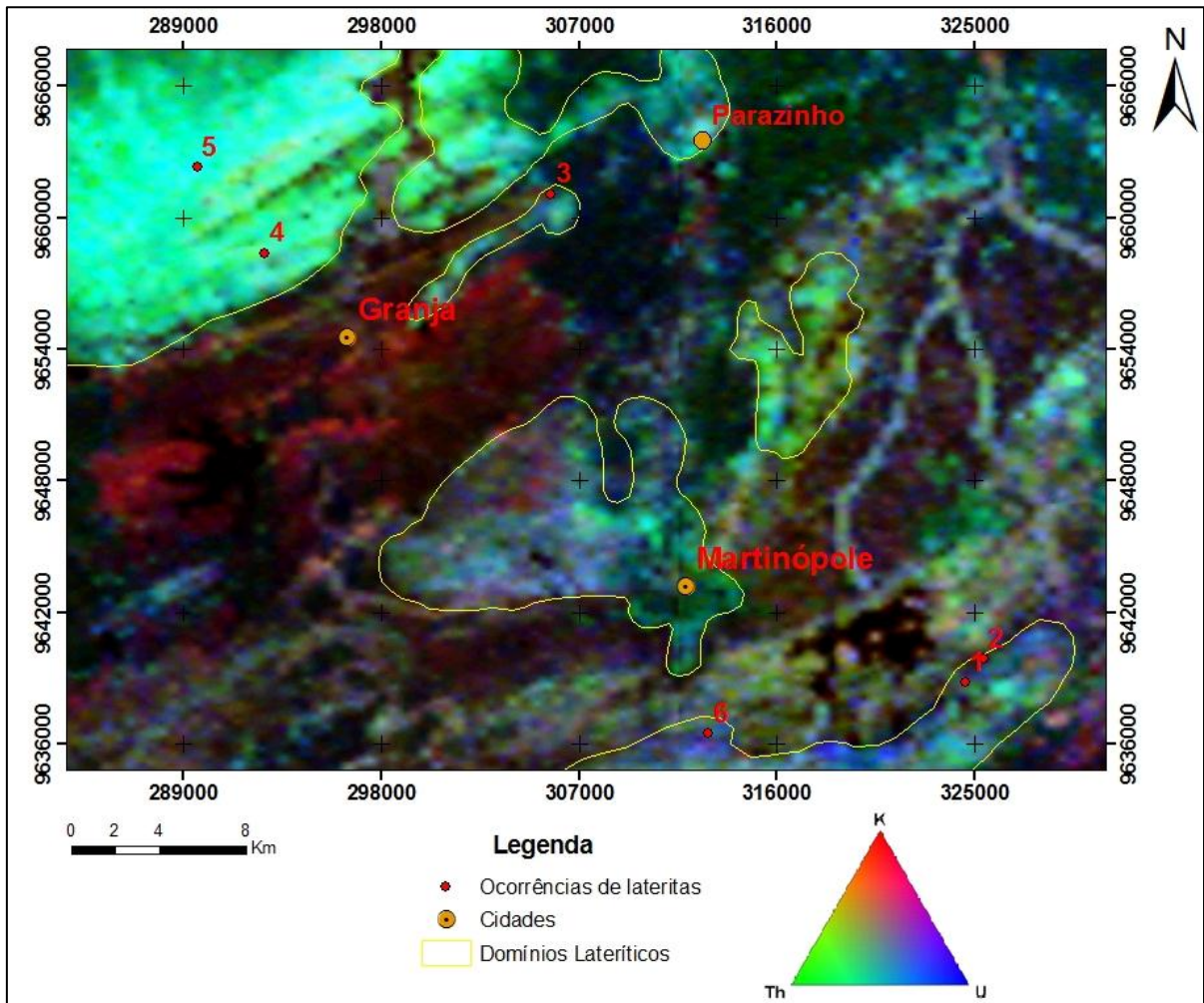
A contagem total de radiação é obtida pela medida de todos os raios gama dentro da janela energética de 0,41-2,81 MeV, estabelecida para a contagem total. Cada elemento possui uma janela onde as suas energias estão centradas: O potássio monitora os raios gama com valor de energia de 1,46 MeV pelo ${}_{40}\text{K}$. Os isótopos ${}^{238}\text{U}$ e ${}^{232}\text{Th}$ não emitem radiação gama, porém seus isótopos decorrentes do decaimento radioativo (${}^{214}\text{Bi}$ e ${}^{208}\text{Tl}$) emitem raios gama com energias centradas em 1,76 e 2,61 MeV, respectivamente (BLUM, 1999).

As emissões de radiação gama são influenciadas por diversos fatores, sendo sua medição prejudicada pela umidade, cobertura vegetal e intemperismo, que afetam não medidas por mobilização química e física. O relevo também pode influenciar as aferições devido a lixiviação dos materiais que podem ser misturados, confundindo a interpretação.

As cores brancas e esverdeadas na imagem representam lateritas, a parte limitada foi uma compilação entre a imagem e dados de campo dessa pesquisa e pesquisas anteriores, como exemplo, pontos de lateritas mapeados através do Projeto da Folha Granja, realizado em convênio com a UFC e CPRM.

É possível perceber que a faixa que apresenta a possibilidade de processos de laterização é muito representativa, sendo assim interessante realizar um estudo mais detalhado das características desse processo (Figura 2).

Figura 2 - Imagem aerogeofísica obtida por da gamaespectrometria. Os domínios representados pela linha amarela possivelmente são processos de intemperismo ligado a laterização.



8. CONCLUSÃO

O resultado geral, em todas as litologias consideradas, mostra que 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.

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

A abundância de ferro na forma de óxi-hidróxidos apresentados nos pontos situam-se nas rochas mais intemperizadas do perfil, em um processo de laterização é normal que o horizonte concrecionário apresentar-se como uma capa de concreção 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 desses teores e ter um valor médio do teor de Fe_2O_3 na capa laterítica.

Outra característica evidente do processo de laterização foi possível observar em lâmina onde os minerais de quartzo estavam envolvidos por óxidos e hidróxidos de ferro, sendo evidente o preenchimento de óxidos se agregando aos cristais de quartzo algumas vezes através das fraturas.

Os resultados de difração de raios X demonstraram que os principais óxidos envolvidos no processo são a hematita e goethita, também mostram que na formação da concreção o quartzo fica retido no limite da borda, não permanecendo presente no centro.

Quanto aos valores isotópicos do Sm\Nd devido à amostragem superficial não podemos ter uma conclusão mais direta sobre a influência dos protólitos como traçadores de anomalias metálicas nas suas respectivas lateritas.

É possível considerar que mesmo sendo alto o enriquecimento do Al em todos os pontos considerados, onde os teores desse elemento estimam aproximadamente 6 a 7% na rocha em processo de alteração, os valores de enriquecimento em Fe são muito significativos para exploração, podendo assim considerar a possibilidade de um processo de tratamento do alumínio.

Através do estudo realizado pode-se afirmar que existe uma capa de laterização ferruginosa com grande possibilidade de ser mineralizada. Porém, 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.

9. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F.F.M., HASUI, Y., BRITO NEVES, B.B., FUCK, R.A. 1977. **Províncias estruturais brasileiras**. Atas VIII Simpósio de Geologia do Nordeste. 363-391.
- ANTUNES, F.A. 2004. **Evolução Tectono-Estrutural do Campo de Xaréu (Sub-Bacia de Mundaú, Bacia do Ceará – NE do Brasil). Abordagem Multiescala e Pluriferramental**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 355p.
- BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; SANTOS, G. F. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais: fundamentos geológicos-geográficos, alteração química e física das rochas e relevo cárstico e dômico**. Santa Catarina: Ed. da UFSC, 1994.
- BLUM, M.L.B. 1999. **Processamento e Interpretação de Dados de Geofísica Aérea no Brasil Central e sua Aplicação à Geologia Regional e à Prospecção Mineral**. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 229 p.
- BRITO NEVES, B.B. 1983. **O mapa geológico do Nordeste oriental do Brasil, escala 1/1.000.000**. Tese de Livre Docência, IG-USP, 177p. São Paulo, SP.
- BRITO NEVES, B. B.; VAN SCHMUS, W. R.; SANTOS, E. J.; CAMPOS NETO, M. C.; KOZUCH, M. **O evento Cariris Velhos na Província Borborema**. Revista Brasileira de Geociências, v. 25, p. 279-296, 1995.
- BRITO NEVES, B.B., DOS SANTOS, E. J. e 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, Brazil, 151–182.
- BRITO NEVES, B. B.; CAMPOS NETO, M. C.; VAN SCHMUS, W. R.; FERNANDES, T. M. G.; SOUZA, S. L. **O terreno Alto Moxotó no leste da Paraíba (“Maciço Caldas Brandão”)**. Revista Brasileira de Geociências, v. 31, n. 2, p. 185-194, 2001.

BYRNE, W. **“Reverse Osmosis – A practical guide for industrial users”**. Tall Oaks Publishing, Inc., edition, USA, 2002.

CAVALCANTE, J. C.; FERREIRA, C. A.; ARMESTO, R. G. G.; MEDEIROS, M. F.; RAMALHO, R.; BRAUN, O. P. G.; BAPTISTA, M. B.; CUNHA, H. C. S.; DERZE, G. R. **Mapa Geológico do Estado do Ceará – Escala 1:500.000**. Fortaleza, Ministério das Minas e Energia/Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 1983.

CAVALCANTE, J. C. 1993. **Estratigrafia Precambriana do Estado do Ceará – Uma síntese**. In: Simp. Geol. do Nordeste. 15. Natal, 1993. Atas... Natal, Boi. Núcleo Nordeste da SBG. v. 13. p. 313-316.

CAVALCANTE, J. C. et al. **Mapa geológico do Estado do Ceará – Escala 1:500.000**. MME/CPRM. 2003.

CASSETI, Valter. **Geomorfologia**. [S.l.]: [2005]. Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/>>. Acesso em: 20/01/2012.

COSTA, M. L. 1987. **Mineralizações do tipo surpegênico em ambientes lateríticos**. Departamento de Geoquímica e Petrologia, Centro de Geociências. Universidade Federal do Pará. Belém, PA.

COSTA, M. L. 1991. **Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia**. Revista Brasileira de Geociências. Departamento de Geoquímica e Petrologia, Centro de Geociências. Universidade Federal do Pará. Belém, PA. 146-160p.

COSTA, M. L. 2007. **Introdução ao Intemperismo Laterítico e à Laterização**. Capítulo V do livro: PROSPECÇÃO GEOQUÍMICA DE DEPÓSITOS MINERAIS METÁLICOS, NÃO METÁLICOS, ÓLEO E GÁS. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geoquímica - SBGq / CPRM - Serviço Geológico do Brasil , p. 199-244.

COSTA, M. J. ; FRANÇA, J. B.; BACCIEGGA, I. F.; HABEKOST, C. R.; CRUZ, W. B. 1973. **Geologia da Bacia de Jaibaras; Ceará, Piauí e Maranhão**. Projeto Jaibaras DNPM/CPRM. Recife. Relatório Final (5 vol).

DELVIGNE, J. 1986 - **Micromorfologia de Alteração de Rochas**. São Paulo:USP, 160p.

FETTER, A.M.; SANTOS, T.J.S.dos; NOGUEIRA NETO, J.A., SCHMUS, W.R.V. 1995. **Geocronologia U/Pb em zircão e Sm/Nd em rocha total do estado do Ceará-Resultados iniciais**. In: Simp. Geol. do Nordeste. 16. Recife, 1995. Atas... Recife, Bol. Núcleo Nordeste da SBG. 14 (2), p. 418-422.

FETTER, A. H. 1999. **U/Pb and Sm/Dd Geochronological Constraints on the Crustal Framework and Geologic History of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brasil: Implications for the Assembly of Gondwana**. Department of Geology, Kansas University, Lawrence, Tese de Doutorado, 164p.

FONSECA, A. C. R. 2005. **Morfologia de rochas lateríticas de Morro das Balas, município de Formiga-MG**. Departamento de Solos da Universidade Federal de Lavras. Minas Gerais. Monografia. 46p.

FUNCEME – Fundação Cearense de Metodologia e Recursos Hídricos. 2002. Boletim diário de chuvas. Governo do Estado do Ceará. Fortaleza – Ce.

HOWARD T. E.; STANLEY B.. **The Crystal Structure Of Montroseite, A Vanadium Member Of The Diaspore Group**. Am. Mineral.,,38, 1242-1250.

IPECE – Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. 2002. **Perfil Básico Municipal – Uruoca**. Governo do Estado do Ceará. Fortaleza - CE.

IPECE – Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. 2009. **Perfil Básico Municipal – Uruoca**. Governo do Estado do Ceará. Fortaleza - CE.

KAHN, Henrique. **Difração de Raio X**. Artigo Técnico. Disponível em: http://www.angelfire.com/crazy3/qfl2308/1_multipart_xF8FF_2_DIFRACAO.pdf. Acesso em: 09/02/2012

MOREIRA, H.L. & OLIVEIRA, V.A. **Evolução e gênese de um Plintossolo Pétrico concrecionário êtrico argissólico no município de Ouro Verde de Goiás.** Revista Brasileira Ciências Solo, 32:1683-1690, 2008.

MABESSONE, J.M.; BEURLIN, K.; RAND, H.M. 1971. **Geologia da Bacia de Jaibaras (Ceará).** Universidade Federal de Pernambuco, Instituto de Geociências. Série B: Estudos e Pesquisas, 2:1-116.

NOGUEIRA NETO, J. A. 2000. **Evolução Geodinâmica das faixas granulíticas de Granja e Cariré, extremo noroeste da Província Borborema.** Tese de Doutorado. IGCE-UNESP inédito 171p.

NOGUEIRA JUNIOR, J. 1985. **Lateritas.** Boletim Técnico. Instituto de Geociências - USP. 46p.

OLIVEIRA, D. C. 1992. **Geologia do Gráben Martinópole, área de Campanário/ Paula Pessoa (Granja-CE). Implicações na evolução litoestratigráfica e tectonomagmática do noroeste do Ceará.** Revista Brasileira de Geociências. n 22 v.2: 143-156.

OLIVEIRA, D.C. 1987. **Contribuição ao Estudo da Geologia do Noroeste do Ceará - Mapeamento Geológico de uma Área ao Sul de Granja (CE).** Natal, DG/UFRN. 232 p. (Relatório de Graduação).

OLIVEIRA, Ariovaldo. **Espaço e tempo. Compreensão materialista dialética.** In: SANTOS, Milton (Org). Novos rumos da geografia brasileira. SP: Hucitec, 1982.

OLIVEIRA, E. P. 2006. **Caracterização bio-físico-químico-mineralógica e micromorfológica de um perfil de alteração de granitognaisse de Curitiba, PR.** Dissertação de Mestrado. PUC, Departamento de Engenharia Civil. 197 p.

PRAXEDES, I.F. 2011. **Contexto Geológico E Evolução Metamórfica Do Complexo Granja (Localidades De Morro Vermelho, Dr. Privat E Canto Salgado).** Monografia. Universidade Federa do Ceará. 106p.

PRADO, E. S.; MENDONÇA, J. C. G. S.; MORAIS, J. B. A.; MEDEIROS, M. E.; ASSUNÇÃO, P. R. S.; ANDRADE, V. A.; MEDEIROS, R. P. 1981. **Geologia da região NW do Estado do Ceará – Projeto Martinópole**. DNPM/CPRM – Série geologia básica 17 – Brasília – 59 pp, incluindo mapa.

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.p 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. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil. 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, 2001, Vol. 14: 33-48

SANTOS, T.J. & HACKSPACHER, P.C. 1992. **Geologia do Grupo Martinópole, noroeste do Ceará**. In: Cong. Bras. Geol., 37. São Paulo,1992. Anais. São Paulo, SBG. v.l. p. 298-299.

SANTOS, T.J.S. 1999. **Evolução tectônica e geocronológica do extremo noroeste da Província Borborema**. Curso de Pós-Graduação em Geociências – IGCE/UNESP. Tese de Doutorado, 186p.

SCHELLMANN, W. 1981 **Considerations on the definition and classification of laterites**. In: INT. SEMINAR ON LATERITIZATION PROCESSES, 1. Trivandrum, 1979. Proceedings... Trivandrum, Oxford & Ibh. p. 1-10.

SMALL, H. L. 1914. **Geologia e Suprimento d'água subterrânea no Piauí e parte do Ceará**. Ministério da Viação e Obras Públicas. Inspeção de Obras Contra as Secas.. Série I.D. Geologia. Rio de Janeiro. 169p (publicação 32).

SUN, S.S. & McDONOUGH, W.F. **Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes.** In: SAUDERS, M.J. Magmatism in the ocean basins. Londres, Geological Society Special Publ. 42, p. 313-345, 1989.

TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. 2003. **Decifrando a terra.** 2ª reimpressão, Oficina de Texto. São Paulo-SP.

TORQUATO, J.R.; NOGUEIRA NETO, J.de A. 1987. **Historiografia da Região de Dobramentos do Médio Coreau.** Revista Brasileira de Geociências, 1996, Vol. 26: 303-314.

TORQUATO, J.R.; PEDREIRA, L.H.S.T. ; NOGUEIRA NETO, J.de A. 1987. **Projeto Granja-Geologia local.** CNPq, Relatório final, Processo 408206/84-GL. Mimeografado. 81

TORQUATO, J.R. & PEDREIRA, L.H.S.T. 1994. **Considerações sobre a geologia da região de Granja-Martinópolis (CE).** In: Cong. Bras. Geol., 38. Camboriú, 1994. Anais... Camboriú, SBG. p. 239-240.

TORQUATO, J. R. & NOGUEIRA NETO, J. A. 1996. **Historiografia da Região de Dobramentos do Médio Coreau.** Revista Brasileira de Geociências. Fortaleza – CE. Vol.26(4):303-314.

TROMPETTE, R. 1994. **Geology of Western Gondwana 2.000-500 Ma. The Pan- African Brasiliano Amalgamation of South America and Adjacent África.** Rotterdam, Balkema. 366 p.

WEEKS A. D.; CISNEV E. A.; SHERWOOD A. M. **Montroseite, A New Vanadium Oxide From The Colorado Plateaus.** Artigo Técnico. Disponível em: http://www.minsocam.org/ammin/AM38/AM38_1235.pdf. Acesso em: 23/05/2012.

APÊNDICE (A)

Apêndice A: Tabela com a geoquímica das amostras apresentando todos os resultados.

	Ponto 1			Ponto 2				Ponto 3					Ponto 4	Ponto 5		Ponto 6	
	1A	1B	1C	2A	2B	2C	2D	3A	3B	3C	3D	3E	4A	5A	5B	6A	6B
%																	
SiO₂	76,16	17,26	25,77	92,22	90,75	51,67	15,53	94,23	75,69	38,24	10,23	4,95	83,52	86,25	31,95	83,73	54,98
TiO₂	0,02	0,85	0,76	0,04	0,03	0,43	0,04	<0,01	0,05	0,22	0,71	0,09	0,07	0,12	0,63	0,12	0,28
Al₂O₃	0,62	12,58	12,6	1,28	0,95	6,17	0,89	0,27	3,8	6,67	7,35	4,81	1	3,02	12,13	2,83	5,94
Fe₂O₃	19,58	56,68	52,93	4,33	6,04	34,69	73,9	4,84	16,41	44,77	71	77,85	13,12	7,1	44,71	9,62	31,5
MnO	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,01	0,46	0,02	0,01	<0,01	0,01	0,12	0,01	0,03	0,02	0,06	0,03
MgO	0,04	<0,01	0,1	0,1	0,07	<0,01	0,09	<0,01	0,01	<0,01	0,02	0,03	<0,01	0,31	0,02	0,31	0,1
CaO	0,06	0,01	0,08	0,03	0,08	<0,01	0,05	<0,01	0,02	0,03	0,07	0,1	<0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Na₂O	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	0,03	0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01
K₂O	0,14	0,01	0,31	0,29	0,08	0,02	<0,01	<0,01	0,11	0,05	0,12	0,05	<0,01	0,96	0,04	0,87	0,21
P₂O₅	0,29	0,24	0,22	0,05	0,05	0,1	0,11	0,02	0,08	0,08	1,02	0,86	0,03	0,06	0,12	0,05	0,07
Cr₂O₃	0,045	0,056	0,035	0,043	0,053	0,022	0,007	0,059	0,056	0,024	0,01	0,011	0,066	0,037	0,049	0,028	0,05
LOI	3	12	6,8	1,6	1,9	6,7	8,8	0,6	3,7	9,5	9,3	10,9	2,1	2,1	10,1	2,3	6,6
Total	99,98	99,8	99,69	100,01	100,01	99,88	99,91	100,04	99,97	99,57	99,89	99,82	99,93	99,98	99,83	99,98	99,86
ppm																	
Ba	6	8	42	44	28	20	<5	13	9	31	33	119	8	39	8	34	24
Sr	<2	11	15	4	<2	12	<2	5	2	12,2	26,5	14	<2	<2	5	<2	5
Y	12	10	10	3	4	7	18	<3	6	8,6	8	19,8	<3	13	6	22	10
Zr	21	228	102	18	11	452	53	<5	130	200,4	332	31,6	133	31	348	33	122
Sc	14	50	47	3	2	15	12	1	11	19	29	55	4	4	32	6	17
Nb	6	12	<5	<5	<5	6	<5	<5	<5	4,4	4,9	1,8	<5	<5	<5	6	<5
Ni	80	<20	31	<20	32	<20	131	<20	<20	<20	<20	<20	<20	36	<20	56	35

