



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

GUSTAVO RODRIGUES DE MORAES

**“CARACTERIZAÇÃO DE PERFIS LATERÍTICOS ATRAVÉS
DE DADOS GEOQUÍMICOS E AEROGEOFÍSICOS E SUA CORRELAÇÃO
COM AS PALEOSUPERFÍCIES NO CENTRO OESTE DE MINAS GERAIS”**

**CAMPINAS
2015**

NÚMERO: 291/2015

GUSTAVO RODRIGUES DE MORAES

**“CARACTERIZAÇÃO DE PERFIS LATERÍTICOS ATRAVÉS
DE DADOS GEOQUÍMICOS E AEROGEOFÍSICOS E SUA CORRELAÇÃO
COM AS PALEOSUPERFÍCIES NO CENTRO OESTE DE MINAS GERAIS”**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA AO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS DA UNICAMP PARA
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM
GEOGRAFIA NA ÁREA DE ANÁLISE
AMBIENTAL E DINÂMICA TERRITORIAL**

ORIENTADOR: PROF. DR. FRANCISCO SÉRGIO BERNARDES LADEIRA

COORIENTADORA: PROFA. DRA. ADALENE MOREIRA SILVA

**ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL
DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELO ALUNO
GUSTAVO RODRIGUES DE MORAES E PELO ORIENTADOR
PROF. DR. FRANCISCO SÉRGIO BERNARDES LADEIRA**

CAMPINAS

2015

Agência(s) de fomento e nº(s) de processo(s): FAPESP, 2012/04779-0

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca do Instituto de Geociências
Márcia A. Schenfel Baena - CRB 8/3655

M791c Moraes, Gustavo Rodrigues de, 1990-
Caracterização de perfis lateríticos através de dados geoquímicos e aerogeofísicos e sua correlação com as paleosuperfícies no centro-oeste de Minas Gerais / Gustavo Rodrigues de Moraes. – Campinas, SP : [s.n.], 2015.

Orientador: Francisco Sérgio Bernardes Ladeira.

Coorientador: Adalene Moreira Silva.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências.

1. Superfícies. 2. Geomorfologia. 3. Laterita. 4. Erosão. 5. Gamaespectrometria. I. Ladeira, Francisco Sérgio Bernardes, 1965-. II. Silva, Adalene Moreira. III. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Geociências. IV. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Lateritic profiles characterization through geochemical and airborne geophysical data and its correlation with the paleosurfaces in the center west of Minas Gerais

Palavras-chave em inglês:

Surfaces

Geomorphology

Laterite

Erosion

Gammaespectrometry

Área de concentração: Análise Ambiental e Dinâmica Territorial

Titulação: Mestre em Geografia

Banca examinadora:

Francisco Sérgio Bernardes Ladeira [Orientador]

Emilson Pereira Leite

Fabiano Tomazini da Conceição

Data de defesa: 30-10-2015

Programa de Pós-Graduação: Geografia



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ÁREA DE ANÁLISE AMBIENTAL E DINÂMICA TERRITORIAL

AUTOR: Gustavo Rodrigues de Moraes

“CARACTERIZAÇÃO DE PERFIS LATERÍTICOS ATRAVÉS DE TÉCNICAS
GEOQUÍMICAS E AEROGEOFÍSICAS (AEROGAMAESPECTROMETRIA E
AEROMAGNETOMETRIA) SUA CORRELAÇÃO COM AS PALEOSUPERFÍCIES NO
CENTRO OESTE MINEIRO”

ORIENTADOR: Prof. Dr. Francisco Sérgio Bernardes Ladeira

COORIENTADORA: Profa. Dra. Adalene Moreira Silva

Aprovado em: 30 / 10 / 2015

EXAMINADORES:

Prof. Dr. Francisco Sérgio Bernardes Ladeira - Presidente

Prof. Dr. Fabiano Tomazini da Conceição

Prof. Dr. Emilson Pereira Leite

***A Ata de Defesa assinada pelos membros da Comissão Examinadora, consta
no processo de vida acadêmica do aluno.***

Campinas, 30 de outubro de 2015.

***Dedico à minha mãe, Ana Maria, que sempre acreditou em mim
e não mediu esforços para que essa etapa fosse realizada.***

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço ao meu orientador, Chico Ladeira, pelas ajudas e discussões ao longo da pesquisa, como também pela paciência e discernimento pelo meu tempo.

A querida amiga Fernanda Leonardi, sem a qual, não estaria apresentando esse trabalho. Pelas ajudas, conversas e orientações quando precisei.

A professora Cenira Lupinacci da Cunha, pelas bibliografias e auxílios no destarte da pesquisa.

Ao professor Fabiano Tomazini pela orientação no desenvolver do projeto.

A colega Thaís Carrino, a qual sempre teve sede de conhecimento e ajudou-me a descobrir novos caminhos no trabalho acadêmico.

A professora e coorientadora Adalene Moreira Silva, sempre meiga e solícita, no desenvolvimento e descobrimento de novas técnicas.

Aos amigos e colegas da Rep Nuvem, que sempre estiveram presentes nos momentos de descontração, Ruan, Allan, Diego, Rafahel, Flávio, Adriana, Bete, Jack e Sandrinha.

Ao querido amigo e companheiro, Marcos Vinícius (Vini), que nas horas mais difíceis soube a coisa certa para se dizer e o momento correto de se calar.

Aos amigos que se encontram longe e os que estão perto, como a Mireille, Manu, Mayra, Paola, Xing, Matheus (Choppipa), Edmar, Ju (Kacyumara) e Bruna.

A querida e inesquecível Grá, Graubi, Grauben Horst, a qual sempre me incentivou e nunca deixou a peteca cair, mesmo estando longe.

Aos meus avós que sempre foram um porto seguro: Mãe Véia (in memoriam), Pai Véio (in memoriam), Vô Dito (in memoriam) e Vó Du.

Aos meus pais, Valdir e Ana Maria, especialmente minha mãe, que sempre me incentivaram e apoiaram nas escolhas da vida e meu irmão Eduardo, o futuro geógrafo da família.

A agência de fomento FAPESP, sem a qual, não existiria verba, conseqüentemente pesquisa.

Ao Instituto de Geociências, como também as secretárias Val, Gorete e o secretário Valdir.

Aos colegas de pós que me receberam, como também os colegas do grupo de pesquisa, Roberta, Bob, Marina, Cassiano, Danilo, Bel, Fernanda, Nathália e Sâmia.

E as sete linhas, que sempre trabalharam por mim, abrindo os caminhos e entaves do destino. Axé!

“Quem não se movimenta não sente as correntes que o prendem”.

Rosa Luxemburgo

CARACTERIZAÇÃO DE PERFIS LATERÍTICOS ATRAVÉS DE DADOS GEOQUÍMICOS E AEROGEOFÍSICOS E SUA CORRELAÇÃO COM AS PALEOSUPERFÍCIES NO CENTRO-OESTE DE MINAS GERAIS

RESUMO

O modelado terrestre brasileiro passou por várias mudanças climáticas, ação tectônica, bem como por vários processos denudacionais. Entre esses se encontram os ciclos erosivos de aplainamento que geraram as paleosuperfícies brasileiras. Vários autores tentaram identificar essas superfícies geomórficas e seus pedimentos ou depósitos correlativos. Porém, há controvérsias e informações distintas na classificação das superfícies de aplainamento do Brasil. Alguns teóricos consideram a ocorrência da mesma pela tectônica, enquanto outros consideram a ocorrência devido ao clima. Sendo assim, esse trabalho se preocupou em identificar a superfície geomórfica associada a perfis lateríticos de ferro no centro oeste do estado de Minas Gerais, utilizando-se de técnicas aerogeofísicas, geoquímicas e de campo, correlacionando-as para entender os processos que permitiram sua gênese.

Enfim, chegou-se a conclusão que: os ciclos de aplainamento ocorrem desde quando a América do Sul e África eram juntas; que o suposto Ciclo Sul-Americano, de aplainamento, afetou grande parte do Brasil continental, gerando superfícies de aplainamento nas cotas entre 1000 e 1100 metros em relação ao nível do mar e que esses abatimentos do relevo permitiram a formação indistinta dos perfis lateríticos de ferro ao longo do Brasil oriental, através de processos geoquímicos semelhantes, mesmo estando sobre materiais de origem diferentes. Percebeu-se que esses grandes perfis de alteração, em sua maioria, são de matriz ferruginosa ou silicosa e que a integração de dados geoquímicos e geofísicos é de extrema importância, pois foi possível o mapeamento dessas superfícies associadas aos ferricretes.

PALAVRAS-CHAVE: Superfícies, Geomorfologia, Laterita, Erosão, Gamaespectrometria.

LATERITIC PROFILES CHARACTERIZATION THROUGH GEOCHEMICAL AND AIRBORNE GEOPHYSICAL DATA AND ITS CORRELATION WITH THE PALEOSURFACES IN THE CENTER WEST OF MINAS GERAIS

ABSTRACT

The Brazilian modeled land went through several climate changes, tectonic action, as well as several denudation processes. Among these are the erosive cycles of planning that generated the Brazilian paleosurfaces. Several authors have attempted to identify these geomorphic surfaces and their pediments or correlative deposits. However, there are controversies and different information on the classification of planning surfaces of Brazil. Some theorists consider the occurrence thereof by tectonics, while others consider the occurrence due to the weather. Thus, this work searched to identify surface geomorphic associated with iron lateritic profiles in the Midwest of Minas Gerais, using the airborne geophysical, geochemical and field techniques, correlating all of them to understand the processes that allowed its genesis.

Finally, it can be concluded that: the planning cycles occur from when South America and Africa were together; that the alleged South American Cycle planning affected much of the continental Brazil, generating planning surfaces in quotas between 1000 and 1100 meters over sea level and that such relief rebates allowed indistinct formation of iron lateritic profiles along the eastern Brazil, through similar geochemical processes, even though they are on different source materials. It was noticed that these big change profiles, mostly are ferruginous or siliceous matrix and that the integration of geochemical and geophysical data is of utmost importance because it made possible the mapping of those areas associated with ferricretes.

KEYWORDS: Surfaces, Geomorphology, Laterit, Erosion, Gammaspectrometry.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	17
2. OBJETIVO	19
3. CARACTERIZAÇÃO FIOIOGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO	20
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	26
4.1 – Os ciclos de aplainamento brasileiro e as paleosuperfícies	26
4.2 Aerogeofísica.....	33
4.2.1 Aerogamaespectrometria	33
4.3 – Perfis lateríticos	38
5. MATERIAIS E MÉTODOS	44
5.1 – Amostragem e coleta dos materiais.....	44
5.2 – Espectrometria de Fluorescência de Raios – X (FRX)	44
5.3 – Aerogamaespectrometria	46
5.3.1 – Produtos derivados dos dados gamaespectrométricos.....	47
5.4 – Macromorfologia	47
5.5 – Micromorfologia	48
6. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	49
6.1 - Macromorfologia.....	49
6.1.1- Perfil Uberaba, MG.	49
6.1.2 - Perfil Patrocínio, MG.	61
6.1.3 – Perfil Lagoa Formosa, MG.	72
6.2 – Características geoquímicas e micromorfológicas.....	79
6.3 – Realce dos dados aerogeofísicos e geração de produtos relevantes para seleção de anomalias correlacionáveis nas coberturas lateríticas	92
6.4 Dados geomorfológicos	96
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	100
8. REFERÊNCIAS	102

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização das áreas de estudo.	20
Figura 2 - Os mapas ilustram a localização dos pontos e áreas de trabalho.	22
Figura 3 - Diques máficos de MG e suas respectivas idades. Fonte Chaves (2013).	23
Figura 4 - Imagem do satélite Landsat - Google Earth. Identificação das três áreas pilotos: Uberaba (ponto 1 e 2), Patrocínio e Lagoa Formosa – Visada superior.	23
Figura 5 – Visada lateral do contato entre a bacia sedimentar do Paraná e a faixa orógena Brasília (Satélite Landsat - Google Earth), representado pela linha amarela...	24
Figura 6 - Visada lateral do contato entre a faixa orógena Brasília e a bacia sedimentar do São Francisco (Satélite Landsat – Google Earth), representado pela linha amarela.....	25
Figura 7 - A figura A mostra os modelos de degradação do relevo back-wearing proposto por Penck, e a figura B, down-wearing proposto por Davis (peneplanos). Já a figura C demonstra o modelo proposto por King (pediplano). Fonte Casseti (2001)...	26
Figura 8 - Modelo de evolução de vertentes segundo o modelo de Davis. Fonte: Casseti (2001).....	27
Figura 9 - Modelo de evolução do relevo segundo Penck. Fonte: Salgado, 2007.....	28
Figura 10 - Janela de contagem dos radioelementos, através de um detector de iodeto de sódio, Minty (1997).	34
Figura 11 - A figura mostra o comportamento dos radioelementos K,Th e U versus o teor de sílica dos principais tipos rochosos encontrados na natureza. (Blum 1999).	36
Figura 12 - Interações sofridas pela radiação gama. Extraído de: Minty (1997).	37
Figura 13 – Distribuição global do fenômeno de laterização. Fonte: Bardossy & Aleva apud Ferrari (1996).	39
Figura 14 - Diagrama ternário para classificação das lateritas. Fonte: Schellman (1982).....	40
Figura 15 - Perfil esquemático da primeira área piloto, ponto 1, em Uberaba, MG.....	49
Figura 16 - Perfil de coleta em Uberaba, MG – área piloto número 1 (primeiro ponto)..	50
Figura 17 - Perfil esquemático da primeira área piloto, ponto 2, em Uberaba, MG.....	50
Figura 18 - Perfil de coleta em Uberaba, MG – área piloto número 1 (segundo ponto).	51
Figura 19– Horizonte de coleta U4A e U4B com colorações distintas, perfil em Uberaba, MG – área piloto 1 (primeiro ponto)	52
Figura 20 – Linha de pedra do primeiro perfil (área piloto 1), Uberaba, MG.	53
Figura 21 – Linha de pedra do segundo perfil (área piloto 1), Uberaba, MG.	53

Figura 22 - Materiais coletados no primeiro perfil (área piloto 1), Uberaba, MG.	55
Figura 23 - Materiais coletados no segundo perfil (área piloto 1), Uberaba, MG.	56
Figura 24 - Superfície ao fundo da imagem, na primeira área piloto, em Uberaba, MG.	57
Figura 25 - Superfície erosiva correspondente, na primeira área piloto, em Uberaba, MG.	57
Figura 26 - Perfil esquemático do soerguimento de Alto Paranaíba (SAP), na segunda área piloto, em Patrocínio, MG.	61
Figura 27 - Topo do Chapadão do Ferro, ao fundo superfície extremamente aplainada, segunda área piloto, em Lagoa Formosa, MG.	62
Figura 28 – Ferricrete sendo utilizado como cascalhos em estradas vicinais, segunda área piloto, em Lagoa Formosa, MG.	63
Figura 29 - Materiais de matriz arenosa encontrados no morro, segunda área piloto, em Lagoa Formosa, MG.	64
Figura 30 - Materiais de matriz arenosa encontrados no morro, segunda área piloto, em Lagoa Formosa, MG.	64
Figura 31 – Ferricretes em grandes blocos ou em vertentes, segunda área piloto, em Lagoa Formosa, MG.	65
Figura 32 – Exposições com alta atividade biológica, segunda área piloto, em Lagoa Formosa, MG.	66
Figura 33 – Afloramento alcalino de Serra Negra, segunda área piloto, em Lagoa Formosa, MG.	66
Figura 34 – Afloramento alcalino de Serra Negra com presença de regolito no sopé da vertente, segunda área piloto, em Lagoa Formosa, MG.	67
Figura 35 - Perfil esquemático da terceira área piloto, em Lagoa Formosa, MG.	72
Figura 36 - Horizontes com coloração distinta (LF 5-A e LF5-B), segunda área piloto, em Lagoa Formosa, MG.	73
Figura 37 - Parte do perfil de coleta, segunda área piloto, em Lagoa Formosa, MG.	73
Figura 38 - Paleosuperfície, segunda área piloto, em Lagoa Formosa, MG.	74
Figura 39 - Clastro de quartzito encontrado no perfil laterítico, terceira área piloto, em Lagoa Formosa, MG.	74
Figura 40 - Crosta laterítica, com marcas de oxirredução, coletado na terceira área piloto, em Lagoa Formosa, MG.	75

Figura 41 - Cutãs (Argila eluvial), indicadas pelas setas avermelhadas e poros fissurais indicados pelas setas brancas. Objetivo 10 μm	79
Figura 42 - Grãos de quartzo alterado envolto por plasma omnissépica. Objetivo 2,5 μm	80
Figura 43 - Grãos de quartzo corroído, indicado por setas. Objetivo 2,5 μm	81
Figura 44 - Pedalidade de desenvolvimento moderado. Objetivo 10 μm	82
Figura 45 – Diagrama ternário da concentração de óxidos de silício, alumínio e ferro, primeira área piloto, em Uberaba, MG.	85
Figura 46 - Diagrama ternário da concentração de óxidos de silício, alumínio e ferro, da segunda, área piloto, em Patrocínio, MG.	88
Figura 47 - Diagrama ternário da concentração de óxidos de silício, alumínio e ferro, da terceira, área piloto, em Lagoa Formosa, MG.	90
Figura 48 - Diagrama ternário com a concentração dos óxidos de silício, ferro e alumínio, das três áreas pilotos. Uberaba em vermelho. Patrocínio em azul. Lagoa Formosa em verde, MG.	91
Figura 49 - Imagem ternária em falsa cor no padrão RGB: K, eTh e eU nas cores vermelho, verde e azul respectivamente.	92
Figura 50 - Imagem ternária em falsa cor no padrão CMY. K, eTh e eU nas cores ciano, magenta e amarelo, respectivamente.	93
Figura 51 - Coberturas detrítico-lateríticas mapeadas com base em um mapa gamaespectrométrico. Imagem ternária em falsa cor no padrão RGB: K, eTh e eU nas cores vermelho, verde e azul respectivamente.	95
Figura 52 - Perfil topográfico-geológico mostrando as três áreas piloto. Perfil na orientação SW-NE, MG.	97
Figura 53 – Perfil topográfico entre Uberaba e Patrocínio, MG.	98
Figura 54 — Perfil topográfico entre Patrocínio e Lagoa Formosa, MG.	99

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Cronologia das superfícies de aplainamento do Planalto SE Brasileiro segundo os seguintes autores: De Martonne (1943); Freitas (1951); King (1956); Barbosa (1959); Ab'Sáber (1962); Bigarella et al. (1965); Braun (1971); Valadão (1998) – modificado de Meis et al.1982 por SILVA, 2009.	32
Quadro 2 – Análises macromorfológicas dos materiais coletados em Uberaba, MG.....	58
Quadro 3 - Análises macromorfológicas dos materiais coletados em Uberaba, MG.....	59
Quadro 4 - Análises macromorfológicas dos materiais coletados em Uberaba, MG.....	60
Quadro 5 - Análises macromorfológicas dos materiais coletados em Patrocínio, MG. ..	68
Quadro 6 - Análises macromorfológicas dos materiais coletados em Patrocínio, MG. ..	69
Quadro 7 - Análises macromorfológicas dos materiais coletados em Patrocínio, MG. ..	70
Quadro 8 - Análises macromorfológicas dos materiais coletados, em Lagoa Formosa, MG.	76
Quadro 9 - Análises macromorfológicas dos materiais coletados, em Lagoa Formosa, MG.	77

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Fluorescência de Raios-X das amostras do primeiro perfil, da primeira área piloto – Uberaba, MG.	83
Tabela 2 - Fluorescência de Raios-X das amostras da primeira área piloto – Uberaba, MG.	84
Tabela 3 - Fluorescência de Raios-X das amostras da segunda área piloto – Patrocínio, MG.	86
Tabela 4 - Fluorescência de Raios-X das amostras da segunda área piloto – Patrocínio, MG.	87
Tabela 5 - Fluorescência de Raios-X das amostras da terceira área piloto – Lagoa Formosa, MG.	89

1. INTRODUÇÃO

O planeta Terra, com seus quase cinco bilhões de anos, já passou por vários processos de formação e destruição do relevo, tanto por processos endógenos, como as epirogêneses e orogêneses, quanto por processos exógenos de evolução do relevo.

O Brasil, por ser um país de extensão continental, possui diversas formas de relevo, que sofreram com os processos erosivos e os paleoclimas. Estão entre essas as denominadas superfícies de aplainamento ou paleosuperfícies. Consequentes de ciclos de aplainamento, que horizontalizaram completamente ou parcialmente o modelado terrestre.

Até a década de 60, essas superfícies denominadas geomórficas eram muito estudadas e procurava-se fazer uma reconstituição paleoambiental, elucidando os processos paleogeomorfológicos, paleopedológicos e paleoclimas que atuaram no Brasil, através do estudo das mesmas. Porém, esses estudos tiveram menos relevância por um tempo e novamente estão ganhando importância na academia brasileira. Trabalhos recentes com enfoque neste tema podem ser destacados, tais como: Bigarella et al. (2003), Leonardi (2007), Valadão (2009), entre outros.

Um dos grandes problemas elencados para se entender estas paleosuperfícies, é que elas eram anteriormente associadas somente a níveis altimétricos. Atualmente, o estudo das mesmas tornou-se mais amplo e são utilizados diversos métodos como estratigrafia, cronologia, entre outros, e essas superfícies são estudadas relacionando seus depósitos correlatos, os quais na maioria das vezes se dão por perfis de alteração, como ferricretes, alucretes e perfis lateríticos de outros minerais.

Considerando que os perfis lateríticos de ferro ou de alumínio se formaram durante longo período de estabilidade tectônica, ambiente este deixado ao final do aplainamento (Gondwana e Sul-americana, principalmente), os perfis lateríticos servem como marco cronoestratigráfico, tornando-se possível a identificação destas paleosuperfícies (LEONARDI, 2007). Portanto, este trabalho se propõe com a caracterização das superfícies de aplainamento do sudeste brasileiro, especificamente no estado de Minas Gerais, na porção centro oeste, para subsidiar posteriores pesquisas geomorfológicas e pedológicas referentes a esse assunto.

As três áreas piloto selecionadas correspondem a três condições distintas em termos de evolução geomorfológica e geológica, sendo que primeira área piloto, na cidade de Uberaba, posiciona-se na Bacia Sedimentar do Paraná. A segunda área piloto, na cidade de Patrocínio, conhecido como Chapadão do Ferro, posiciona-se na Faixa Brasília, enquanto que a terceira área piloto, na cidade de Lagoa Formosa, está na Bacia Sedimentar do São Francisco. A análise engloba três áreas com histórias morfoestruturais distintas e bem conhecidas na literatura até o Cretáceo Superior.

Acredita-se que até o Cretáceo Superior a segunda área, conhecida como Chapadão do Ferro, funcionava como um grande interflúvio divisor de sedimentos entre as bacias sedimentares do Paraná e do São Francisco, isto pode ser indicado pelas direções de fluxos de sedimentos nas duas bacias (BATEZELLI, 2015) e por corresponder a área de embasamento entre as duas bacias. Entretanto, com os ciclos de aplainamento brasileiros essa área foi aplainada e coberturas detrítico-lateríticas se formaram nesses três unidades geológicas distintas.

Assim, o presente trabalho tem como meta entender a evolução geomorfológica e inferir se as coberturas lateríticas foram formadas em um mesmo período. Pretende-se, ainda analisar se o material pedológico é o mesmo, ou é diferente em cada bacia, como também na faixa orógena, de tal forma que a tentativa é levantar evidências para discutir se aquelas diferenças geomorfológicas, bem caracterizadas até o Cretáceo Superior, continuaram, ou não, até o Cenozóico. Para tanto, aplicou-se técnicas geoquímicas, como a Espectrometria de Fluorescência de Raios-X (FRX), a qual tem relevância central no trabalho, pois através da análise geoquímica é possível entender o ambiente de formação dos perfis lateríticos, a concentração dos elementos principais que constituem os ferricretes e correlacionar os perfis das diferentes áreas geomorfológicas.

Além, de técnicas inovadoras no âmbito geográfico, como a aerogeofísica, com destaque para a aerogamaespectrometria, utilizando o estado da arte em termos do processamento e interpretação (MINTY 2011, DICKSON & SCOTT 1997, TAYLOR 2002, WILFORD 2012). Essa nova ferramenta pode auxiliar no mapeamento de coberturas detrítico-lateríticas, as quais se formaram indistintamente no estado de Minas Gerais, e que possuem uma característica em comum: as superfícies aplainadas.

2. OBJETIVO

Esse trabalho tem como objetivo principal a caracterização de perfis lateríticos de ferro associados às paleosuperfícies na porção centro-oeste de Minas Gerais, utilizando técnicas geoquímicas e aerogeofísicas, em condições geológicas e geomorfológicas distintas. Assim, o trabalho busca entender os processos denudacionais, paleoclimáticos e paleopedológicos que ocorreram no passado e estão preservados atualmente.

Para que esse objetivo fosse alcançado foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- Caracterização dos perfis lateríticos em três áreas pilotos;
- Definir possíveis correlações entre estes perfis utilizando as técnicas de geoquímica (Fluorescência de Raios-X), geofísica (Aerogamaespectrometria);
- Testar a viabilidade da integração de dados aerogeofísicos (aerogamaespectrometria), com dados geoquímicos, para a identificação e possível espacialização dos perfis lateríticos;
- Realizar interpretações paleoambientais, especialmente de cunho climático e geomorfológico, do significado destes perfis.

Apesar das cotas altimétricas possuírem grande semelhança, o contexto geomorfológico difere já que os ambientes são distintos. A primeira área piloto, no município de Uberaba, aos 957 metros em relação ao nível do mar (ponto 1) e 870 metros (ponto 2), localizado na Bacia Sedimentar do Paraná faz parte dos Domínios dos Chapadões Tropicais do Brasil Central (AB'SÁBER, 2003) inserido na subunidade dos Planaltos e Chapadas da Bacia Sedimentar do Paraná (RADAM BRASIL, 1983), com altimetrias variando entre 350 a 1000 m. Segundo Batezelli (2003), os basaltos da Formação Serra Geral de idade cretácica inferior e arenitos da Formação Marília de idade cretácica superior correspondem aos principais litotipos do Triângulo Mineiro.

Para Baccaro (1991) o relevo da região é dividido em quatro categorias: **área de relevo intensamente dissecado** onde se encontram basaltos da formação Serra Geral e rochas do Grupo Araxá; **área do relevo medianamente dissecado** que possuem topos entre 750 a 900 metros, com arenitos da Formação Adamantina sotopostos por basaltos da Formação Serra Geral, dos quais muitos são recobertos por colúvios; **área de relevo residual** correspondente às áreas pouco mais elevadas com altitudes médias em torno de 800 e 900 metros, compostas por arenitos da Formação Marília e rochas cimentadas por carbonatos de cálcio e; **áreas elevadas de cimeira** entre 950 e 1050 metros com topos planos, amplos e largos que se caracterizam por vertentes de baixa declividade sustentadas por rochas da Formação Marília recapeadas por sedimentos cenozóicos.

A Figura 2 demonstra as três áreas pilotos, onde foram realizadas as coletas das amostras.

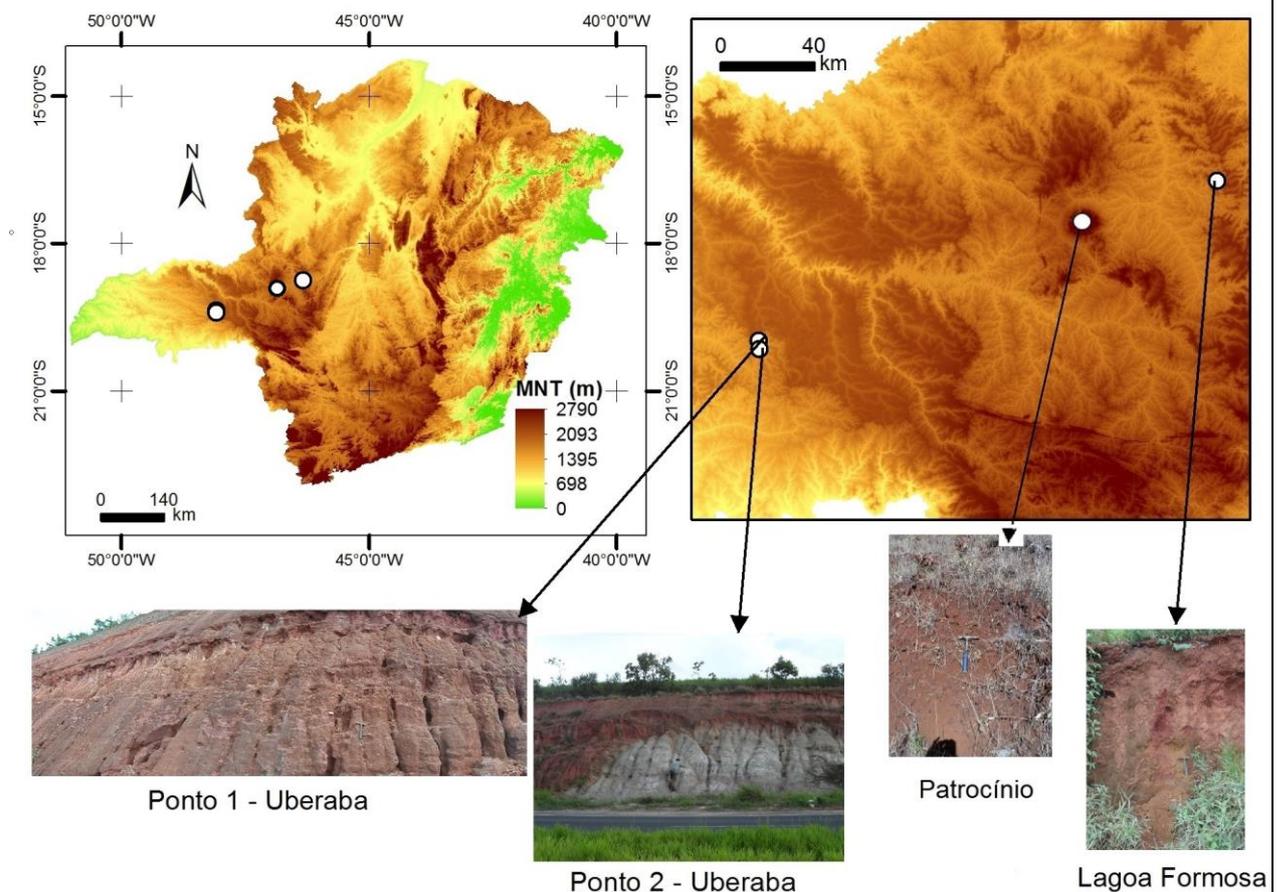


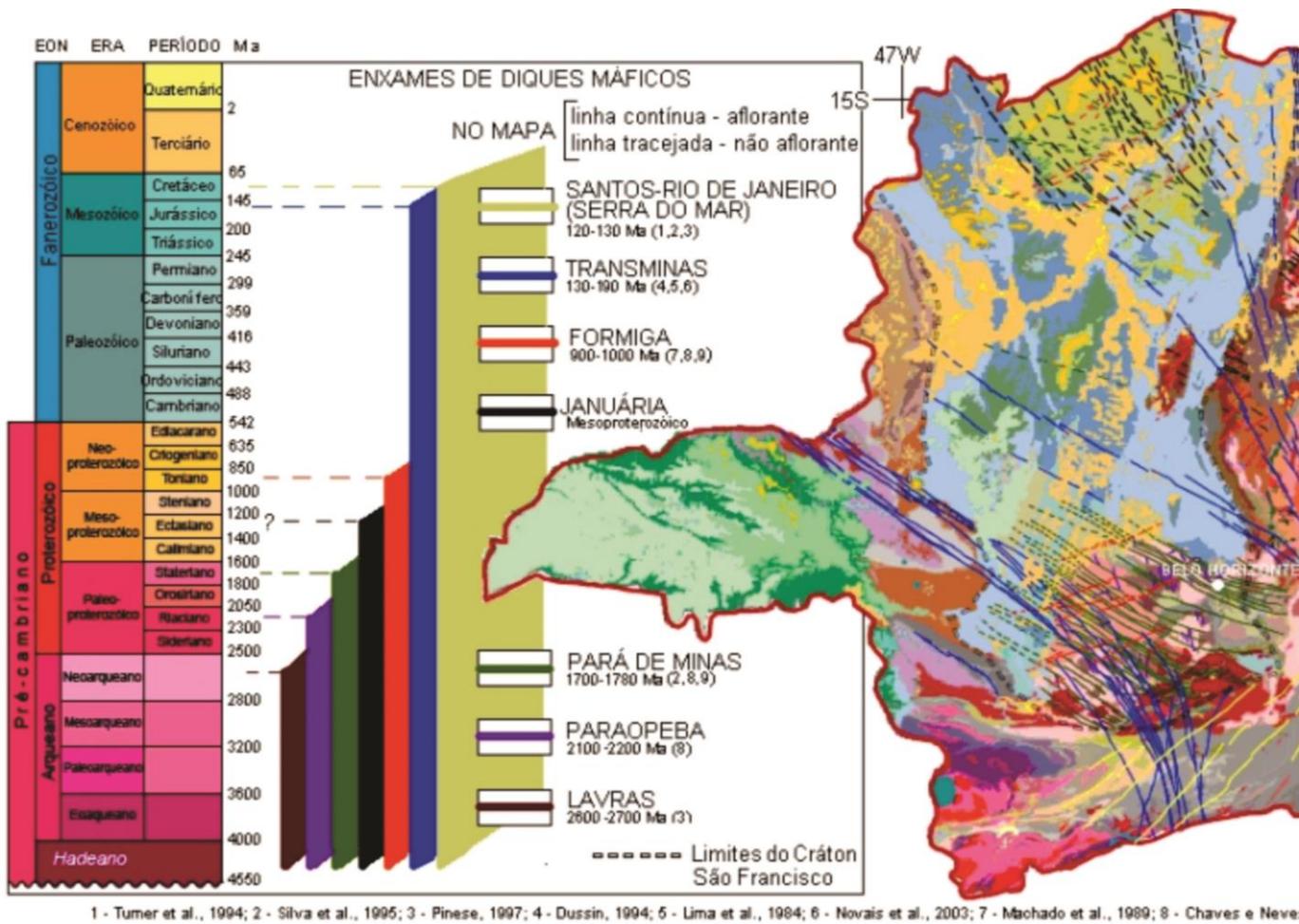
Figura 2 - Os mapas ilustram a localização dos pontos e áreas de trabalho.

O segundo ponto localizado na faixa de dobramentos Brasília, e no município de Patrocínio, no passado, serviu como interflúvio e divisor de sedimentos entre as bacias sedimentares do Paraná e do São Francisco. Este possui as maiores cotas altimétricas podendo chegar até 1250 m. Segundo Casseti (1981) a alcalina de Serra Negra surge após uma estabilidade tectônica no final do Jurássico e posteriormente às manifestações magmáticas, que reativam falhas, e permitem o surgimento da intrusão dômica, a qual afetou rochas do Grupo Bambuí, e orientou as drenagens num comportamento radial em torno do domo, o que pode ser visto até os dias de hoje.

A geologia da Faixa Brasília teve grande influência no modelado da região, sendo assim há uma maior atenção para as formas estruturais, que se destacam na paisagem (CASSETI, 1981). A rede de drenagem é densa e de orientação ânulo-radial, próximo ao ponto de estudo. A estrutura dômica é tratada como um alto de embasamento, que expôs rochas proterozóicas (CASSETI, 1981). Essa estrutura sofreu uma reativação positiva denominada Soerguimento do Alto

Paranaíba e esse soerguimento possui idade semelhante aos outros corpos alcalinos (kimberlitos e carbonatitos) que surgiram por anomalias mantélicas (CAMPOS & DARDENNE, 1997b). De acordo com Chaves (2013) vários foram os enxames de diques no estado de Minas Gerais, sendo essa unidade aflorante de idade Jurássica, denominada de Diques Transminas (conforme CHAVES, 2013) (130-190 Ma), com extensão de mais de 500 km de comprimento e 30 m de largura, como se pode ver na Figura 3.

Na faixa Brasília se pode encontrar rochas do Grupo Araxá, como quartzitos, sendo de origem metamórfica e xistos verde da Formação Rio Verde (CPRM, 2003). Na área de Patrocínio com o surgimento da alcalina várias rochas sofreram com o metamorfismo regional, sendo assim são encontrados metarenitos e calcários do Grupo Paranoá, de idade mesoproterozóica e rochas do Subgrupo Paraopeba, recobertas por cobertura detrítico-laterítica.



1 - Turner et al., 1994; 2 - Silva et al., 1995; 3 - Pinese, 1997; 4 - Dussin, 1994; 5 - Lima et al., 1984; 6 - Novais et al., 2003; 7 - Machado et al., 1989; 8 - Chaves e Neves

Figura 3 - Diques máficos de MG e suas respectivas idades. Fonte Chaves (2013).

A terceira área localiza-se na Bacia Sedimentar do São Francisco, no município de Lagoa Formosa, a qual possui altimetrias semelhantes ao ponto de Uberaba, variando com cotas até 1100 m.

A bacia sedimentar Sãofranciscana se sobrepõe aos limites do cráton São Francisco, totalizando uma área de 500 mil km², além de ser bordeada por faixas orógenas como a Brasília, Rio Preto, Araçuaí e o aulacógeno do Paramirim (ALKMIM, 2004). Na bacia são encontradas rochas do Grupo Bambuí, referentes ao embasamento do cráton São Francisco, contudo a maior relevância são de rochas do Grupo Mata da Corda, como argilitos, siltitos, arenitos, tufos e vulcanismo kamafugítico, sendo que esse último é responsável por solos com alto teor de óxido de titânio, devido a sua composição mineralógica.

A formação das bacias sedimentares brasileiras é posterior aos dobramentos brasileiros, de idade proterozóicas superior (ciclo brasileiro – formação das unidades cratônicas brasileiras) (HASUI et al., 2012). No Siluriano e no Devoniano ocorreu uma moderada a intensa subsidência respectivamente e essas unidades de sedimentação começaram a se formar. Segundo Petri & Fúlfaro (1983):

“A história das bacias intracratônicas brasileiras iniciou-se com subsidência moderada no Siluriano e máxima no Devoniano. A partir deste período o fenômeno perdeu gradativamente intensidade até o Cenozóico. Às fases de subsidência intercalaram-se movimentos positivos”. (PETRI & FÚLFARO, 1983, p. 9).

Dessa maneira, muitos são os sedimentos tanto de origem marinha, como de origem continental, já que no Devoniano o mar adentrava o continente e teve sua fase de deposição máxima nessa transgressão. Outra questão a ser lembrada é que até o Devoniano as bacias intracratônicas eram interligadas, formando uma grande unidade deposicional (PETRI & FÚLFARO, 1983).

Quanto à geomorfologia das três áreas pilotos são encontradas formas semelhantes, conforme pode se ver na Figura 4, imagem do satélite Landsat, extraída do Google Earth.

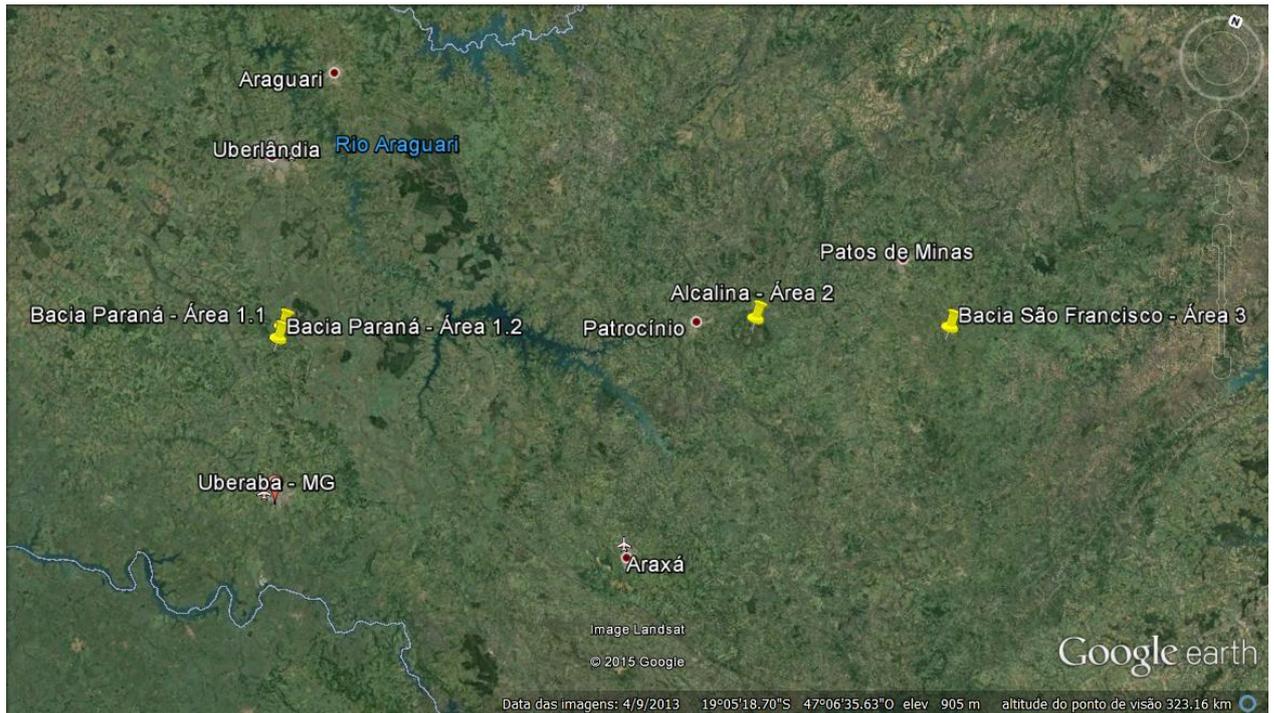


Figura 4 - Imagem do satélite Landsat - Google Earth.

Identificação das três áreas pilotos: Uberaba (ponto 1 e 2), Patrocínio e Lagoa Formosa – Visada superior.

Através da análise da Figura 4 e da confirmação dos trabalhos de campo, pode-se perceber que a área se trata de uma superfície relativamente plana, produzida pelo grande aplainamento Sul-americano, como proposto por King (1956). Conforme a análise das três áreas pilotos fica clara a pouca diferença altimétrica entre elas, como também a baixa dissecação vertical, topos relativamente planos, com baixa declividade. Além, da baixa densidade da drenagem nos topos, a qual demonstra a relativa distância entre os canais. Percebe-se que as drenagens de maior importância se orientam na direção NE-SE, e o relevo apresenta uma maior dissecação na base que nos grandes topos aplainados.

Essa grande superfície atualmente está associada a solos ferralíticos, como o latossolo, fruto da baixa declividade. Outra característica marcante são as escarpas sustentadas pelos perfis lateríticos de ferro e alumínio. Escarpas estas que são sinuosas, em especial, no contato entre os basaltos da Formação Serra Geral, na Bacia Sedimentar do Paraná e arenitos da Formação Marília com o orógeno Brasília, como também entre o cráton São Francisco e orógeno Brasília. Isso pode ser observado através da análise da Figura 5 e Figura 6 as quais demonstram a visada lateral das três áreas em questão.



Figura 5 – Visada lateral do contato entre a bacia sedimentar do Paraná e a faixa orógena Brasília (Satélite Landsat - Google Earth), representado pela linha amarela.

No contato entre a bacia do Paraná e a faixa Brasília há uma clara discordância nas formas de relevo, já que as escarpas sinuosas representam os basaltos e arenitos da Bacia Sedimentar do Paraná, enquanto que no orógeno são encontrados quartzitos e xistos, área está onde o relevo começa a ficar bem mais suave e menos movimentado.

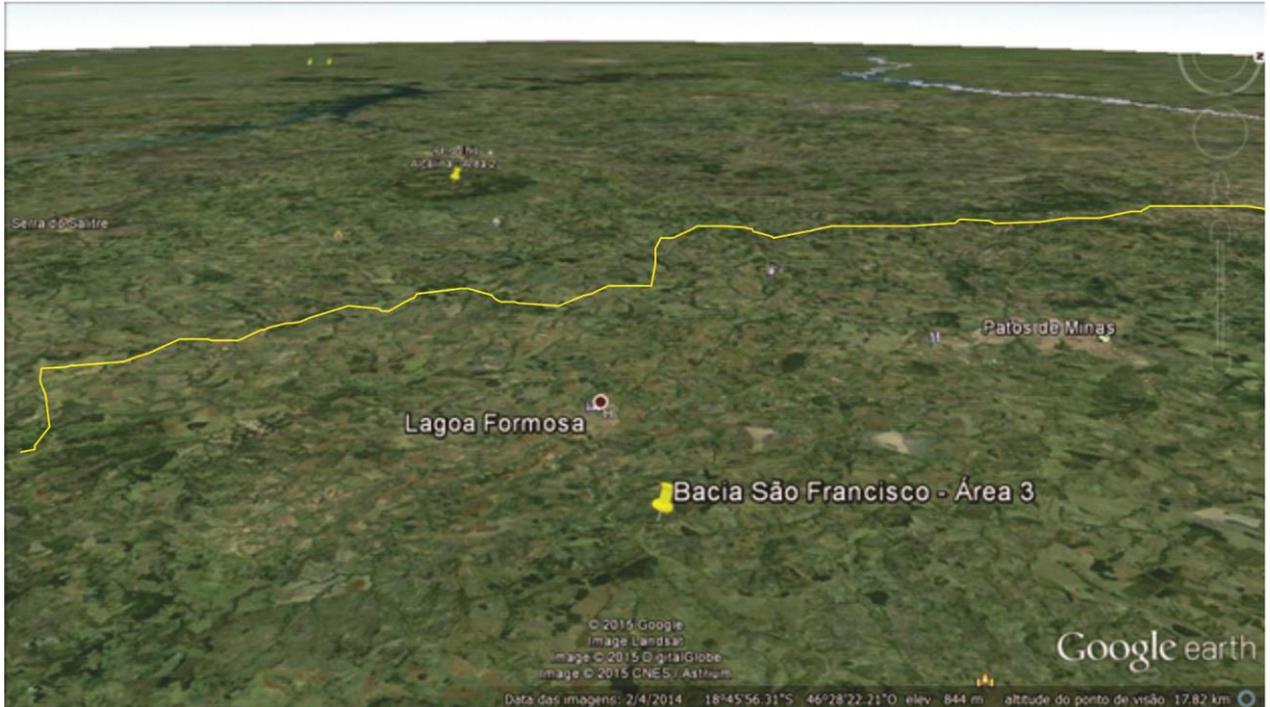


Figura 6 - Visada lateral do contato entre a faixa orógena Brasília e a bacia sedimentar do São Francisco (Satélite Landsat – Google Earth), representado pela linha amarela.

No contato entre o orógeno e a Bacia Sedimentar do São Francisco quase não se percebe mudança ou diferença do relevo, pois os processos erosivos intensos não marcaram essa transição. Porém, analisando a Figura 6, pode-se perceber uma área mais alta e escarpada, a qual indica a mudança da província geomorfológica.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 – Os ciclos de aplainamento brasileiro e as paleosuperfícies

Os primeiros estudos sobre as superfícies de aplainamento derivam das teorias evolutivas do modelado terrestre de Davis (1899), Penck (1953), King (1956), Büdel (1982), os quais abordam os conceitos de peneplanização, recuo paralelo de vertentes (wearing-back), pediplanização e etchplanização, consecutivamente Figura 7).

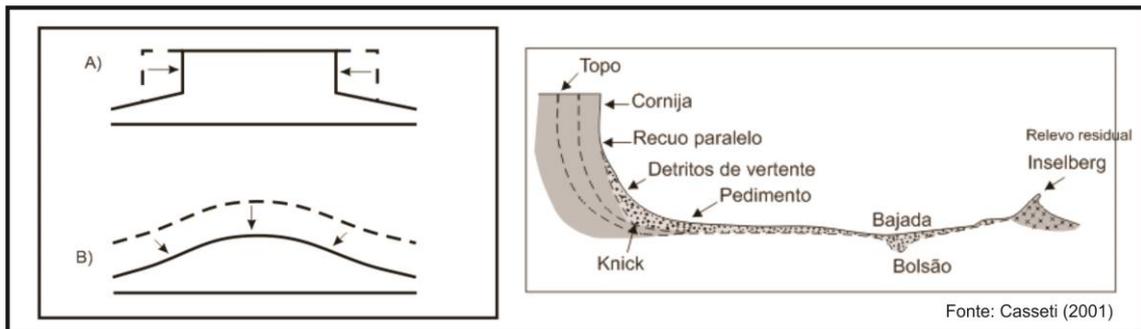


Figura 7 - A figura A mostra os modelos de degradação do relevo back-wearing proposto por Penck, e a figura B, down-wearing proposto por Davis (peneplanos). Já a figura C demonstra o modelo proposto por King (pediplano). Fonte Casseti (2001).

Para Davis (1899) a degradação do relevo se dá através de três estágios: juventude, maturidade e senilidade, onde ocorre um rápido soerguimento e logo após uma estabilização tectônica, assim os processos de denudação começariam atuar sobre o relevo até que houvesse a horizontalização ou a peneplanização (figura B). Essa teoria chamada de Ciclo Geográfico Ideal necessitaria de uma estabilidade tectônica, onde o relevo começaria a evoluir e se horizontalizar. No primeiro momento após o soerguimento do relevo e estabilidade, a drenagem começaria a entalhá-lo, onde seriam intensificadas as diferenças entre os interflúvios e a drenagem, posteriormente no segundo momento haveria a erosão remontante, que faria com essas declividades diminuíssem até que houvesse o arrasamento da paisagem, a qual se tornaria horizontalizada e as drenagens teriam comportamento meandrante. O autor considera três elementos para a ocorrência do ciclo geográfico ideal, entre eles: estrutura (fatores endógenos), processo (fatores exógenos) e tempo.

Na Figura 8 pode ser visto a evolução do relevo, conforme a teoria de Davis (1899).

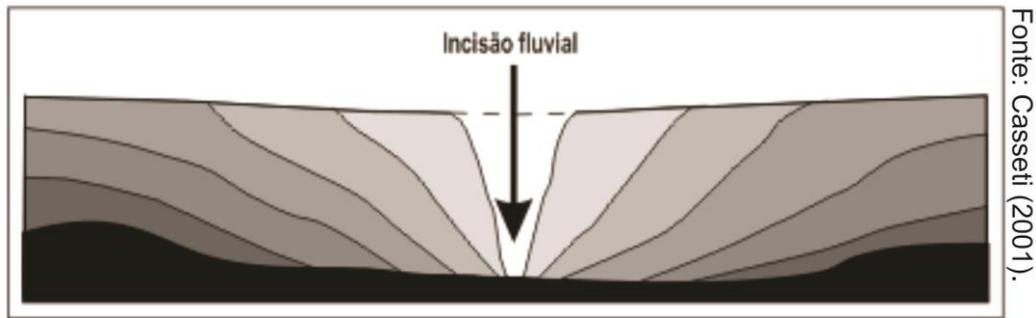


Figura 8 - Modelo de evolução de vertentes segundo o modelo de Davis. Fonte: Casseti (2001).

Para Penck (1953), principal contestador de Davis, já que esse desenvolve sua teoria, a qual é aplicada para lugares de clima árido e semiárido, ao contrário, de Davis, que desenvolveu sua teoria para lugares com clima úmido. Penck (1953) acredita que o relevo seria aplainado de outra maneira, denominada recuo paralelo de vertentes (*back-wearing*). Segundo o autor para que isso ocorra é necessário um soerguimento de uma área plana chamada de superfície primária ou *primärrumpf*, essa área central soerguida, a qual teria o formato de um domo, seria uma área mais elevada do que as áreas periféricas, assim ocorreriam processos denudacionais e ocorreria outro soerguimento, formando uma área ainda mais elevada, que se encontraria na parte central (*piedmontfruppen*), e formaria uma espécie de escadaria, por causa da denudação e soerguimentos consecutivos, essa base seria chamada de *piedmont*, testemunhando os dois soerguimentos que geraria um relevo chamado de *piedmontflachen*. A Figura 9 demonstra esse processo.

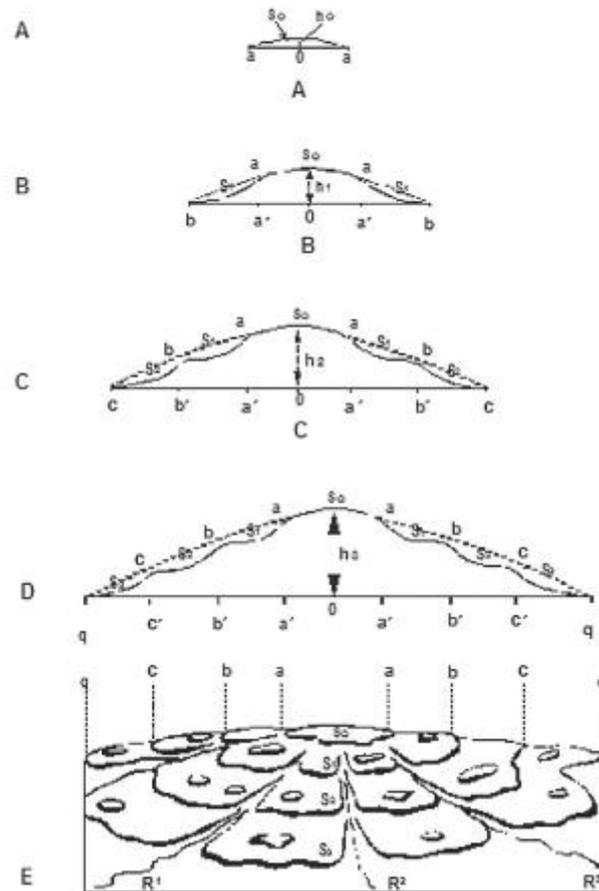


Figura 9 - Modelo de evolução do relevo segundo Penck. Fonte: Salgado, 2007.

- A) S_0 = superfície somital inicial antes do primeiro período de soerguimento; a = nível de base da S_0 ; h_0 = altitude inicial da superfície S_0 .
- B) Após um primeiro período de soerguimento forma-se S_1 = superfície incorporada ao soerguimento que tem em b seu nível de base; h_1 corresponde ao total do soerguimento; a' corresponde à escarpa que delimita S_0 de S_1 . Forma-se o primeiro “degrau” no relevo.
- C) Após um novo período de soerguimento incorpora-se S_2 , que tem c por nível de base e está separada da S_1 pela escarpa b' ; h_2 corresponde ao total de soerguimento. Forma-se o segundo “degrau” no relevo.
- D) Após um novo período de soerguimento incorpora-se S_3 , que tem q por nível de base e está separada da S_2 pela escarpa c' ; h_3 corresponde ao total de soerguimento. Forma-se o terceiro “degrau” no relevo.
- E) Visão tridimensional da fase anterior (FIG. 3D), onde fica visível o relevo em escadaria. R_1 , R_2 e R_3 correspondem às redes de drenagem principais.

Em consequência as formas quadráticas (como uma escada), predominaria o processo do recuo paralelo das vertentes, pois essas vertentes seriam a parte de maior fragilidade do relevo. Consequentemente, com o passar do tempo haveria o aplainamento do modelado.

Já King (1965) incorpora alguns conceitos de ambos os autores, porém adéqua-os a sua teoria, como o conceito de estabilidade tectônica (contudo relativa),

de Davis e o recuo paralelos de vertentes, como Penck. Sua teoria também foi desenvolvida para ambientes com climas com tendência a aridez, os quais teriam chuvas fortes e concentradas, responsáveis por mover os sedimentos desagregados das vertentes para os vales (playa lake). Esses ambientes são propícios à erosão já que são áreas com pouca vegetação, onde através do entalhamento fluvial e solapamento basal ocorreria a retração lateral e a formação de pedimentos (materiais que se desagregam das encostas), o quais depositar-se-ão em depressões e talvegues permitindo a alteração (positiva ↑) do nível de base e gradualmente ocorreria uma horizontalização do relevo, denominada pediplanização.

Uma das últimas, e mais demorada, entre as teorias de aplainamento do relevo está à teoria da etchplanação, que começa ser desenvolvida por E. J. Wayland, em 1933 e ganha corpo e consistência com Julius Büdel em 1957, quando este lança suas bases conceituais (SALGADO, 2007). Para Büdel (1982) o aplainamento ocorre após uma estabilidade tectônica relativa e condições climáticas tropicais, ou seja, alguns meses úmidos e outros secos. Esse ambiente de formação é necessário, pois existiram duas frentes intempéricas agindo sobre o relevo, para que ele se horizontalizasse, entre as quais: seria o intemperismo físico em superfície e o intemperismo químico em subsuperfície, responsável pela transformação das rochas em um grande manto de alteração (regolito), que seria movimentado ou aplainado pelos processos físicos do relevo, formando assim a superfície aplainada. Os inselbergs surgiriam pela resistência litológica dos diversos tipos rochosos, que com o tempo seriam exumados.

Dessa maneira, como supracitado, várias são as teorias que tentaram explicar esses aplainamentos, Bigarella (2003) elencou “quatro modelos distintos de evolução da paisagem: peneplano, pediplano, superfície primária (*Primärrumpf*) e corrosioplano (*etchplain*; etchplano)” (p. 1125), como foi feito neste trabalho. Assim com os diversos ciclos de aplainamento no Brasil e a consideração da tectônica de placas, na segunda metade do século XX, nas interpretações geomorfológicas (BIGARELLA, 2003) surgem os estudos paleogeográficos, enfatizando os estudos sobre as superfícies de erosão. Ponçano e Almeida (1993) relatam que numerosos autores desenvolveram estudos sobre as paleosuperfícies como De Martonne (1943), Morais Rego (1946), Ab’Sáber (1955).

Vale ressaltar que as superfícies geomórficas são originárias dos diversos ciclos de aplainamento sofridos tanto quando a América do Sul ainda se encontrava

junto com a África, como também após essa separação (KING, 1956). O mesmo autor, em sua obra indica cinco grandes ciclos erosivos: responsáveis por 5 grandes Superfícies de Erosão, entre eles encontramos: Ciclo Gondwana, Post-Gondwana, Sul americano, Velhas, Paraguaçu (com duas fases). Esses ciclos apresentam idades distintas e as superfícies conseqüentemente também, pois com o aplainamento surgem estas. Assim, o primeiro ciclo Gondwana possui idade cretácea inferior e tem como produto uma superfície extremamente aplainada. O segundo ciclo (Post-Gondwana) o autor deduz que seja de idade cretácea superior e infere que o aplainamento não seja total, apresentando uma superfície acidentada. O ciclo Sul americano foi do Cretáceo superior ao Terciário médio (Paleógeno) e formou uma vasta planície que posteriormente foi soerguida e reduzida a um planalto dissecado pela erosão policíclica e esse planalto pode ser visto ainda na bacia do Paraná, em Minas Gerais, sul da Bahia e Espírito Santo e ainda essa vasta peneplanização concorda com superfícies de deposição nos contrafortes andinos e pampas argentinos. O ciclo Velhas atuou do Terciário Superior ao Quaternário demarcou vales que dissecam a Superfície Sul Americana e atingiu uma fase avançada de aplainamento e por fim o ciclo Paraguaçu que atuou no Quaternário, não atingiu aplainamento generalizado, porém destruiu topografias anteriores formadas por outros ciclos de aplainamento (KING, 1956).

Assim King (1956) também descreve algumas superfícies de aplainamento conseqüentes desses ciclos citados anteriormente, sendo a Superfície Fóssil a mais antiga de todas, de idade carbonífera; Superfície Desértica de idade triássica; Superfície Gondwana ou post-Gondwana de idade cretácica; a Peneplanização Sul Americana que ocorreu no Paleoceno-Eoceno, seguido de um soerguimento no terciário médio e posteriormente o Ciclo Velhas do Mioceno-Plioceno ou Terciário Superior e o Ciclo Paraguaçu do Pleistoceno-Holoceno.

Braun (1971), em uma releitura da obra de King, faz algumas diferenciações e traz os grandes ciclos:

“[...] observando os remanescentes de superfícies de erosão que se distribuem em diversos níveis na paisagem brasileira, pode aquele autor reconhecer cinco ciclos geomorfológicos aos quais denominou de Gondwana, Post-Gondwana, Sul-Americano, Velhas e Paraguaçu. Os dois primeiros nomes são comuns aos dois continentes, os seguintes correspondem respectivamente ao Ciclo Africano, ao ciclo do Terciário Superior (‘Costal Plain’) e ao ciclo do Congo”. (BRAUN, 1971, p. 4).

Segundo Leonardi (2007) as superfícies de erosão começaram a ser estudadas no Brasil, segundo o modelo davisiano de topos concordantes ou topos com a mesma altitude, na definição dos níveis de erosão. Assim, um trabalho de caráter introdutório que ganha destaque no Brasil é o de Martonne (1943), denominado Problemas Morfológicos do Brasil Tropical Atlântico, o qual considerou aspectos geológicos como principais formadores na evolução do modelado brasileiro, o autor retrata quatro superfícies de erosão, a superfície Neogênica, a superfície de Cristas Médias e a superfície de Campos (da mais nova para a mais velha, de idade neogênica, paleogênica e de idade duvidosa, consecutivamente) e a superfície de erosão pré-permiana. Na análise do quadro 1, pode-se perceber que os diversos autores concordam nas idades das superfícies de aplainamento, apresentando poucas disparidades.

Seguindo esse trabalho Freitas (1951), em suas pesquisas explicou a evolução do relevo brasileiro através dos ciclos de epirogênese e peneplanação, formando superfícies de erosão policíclicas (SILVA, 2009).

Freitas em (1951) conclui:

“pela existência de três ciclos erosivos: o mais antigo seria Mesozoico, teria sido precedido por soerguimento epirogênico e teria-se encerrado no Cretáceo, resultando no nível B ou peneplanos Cretáceo. Após um novo movimento epirogênico positivo, que teria resultado na fragmentação do ‘Escudo Brasileiro em blocos escalonados, muralhas e fossas, e vales de afundimento’, teriam surgido ‘os principais acidentes tectônicos do relevo do país’ no Terciário (p.18). Desenvolvendo-se então o peneplanos Terciários, correspondente ao nível A, ao qual se segue o terceiro ciclo, ‘ciclo Quaternário ou pós-deposição das camadas de São Paulo e Curitiba” (PONÇANO E ALMEIDA, 1993; p. 62).

Já Bigarella; Mousinho; Silva (1965) indicam a presença de três superfícies de aplainamento no Brasil, as quais ele se refere como pediplanos, sendo assim o Pd₃ é considerado o mais antigo, elaborado no Cretáceo-Eoceno, que coincide com o fim da sedimentação cretácica e pode ser representado por superfícies de cimeira. O Pd₂, elaborado no Terciário Médio, raramente representa superfícies de cimeira, sendo normalmente intermontano e o Pd₁ que está associado ao Quaternário, quando ocorreu forte instabilidade climática, cuja origem está ligada a paleoclimas

AUTOR IDADE	De Martonne (1943)	Freitas (1951)	King (1956)	Barbosa (1959)	Ab'Sáber (1962)	Bigarella et al. (1965)	Almeida (1964)	Braun (1971)	Valadão (1998)
Quaternário			Ciclo Paraguai	PdXI	Superfície Jundiá	Terraços pedimentos		Ciclo Velhas	
Plio-Pleistoceno				PdX		Pd1	Diversas Superfícies ao longo de vales, originadas por erosão de vertentes, sem aplainamento lateral.		Superfície Sul-Americana II
Neógeno	Superfície Neogênica	Nível A	Ciclo Velhas	PdIX	Superfície Neogênica				Superfície Sul-Americana I
Terciário Médio	Superfície Paleogênica			PdVIII	Superfície de cristas médias	Pd2		Superfície Japi	Superfície Sul-Americana
Paleógeno	Superfície Paleogênica		Ciclo Sul-Americano	PdVII		Pd3			
Cretáceo Superior		Ciclo Gondwana	PdVI						
Cretáceo Médio	Superfície de	Nível B			Superfície Dos Altos		Ciclo Pós-Gondwana		
Jurássico									
Triássico				Superfície Desértica					
Permiano									
Carbonífero	Superfície Pré-Permiana								
Devoniano									

Quadro 1 – Cronologia das superfícies de aplainamento do Planalto SE Brasileiro segundo os autores. De Martonne (1943); Freitas (1951); King (1956); Barbosa (1959); Ab'Sáber (1962); Bigarella et al. (1965); Braun (1971); Valadão (1998) – modificado de Meis et al. 1982 por Almeida, 2009.

Portanto, nessas tentativas para entender esses aplainamentos e suas superfícies e depósitos correlatos pode-se afirmar que o nível de base regional é o fator de grande importância nessas mudanças topográficas, pois este é o responsável pelo controle dos processos denudacionais. Os processos erosivos e deposicionais ocorrerão enquanto o sistema estiver em desequilíbrio com o nível de base, dessa maneira as oscilações do nível do mar e os movimentos tectônicos são responsáveis também pelos ciclos de aplainamento que ocorreram no território nacional. E dessa forma, para que as superfícies pudessem ser preservadas necessitou-se de certa estabilidade tectônica e mudanças climáticas muito bruscas.

Vários autores se preocuparam em identificar as superfícies de aplainamento do Brasil, com suas idades respectivas. Dessa forma segue o quadro 1 com essas superfícies, proposto por Meis et al. 1982 e modificado por Silva, 2009.

4.2 Aerogeofísica

4.2.1 Aerogamaespectrometria

Desde seu surgimento na década de 1960 a aerogamaespectrometria vem sendo aperfeiçoada e cada vez mais utilizada em diversos estudos. Segundo a Agência de Energia Atômica Internacional (IAEA, 2003), a espectrometria gama tem sido utilizada no mapeamento geológico, exploração de petróleo e prospecção mineral, além do mapeamento de regolitos e auxilia no entendimento geomorfológico (WILFORD, 2012). Nesses mapeamentos de regolitos podemos incluir o mapeamento pedológico.

A radiação pode advir de diferentes decaimentos isotópicos e conseqüentemente emissão de partículas. Isótopos são “átomos que possuem o mesmo número atômico (Z), mas diferentes números de nêutrons (N)” (PARRO, 1998, p. A.2-1, apêndice II). Dessa forma, existem isótopos estáveis e instáveis. Os isótopos instáveis, ou radioisótopos sofrem com esse decaimento emitindo partículas alfa e beta (α e β) e a chamada radiação eletromagnética ou radiação gama (γ) (IAEA, 2003). A radiação gama não possui massa ou carga atômica dessa maneira possui grande poder penetrativo no ar e em rochas.

Apesar de um grande número de isótopos instáveis existirem (51 instáveis e 274 estáveis) há uma divisão em três famílias radioativas que possuem uma cadeia de desintegração ou decaimento. São a família do ^{232}Th , que produz o ^{208}Pb ,

a família do ^{238}U que produz o ^{206}Pb e a família do ^{235}U que produz o ^{207}Pb e também há o ^{40}K que também possui decaimento e forma dois isótopos filho ^{40}Ca e ^{40}Ar (MINTY, 1997).

A unidade de medida da energia da radiação γ é denominada elétron-volt (eV). Essa energia medida consiste na energia emanada de um isótopo intermediário (isótopo filho), que pode ser correlacionada com a concentração do isótopo pai. Dessa maneira, há canais específicos para que esses isótopos sejam quantificados. O ^{40}K é medido na janela energética de 1,4 a 1,6 MeV e especificamente no pico de 1,46 MeV (milhões de elétrons volts), através do decaimento do isótopo ^{40}K para o ^{40}Ar , pois é nessa série de decaimento que o raio γ é emitido, o ^{238}U (^{214}Bi) na janela 1,76 MeV e o ^{232}Th (^{208}Tl) na janela de 2,61 ou 2,62 (há variações na bibliografia) MeV, além da contagem total (CT) que varia entre a faixa de energia de 0,5 a 3 MeV (MINTY, 1997).

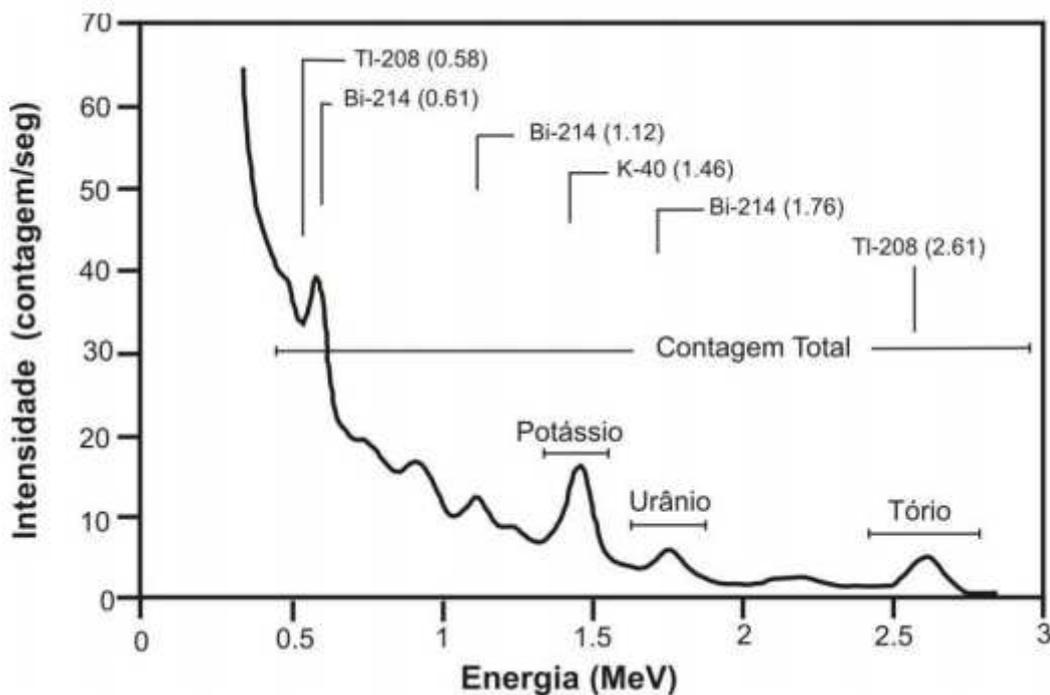


Figura 10 - Janela de contagem dos radioelementos, através de um detector de iodeto de sódio, Minty (1997).

Apenas o potássio, o urânio e o tório são radioisótopos que possuem energia γ suficiente para ser detectados em aerolevantamentos. Esses elementos são quantificados em contagem por unidade de tempo e posteriormente convertidos em concentração, como porcentagem (%), que é o caso do K, já que sua ocorrência na crosta terrestre é de 2,35% e é encontrado em sua maioria em feldspatos

potássicos (ortoclásio e microclínio), cerca de 13%; micas (biotita e muscovita), cerca de 8% e também há um alta concentração desse elemento em rochas félsicas e baixa concentração em rochas máficas (basalto) e muito baixa em dunitos e peridotitos. O urânio, considerado um elemento traço, expresso em ppm, como também o tório, possui uma baixa concentração de apenas 3 ppm na crosta terrestre. O U está normalmente presente na forma de óxidos ou silicatos como a uranita, uranotorita que estão presentes em granitos, pegmatitos, carbonatitos ou folhelhos negros. Já o tório outro elemento traço, com ocorrência de 12 ppm na crosta terrestre é encontrado na forma de mineral acessório em monazitas, zircões, xenotimes, apatitas e esfenos, comum em rochas ígneas e metamórficas (DICKSON & SCOTT, 1997).

Com os fatores intempéricos, o K pode ser destruído na forma de argilas como biotitas e pode ser adsorvido por outras argilas como a montmorilonita. Assim há uma baixa concentração de potássio nas águas marinhas. O U tem caráter móvel em ambientes oxidantes e pode ser adsorvido por óxidos ou hidróxidos de ferro e argilas de minerais coloidais. O Th durante o intemperismo pode se acumular em depósitos de minerais pesados e pode ser retido por óxi-hidróxidos de ferro e titânio, e como o urânio pode ser adsorvido por óxidos de ferro e argilas coloidais. Há um aumento desses três elementos com o aumento do teor de sílica (SiO_2) (Figura 11). Tanto o U, quanto o Th não emitem raios gama durante o decaimento e a maior energia emitida vem dos isótopos filhos ^{214}Bi e ^{208}Tl respectivamente (DICKSON & SCOTT, 1997). De tal modo, a resposta espectrométrica gama é muito boa e de alta intensidade e concentração em perfis lateríticos de ferro, os quais ocorrem na área de estudo.

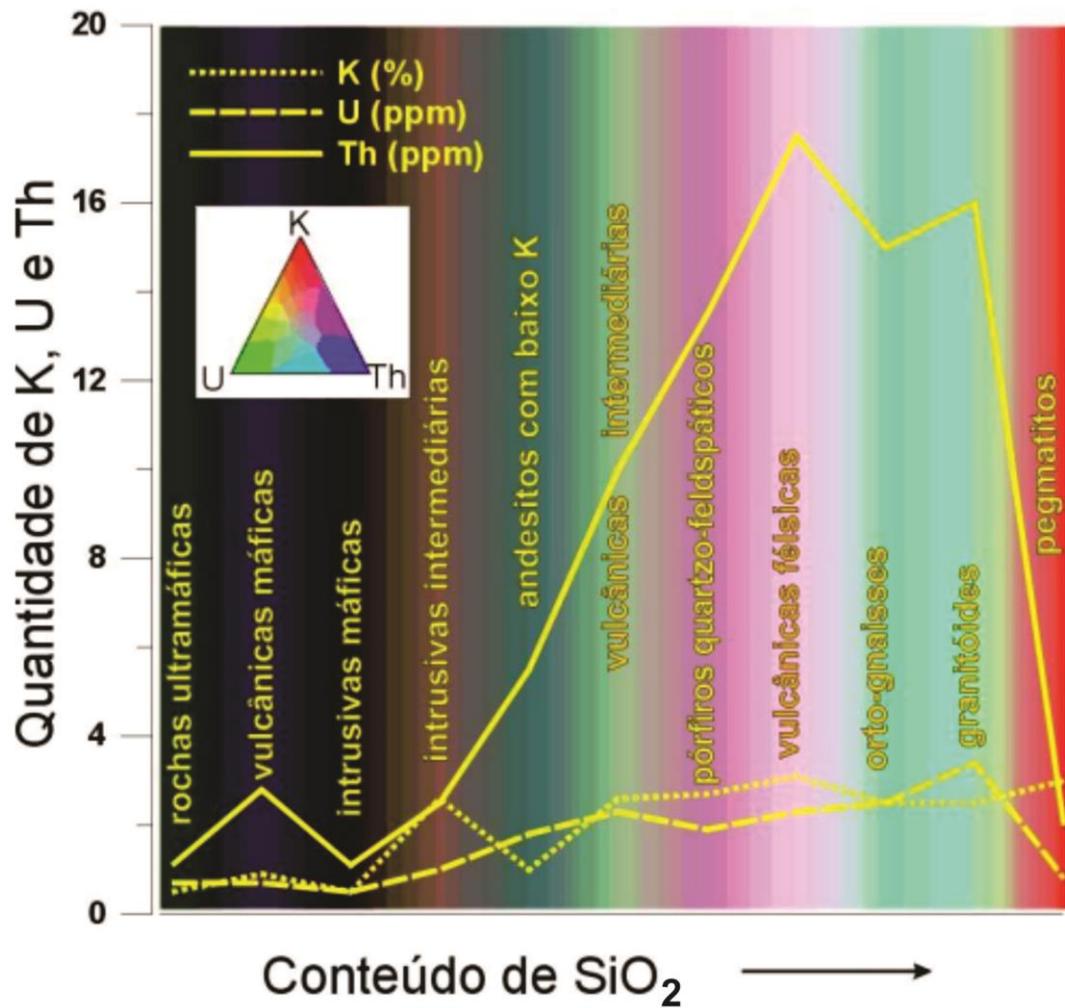


Figura 11 - A figura mostra o comportamento dos radioelementos K, Th e U versus o teor de sílica dos principais tipos rochosos encontrados na natureza. (Blum 1999).

Vários autores como, Telford et. al (1993), IAEA (2003) e posteriormente citado em Minty (1997) ressaltam que os raios gama sofrem com três tipos de interação com a matéria: efeito fotoelétrico, espalhamento Compton e a produção de par, que variam na janela energética de 0,01 MeV e 10 MeV (Figura 12) (MINTY, 1997; IAEA, 2003; TELFORD et. al, 1993).

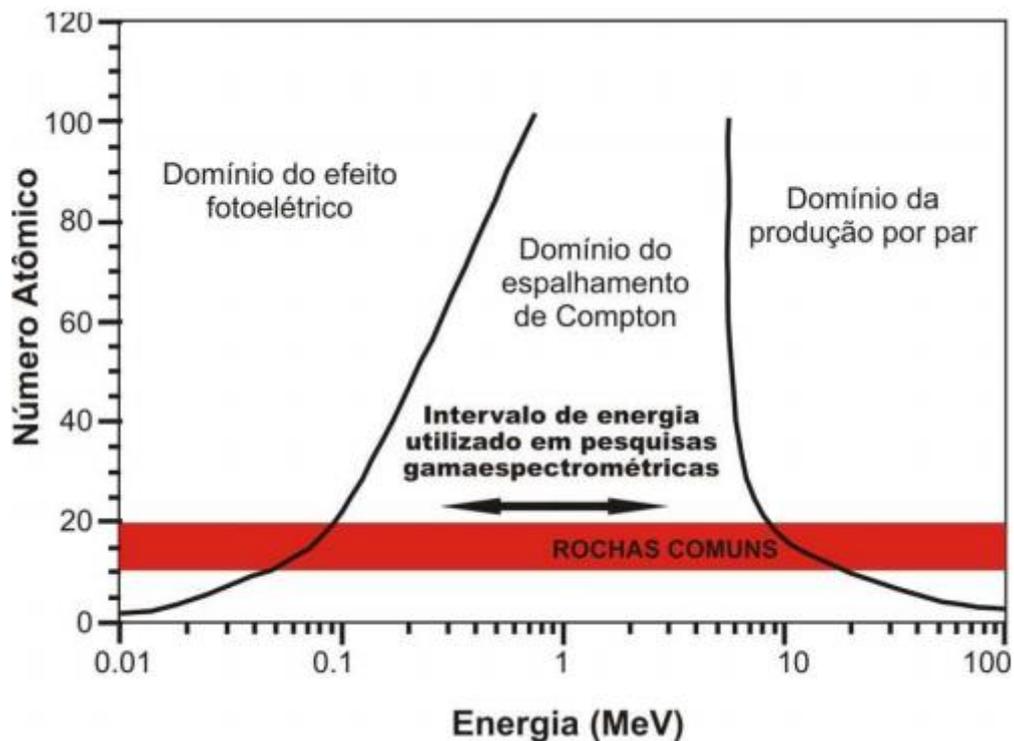


Figura 12 - Interações sofridas pela radiação gama. Extraído de: Minty (1997).

Atualmente, a aerogamaespectrometria vem ganhando destaque nos mapeamentos de regolito. Existem vários trabalhos que demonstram isso como Dickson e Scott (1997), Wilford et al. (1997), Minty (2011), Taylor et al. (2002). Esse método possui ótimos resultados nesse campo de estudo por sua resposta espectrométrica advir das camadas superficiais do solo, Taylor et al. (2002) traz que 90% do sinal dos raios γ vem dos 30 cm superiores e esses raios refletem o conteúdo geoquímico e mineralógico do solo em questão. A grande vantagem desse método para os países tropicais é a possibilidade de mapeamento pedológico nas áreas com cobertura vegetal, além da possibilidade de mapear fatores geomorfológicos.

4.3 – Perfis lateríticos

Com o intemperismo tanto físico quanto químico a degradação das rochas gera um dos componentes essenciais à vida terrestre: o solo. Porém a ação intempérica pode transformar essas rochas em perfis lateríticos ou residuais ao invés de solos propriamente ditos.

O termo laterita vem do latim (*later*) e significa ladrilho, tijolo. Esse termo foi introduzido na literatura por Buchanan, na Índia, no início do século XIX (ABREU, 1962), quando em visita a esse país percebeu que os habitantes desse local a utilizavam para construir casas, extraíndo-a de lugares úmidos, cortando-a em grandes blocos, os quais quando secos tornavam-se extremamente enrijecidos.

Sendo assim, após a introdução do termo laterita por Buchanan, vários estudos começaram a se desenvolver sobre o tema, onde diversos materiais passaram a designar a laterita, conforme a conceituação do autor (FERRARI, 1996). Contudo em 1982 Schellman reestruturou o conceito através de seu trabalho, elucidando que a laterita é correspondente aos produtos de alteração das rochas onde predominam óxidos e hidróxidos de silício, ferro e alumínio, como também, argilominerais referentes à caulinita (SHELLMAN, 1982).

Essa laterita necessita de algumas condições especiais para a sua formação como uma estabilidade tectônica, de temperatura e alta pluviosidade, como também uma boa drenagem no perfil, o que permitirá que as bases e minerais mais solúveis sejam lixiviados e ocorra a laterização, ou seja, a preservação de algum mineral. Schellman (1982) afirma que as áreas propícias para a formação das lateritas onde existem condições de alta temperatura e alta pluviosidade se encontram nas áreas intertropicais, ou seja, entre as latitudes de 30° N e 30° S, conforme a Figura 13.

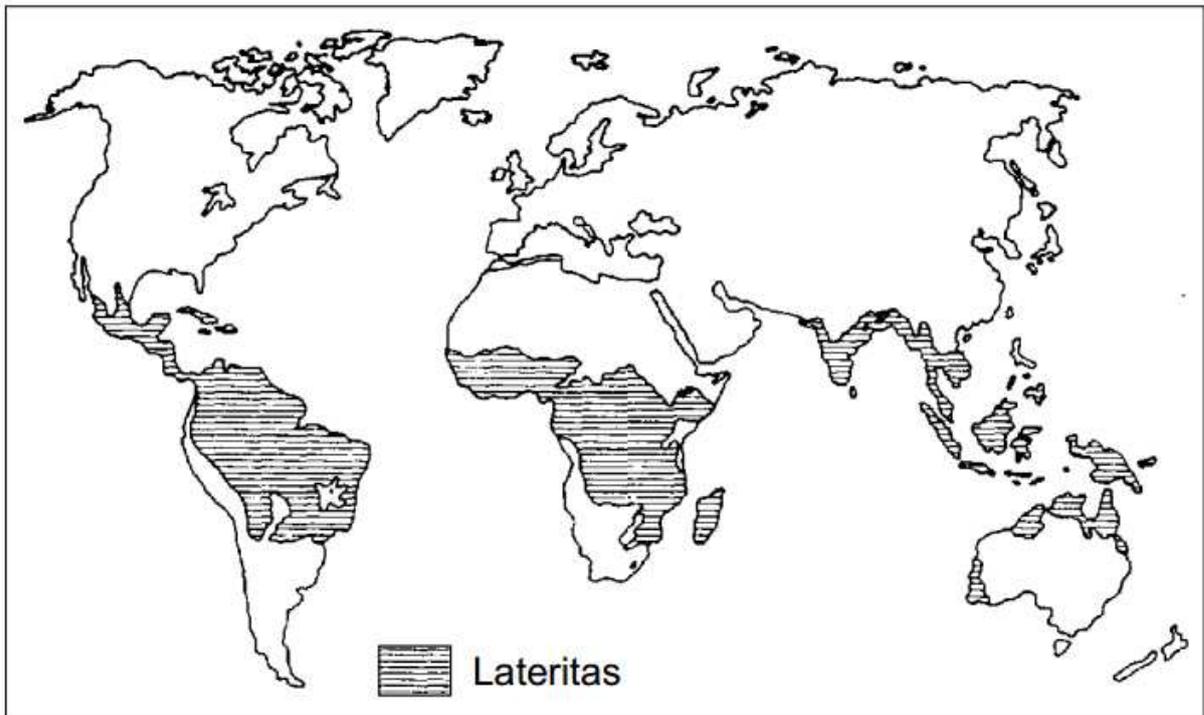


Figura 13 – Distribuição global do fenômeno de laterização. Fonte: Bardossy & Aleva apud Ferrari (1996).

Outra grande contribuição do trabalho de Schellman (1982) é que o autor desenvolveu um diagrama ternário, onde as lateritas puderam ser classificadas conforme a ocorrência de seus materiais, ou seja, sílica, óxidos de ferro, óxidos de alumínio, argilominerais referentes à caulinita ou uma mistura dos anteriores. Esse diagrama pode ser observado através da Figura 14.

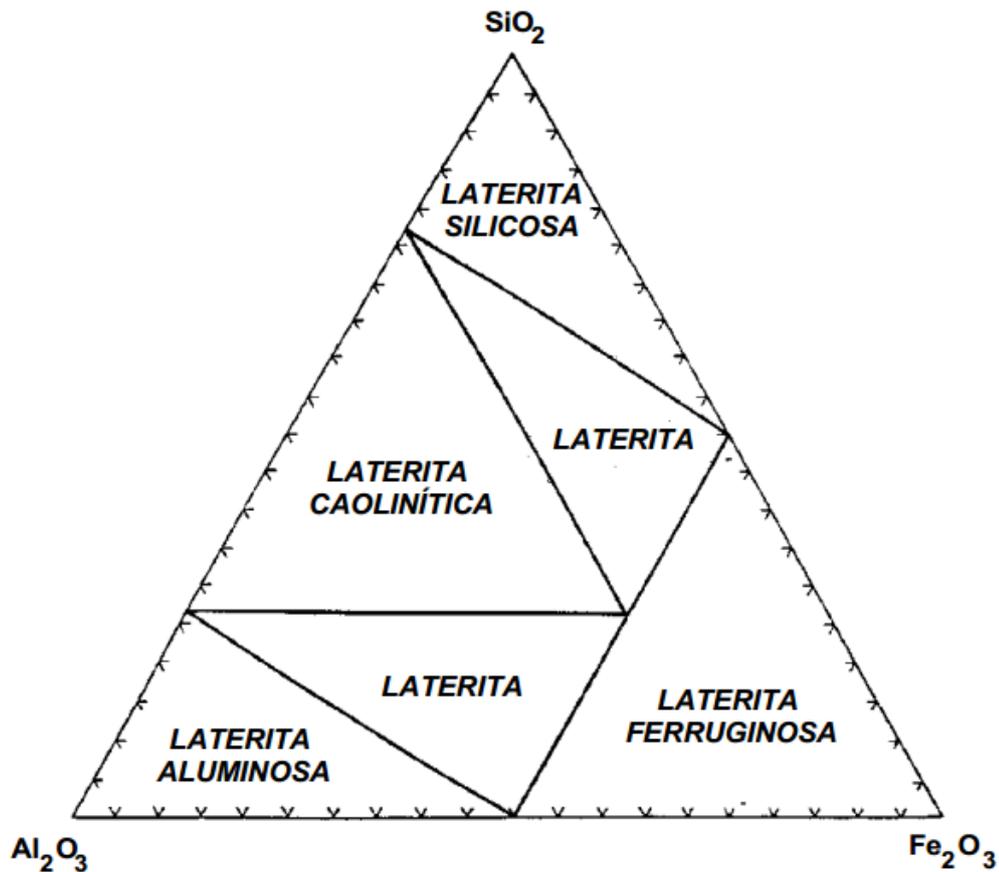


Figura 14 - Diagrama ternário para classificação das lateritas. Fonte: Schellman (1982).

Os trabalhos referentes às lateritas foram cada vez mais ganhando relevância, dessa maneira diversos autores começaram a se interessar pelo assunto. Segundo Toledo et al. (2000) existem dois processos para desenvolvimento dos perfis lateríticos ou a laterita em si: no **primeiro caso** pode ocorrer uma **preservação do mineral primário**, normalmente mais resistente ao intemperismo, concentrando-se por acumulação relativa, enquanto que os outros minerais são alterados e lixiviados do perfil. Tem-se como exemplo os depósitos de fosfato, por concentração de apatita, de crômio, por concentração de cromita, de estanho, por concentração de cassiterita, de ferro, por concentração de hematita etc. Já no **segundo caso** pode ocorrer uma **destruição do mineral primário e transformação deste em minerais secundários**. Isso normalmente ocorre com elementos de baixa solubilidade, como o alumínio que forma gibbsita e o titânio que forma o anatásio. Os elementos mais solúveis podem também migrar no perfil e precipitarem em fases secundárias em outros horizontes como o níquel, que gera

garnierita e goethita niquelífera. Existem casos onde ocorrem processos mistos que o mineral primário preserva-se.

Para Ferrari (1996), a alteração das rochas é classificada a partir de duas situações distintas: em **climas frios e úmidos, temperados ou áridos** e em **climas quentes e úmidos da região intertropical** – considerado o ambiente de laterização. Para o trabalho o segundo ambiente é o que interessa, dessa forma, o produto dessa alteração será distinto, conforme os processos que irão envolvê-los, podendo ocorrer quaisquer dos perfis lateríticos abordados na Figura 14. O que irá determinar essa classificação será a concentração mineralógica, a qual dependerá de situações, processos químicos e ambientes de formação específicos, que serão citados ao longo do trabalho.

Conforme o conceito de Schellman (1982) os depósitos lateríticos ocorrem sempre na superfície ou subsuperfície da Terra, com forma de bolsões ou mantos, permitindo a extração a céu aberto, devido à preservação e alta concentração de minerais no solo, os quais despertam interesse econômico. Sendo assim, o estudo destes é de importância central, pois a laterização ocorre nas áreas onde os países que estão em desenvolvimento se encontram e tem como base econômica a extração mineral (FERRARI, 1996).

O depósito laterítico mais comum no mundo é o depósito de alumínio, já que a caulinita compõe grande parte das rochas encontradas na superfície terrestre e o seu intemperismo pode gerar a gibbsita, cujo argilomineral é responsável pelos depósitos residuais de alumínio (elemento mais estável) (TOLEDO, 2000). No Brasil são muito encontrados também os depósitos lateríticos de ferro, os quais muitas vezes estão associados às paleosuperfícies.

Os depósitos lateríticos de ferro, denominados ferricrete são como um material mais duro e que forma como se fosse uma capa, sustentando topografias protuberantes. O presente trabalho baseou-se na classificação de Bourman et al.(1987), Milnes et al.(1987) e Bourman (1993), os quais propõem uma classificação para os ferricretes em três tipos: **rocha ferruginizada** (são rochas que apresentam certa impregnação ferruginosa, normalmente na forma de mosqueados e mantém a estrutura original), **sedimentos ferruginosos** (sedimentos derivados de variadas fontes, refletindo a natureza do sedimento original) e **ferricretes complexos** (diferentes variações advindos de diversos tipos de fábricas identificados por pisolíticas, nodulares, *slaby* e vermiformes).

Outros são os autores que trabalharam com o ferricrete em si, como, por exemplo, Tardy (1993) que traz uma classificação diferenciada, elucidando cinco horizontes de perfis lateríticos de ferro: horizonte saprolítico ou zona de alteração, horizonte mosqueado pouco endurecido, carapaça, horizonte cascalhento ferruginoso friável de superfície.

Para que um ferricrete possa se formar e se estruturar Thomas (1994) apud Ladeira (2001) enumera oito fatores determinantes que são: fatores **geológicos** já que os ferricretes podem evoluir conforme o material advindo das rochas ígneas, metamórficas ou sedimentares, influenciando fortemente na composição mineralógica desses perfis lateríticos; para que haja essa evolução são necessárias **condições climáticas** específicas como um ambiente quente e úmido, e o regime climático de uma estação chuvosa e outra seca, o qual é essencial para a formação dos ferricretes, como uma estabilidade tectônica; os fatores **bióticos** também estão presentes na formação das lateritas, conforme o tipo de vegetação que as recobrem, os organismos e materiais orgânicos presentes no solo, através da formação de ácidos e a ação mecânica das raízes; **os fatores hidrológicos** são responsáveis pela interação entre a litologia e o relevo, como também as flutuações dos lençóis freáticos, os quais permitem a mobilização do ferro; **condições de Eh e pH** já que o ferro é solúvel em condições de pH ácidas, ou seja, quanto maior o Eh e menor o pH, maior a mobilidade dos óxidos de ferro nesse ambiente; **história geomorfológica e tectônica** sabendo que os perfis lateríticos estão diretamente ligados a topografia e ao ciclos de aplainamento; **fator tempo** pois a ocorrência dos perfis lateríticos envolvem um relevante espaço de tempo para que possa ocorrer esse tipo de formação, segundo Nahon e Lappartient (1977) calcularam um ferricrete de 0,5 a 1,0 metro de espessura requer 0,3 a 0,75 Ma, **e mudanças paleoambientais**, portanto a origem de ferricretes é intimamente ligada as condições pretéritas, sendo possível uma reconstituição paleoambiental através da análise dos mesmos.

Através das leituras e os trabalhos de campo, pode-se perceber que há uma íntima ligação entre os ciclos de aplainamento que ocorreram no território nacional e a formação dos perfis lateríticos de ferro e alumínio brasileiros. O clima quente e úmido e a relativa estabilidade tectônica permitiu que esses ferricretes se formassem numa velocidade diferenciada formando grandes pacotes endurecidos, muitas vezes decorrentes da desagregação das encostas, o que King (1956)

chamou de pedimentos. Assim, as superfícies aplainadas foram preservadas e podem ser percebidas atualmente em decorrência desses solos residuais, os quais estão nos altos topográficos, protuberantes, evidenciando as condições pretéritas.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 – Amostragem e coleta dos materiais

A coleta das amostras foi feita em campo, através de coletas sistemáticas, que consiste em amostragem sequencial, ou seja, primeiramente há a limpeza do corte de estrada, ou perfil de solo escolhido, posteriormente há a divisão dos horizontes e assim o material é coletado em sacos plásticos para que não haja contaminação por outros elementos químicos ou fatores externos. Ao longo da coleta são feitas medições de espessura de cada horizonte e do tamanho do perfil ou corte de estrada em si.

Após a coleta, as amostras são identificadas e levadas ao laboratório para secagem em bandejas de plástico e posteriormente para uma britagem, alcançando tamanhos de até 5 mm para as crostas lateríticas. Os materiais coletados são de origem pedológica, porém podem ser endurecidos sendo denominados crostas lateríticas ou podem ser friáveis, denominados como solos propriamente.

Posteriormente a britagem dessas amostras o material deve ser quarteado e passado por um moedor de ágata, para que atinja tamanhos inferiores a 75 μm , transformando-se em fração pó. São moídos em torno de 80 gramas de cada amostra.

5.2 – Espectrometria de Fluorescência de Raios – X (FRX)

As amostras moídas na fração pó passaram por algumas outras etapas as quais consistem em:

Primeira etapa consiste na calcinação do cadinho, ou perda ao fogo, responsável pela secagem e retirada da água presente na estrutura do recipiente e da amostra. Essa calcinação ocorre em uma temperatura de 1000°C na mufla. As amostras também passam por esse processo, porém são levadas a estufa a uma temperatura de 105°C e posteriormente a mufla. Antes e depois da perda ao fogo, tanto o cadinho como as amostras são pesadas o que permite saber qual a quantidade de água perdida durante a calcinação. (POTTS, 1992).

Em seguida, são adicionados 9 gramas de fundente (tetraborato de lítio ou metaborato de lítio) nesse mesmo cadinho para 1 grama de amostra e levadas a máquina de fusão da marca Claisse e modelo Fluxy. Esse procedimento dura em torno de 15 minutos e é responsável pela confecção dos discos de vidro, os quais estarão prontos para a análise no espectrômetro de fluorescência de raios-x.

O espectrômetro do laboratório de Geoquímica Analítica do Instituto de Geociências – UNICAMP é da marca Philips e modelo PW 2404. O princípio da fluorescência consiste na produção de uma vacância nas camadas orbitais atômicas (camadas mais internas como a K ou L). A injeção de raios-X se dá através da excitação de um tubo de raio-X de berílio (Be), o qual provoca a excitação de camadas internas e permite que ocorra uma vacância, assim essa vacância é preenchida por átomos das camadas mais externas do elemento em análise, provocando um raio-X secundário e característico para cada elemento, o que pode ser mensurado (POTTS, 1992).

Após esse procedimento, esses raios-x são conduzidos a um colimador, que será responsável pela horizontalização do feixe de raios-X, onde ocorrerão as medições por detectores, através da difração desse feixe de raios. A medição pode ocorrer simultaneamente com vários cristais ou pausadamente com um cristal por vez.

Os minerais de interesse analisados na FRX são os minerais maiores, em especial o Fe, Na, Al, K e alguns traços como o Ti. Os perfis lateríticos por se desenvolverem a partir das altas taxas intempéricas são compostos basicamente por óxidos e hidróxidos de alguns elementos, o que dependerá do material de origem, condições climáticas, fatores bióticos e hidrológicos, condições de Eh e pH, história geomorfológica e tectônica, fator tempo e mudanças paleoambientais (THOMAS, 1994). Dessa maneira, poucos são os minerais que resistiram a esse forte intemperismo, em sua grande maioria, podem ser encontrados óxi-hidróxidos de Fe ou Al (como hematita e goethita ou gibbsita e caulinita consecutivamente), quartzo e alguns óxidos que são bem estáveis e resistentes ao intemperismo como o óxido de Ti, U.

Antes de qualquer análise o espectrômetro necessita de uma calibração prévia com materiais de referência certificados, os quais darão credibilidade à medição. O resultado das medições é expresso em gráficos com os diversos picos de cada elemento. Esses picos demonstrarão o elemento e sua intensidade, ou seja, a concentração elementar.

5.3 – Aerogamaespectrometria

O levantamento aerogeofísico, realizado pela Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (CODEMIG), constou de perfis aeromagnetométricos e aerogamaespectrométricos de alta densidade de amostragem, com linhas de voo e controle espaçadas de 400 e 8000 metros, respectivamente, orientadas nas direções N-S e E-W. A altura de voo foi fixada em 100 m sobre o terreno e durante o aerolevanteamento foram utilizadas três aeronaves para recobrimento da área de estudo

As leituras do magnetômetro Scintrex CS-2 e resolução de 0,001 nT foram realizadas a cada 0,05 segundo, o que equivale, para a velocidade de 280 km/h da aeronave, a aproximadamente 3,9 m no terreno. Foi utilizado por todas as aeronaves gamaespectrômetros EXPLORANIUM, modelo GR-820, de 256 canais espectrais, onde o espectro de cada um dos cristais detectores é analisado individualmente para determinação precisa dos fotopicos de potássio, urânio e tório. As leituras dos gamaespectrômetros são realizadas a cada segundo, representando medições a intervalos de aproximadamente 78 m no terreno (LASA, 2006).

Para a cobertura completa da área relativa ao projeto foram efetuados 185.264,979 km lineares de perfis geofísicos. Os dados encontram-se georreferenciados pelo sistema de coordenadas UTM, meridiano central 45° W, zona 23 sul.

Para a geração das malhas regulares foram utilizadas as rotinas do Oasis Montaj de minimum curvature (RANGRID) e bi-directional line gridding (BGRID). Nos dados radiométricos utilizou-se a curvatura mínima e nos magnetométricos a interpolação bidirecional. Os programas BGRID e RANGRID interpolam dados em perfis paralelos com linhas orientadas, usando curvatura mínima (RANGRID) e spline bicúbico (BGRID) para interpolação de amostras nos pontos do grid (LASA 2006).

Dos dados recebidos, da CODEMIG, utilizou-se os canais individuais de contagem total, potássio, tório e urânio. A partir destes dados foram gerados novos produtos que foram utilizados e apresentados neste trabalho.

5.3.1 – Produtos derivados dos dados gamaespectrométricos

Os dados gamaespectrométricos são obtidos medindo-se a radiação gama emitida por determinados elementos que compõe os diversos tipos de rochas. A contagem de radiação gama medido é proporcional à concentração dos elementos. Os dados gamaespectrométricos são complementares ao estudo dos produtos derivados do campo magnético anômalo. Isto por que fontes magnéticas de várias profundidades contribuem para o campo medido enquanto que a maior parte dos dados radiométricos representam apenas os primeiros 30 a 40 centímetros da superfície.

Os mapas analisados foram gerados a partir dos canais gamaespectrométricos (K, eU, eTh, e contagem total). A partir dos canais de potássio, equivalente de tório e equivalente de urânio foram elaboradas composições ternárias, em falsa cor, utilizando os padrões de cores RGB e CMY.

Os canais de K, eTh e eU foram comparados com modelo digital de terreno gerado a partir dos dados do aerolevanteamento, com o objetivo de observar o efeito da topografia sobre a concentração dos elementos. Efeitos de intemperismo químico e transporte de materiais devem ser observados para evitar interpretações errôneas. A análise destes produtos não indicaram problemas para interpretação dos dados devido à transporte de material., pois nos horizontes superficiais encontramos alto teor de tório e urânio principalmente, nas áreas de ocorrência de perfis lateríticos.

Como foi dito, as imagens ternárias possibilitam a visualização das concentrações dos três elementos em uma única imagem facilitando a discriminação dos domínios gamaespectrométricos. O K, eTh e eU são representados respectivamente pelas cores vermelho, verde e azul nas imagens RGB e pelo ciano, magenta e amarelo nas imagens CMY.

5.4 – Macromorfologia

A macromorfologia foi realizada em campo, ou seja, as descrições primárias dos perfis de alteração. Essas descrições são muito importantes, principalmente na hora da amostragem, pois são responsáveis pela separação dos horizontes e conseqüentemente a coleta das amostras.

A macromorfologia se resume em análises pedológicas rotineiras, como identificação e nomenclatura dos horizontes, cor, textura, estrutura, porosidade, cerosidade, consistência, cimentação, nódulos e concreções minerais (SANTOS et al., 2005).

5.5 – Micromorfologia

A Micromorfologia é de grande importância no trabalho, pois a mesma permite realizar inferências sobre a gênese do solo ou crosta laterítica. Assim, foram feitas lâminas delgadas no laboratório de laminação do Instituto de Geociências – UNICAMP, como também no Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP Rio Claro.

Essas lâminas foram coletadas de modo que não houvesse deformação do perfil de alteração em si, contudo foram feitas lâminas apenas do material que foi coletado em Patrocínio e Lagoa Formosa, pois as crostas apresentavam várias tonalidades de cor e marcas de oxirredução.

Os procedimentos para a confecção das lâminas delgadas consistem na coleta e escolha da amostra indeformada, ou seja, assinalando a orientação do perfil pedológico. Posteriormente essas amostras foram levadas ao laboratório de laminação, onde foram serradas, após isso foram lixadas até ficarem planas e sem nenhuma diferença de relevo. Posteriormente houve a impregnação com resina araldite, tomando certo cuidado para que não fiquem bolhas de ar na resina. Findado esse procedimento essas lâminas foram desbastadas e foi colado uma lamínula para a finalização das lâminas, as quais poderão ser lidas e analisadas em microscópio ótico (CASTRO, 2008)

6. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

6.1 - Macromorfologia

6.1.1- Perfil Uberaba, MG.

Os perfis de alteração analisados foram em cortes de estrada, conforme a localização em questão. A primeira área piloto localizada ao norte do município de Uberaba, na rodovia federal BR-050, que liga este município ao município de Uberlândia, possui altura em torno de 29 metros e uma altitude de 957 metros em relação ao nível do mar, conforme as Figura 15 e Figura 16 do texto. Esse perfil foi dividido em 7 horizontes diferentes que foram nomeados com nome de U1 a U6.

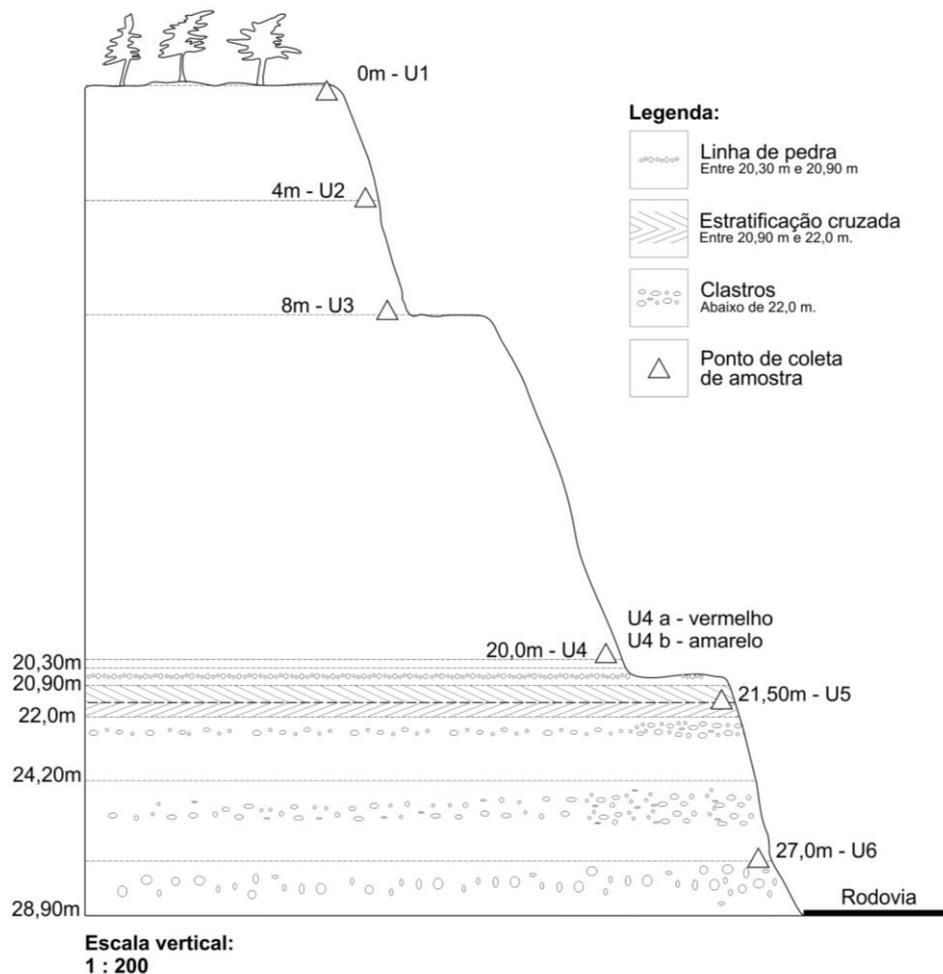


Figura 15 - Perfil esquemático da primeira área piloto, ponto 1, em Uberaba, MG.



Figura 16 - Perfil de coleta em Uberaba, MG – área piloto número 1 (primeiro ponto).

O mesmo perfil apresenta certa continuidade, a 87 metros “abaixo”, na mesma rodovia, pouco mais ao sul, onde pode ser encontrado o mesmo tipo de material pedológico, porém com níveis diferentes de intemperização, que pode ser observado na Figura 17 e Figura 18. A correlação pode ser feita através da linha de pedras que foi encontrada em ambos os perfis, além da similaridade do material.

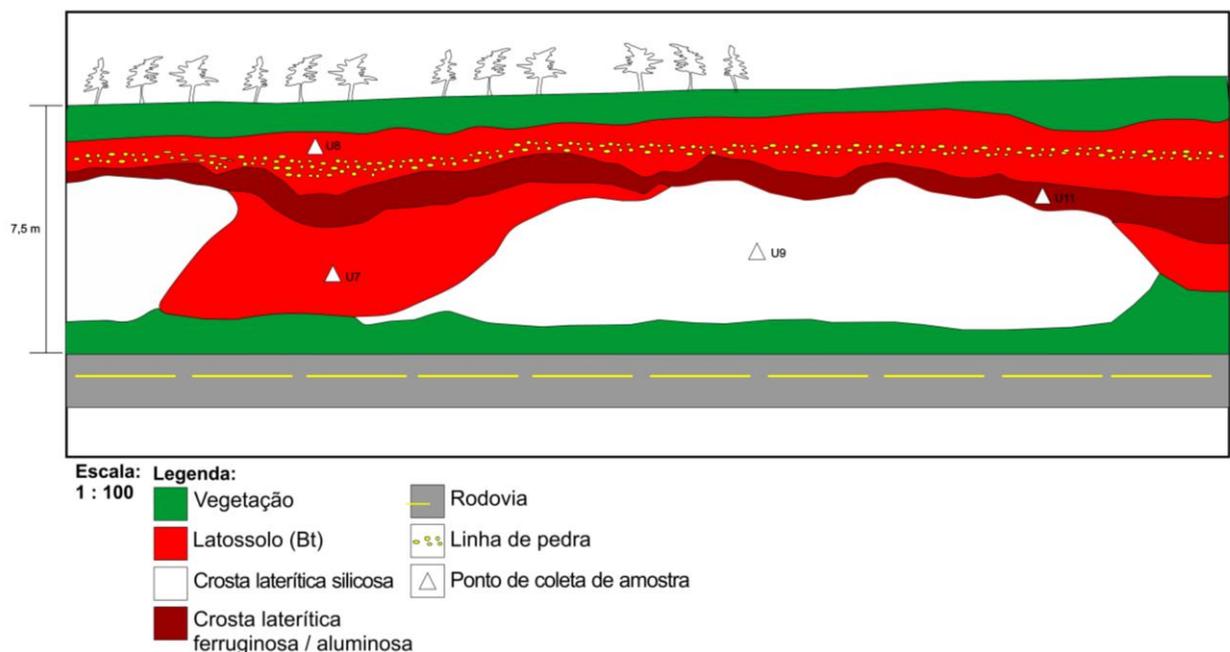


Figura 17 - Perfil esquemático da primeira área piloto, ponto 2, em Uberaba, MG.



Figura 18 - Perfil de coleta em Uberaba, MG – área piloto número 1 (segundo ponto).

Como relatado foram coletadas 7 amostras, de 6 horizontes diferentes, sendo que do horizonte U4 foram retiradas duas amostras em virtude da coloração distinta e tipos de material pedo-geológico distintos (U4-A e U4-B), o qual apresentava claras características de um horizonte caulínítico, pois as colorações variam de tons brancos a arroxeados/ avermelhados, como pode ser visto na Figura 19.



Figura 19– Horizonte de coleta U4A e U4B com colorações distintas, perfil em Uberaba, MG – área piloto 1 (primeiro ponto)

A coleta das amostras, de todos os perfis, ocorreu de maneira sistemática, a qual se deu do topo para a base, respeitando os diferentes níveis ou horizontes, conforme é elucidado na Figura 15 e Figura 17 do texto.

No segundo perfil foram coletadas mais quatro amostras de solo, além das outras setes, consequência dos níveis intempéricos distintos e diferença no material pedológico. Puderam ser encontrados silcretos e calcretos.

Como já citado anteriormente o indício que permitiu a correlação desses dois perfis além da presença de materiais pedo-geológicos semelhantes, foi a linha de pedra que está presente em ambos, como pode ser visto ao longo do texto, nas Figura 20 e Figura 21).



Figura 20 – Linha de pedra do primeiro perfil (área piloto 1), Uberaba, MG.



Figura 21 – Linha de pedra do segundo perfil (área piloto 1), Uberaba, MG.

O grau de intemperização distinto é claramente demarcado pela diferenciação de cores nos perfis. Apesar de possuírem uma similaridade de tons avermelhados, no segundo perfil existem tons esbranquiçados, caracterizados pelo elevado intemperismo dos arenitos da Formação Marília, os quais apresentam originalmente cimentação carbonática.

As Figura 22 e Figura 23, logo a seguir, representam, respectivamente, os materiais que foram coletados tanto no primeiro, como no segundo perfil, dessa área piloto. Pode-se perceber claramente a diferença na coloração e na composição dos materiais, onde no primeiro perfil apresentam uma composição mais argilosa, enquanto no segundo é mais arenosa, além da maior concentração de óxido de ferro, nas primeiras amostras, a qual muitas vezes causou cimentação (por óxido de ferro) e endurecimento desse material, transformando-o em crosta laterítica, o que é percebido pelos nódulos das imagens.

Nas amostras do primeiro perfil o material mais argiloso é derivado do alto intemperismo, formando horizontes caulíníticos, como o U4A e U4B, que pode ser observado na Figura 22, material esse que é de dupla coloração, rajada de tons esbranquiçados e avermelhados.



Figura 22 - Materiais coletados no primeiro perfil (área piloto 1), Uberaba, MG.

Na Figura 23 há uma situação distinta que é percebida nas duas primeiras imagens, nas quais a frente intempérica foi mais intensa, transformando o material em perfis lateríticos de matrizes distintas, que as do primeiro perfil, cuja são formadas, basicamente, por sílica e calcário, respectivamente. Esse perfil apresenta horizontes B texturais, ou seja, com uma vez e meia a mais de argila, o que pode ser observado na última imagem da Figura 25



Figura 23 - Materiais coletados no segundo perfil (área piloto 1), Uberaba, MG.

A Figura 24 e Figura 25 mostram a paleosuperfície encontrada na área piloto 1, percebe-se que esta superfície é extremamente aplainada, fruto do ciclo Sul-americano, ocorrido no Cretáceo superior, conforme King (1956). Superfície esta que truncou a superfície Gondwana e permitiu a formação dos Latossolos em grande

parte do estado de Minas Gerais, Bahia e São Paulo, consequência do abatimento e aplainamento praticamente total do relevo.



Figura 24 - Superfície ao fundo da imagem, na primeira área piloto, em Uberaba, MG.



Figura 25 - Superfície erosiva correspondente, na primeira área piloto, em Uberaba, MG.

Os perfis lateríticos desenvolveram sobre a grande superfície formada no Cretáceo Superior-Paleógeno. Logo abaixo se pode encontrar a descrição realizada em campo dos materiais coletados, através de análises visuais e macromorfológicas.

	U1	U2	U3	U4A
Cor	Exteriormente a predominância é de um tom marrom, porém interiormente há uma mistura de tons vermelhos (7,5 YR 3/6) e amarelos (10 YR 6/8) e tons mais escuros (7,5 YR 2,5/1)	Há uma predominância de cores 2,5 YR 5/4 nas porções maiores com manchas amareladas (2,5 YR 7/8). Nas áreas mais internas as cores diferem apresentando valores de 7,5 R 2,5/3 e 2,5 YR 4/4.	Apresenta uma homogeneidade de na cor, variando entre tons vermelho-amarelados (2,5 YR 5/4).	Há distinção entre duas cores bem demarcadas. A primeira uma cor esbranquiçada e a segunda uma cor arroxeada (7,5 R 4/4) que é a de maior predominância.
Textura	Grande quantidade de areia, porém sedoso (presença de silte).	Horizonte endurecido – ferricrete. Material conglomerático	Argiloso com a presença de microagregados	Muito argiloso com a presença de microagregados, um pouco sedoso.
Estrutura	Exteriormente formada por estrutura sub-angular grande a médio, porém camadas internas de estrutura laminar.	Sub-angular de tamanho grande a médio	Prismática de tamanho grande a pequeno	Em blocos de grandes a pequenos
Porosidade	Muitos poros com tamanho médio a grande	-	Poucos poros de tamanho pequeno	-
Cerosidade	-	-	-	-
Consistência	Ligeiramente duro, não pegajoso e não plástico	Extremamente duro	Extremamente duro, pegajoso e plástico	Ligeiramente duro, pegajoso e plástico
Reativo HCl	-	-	-	-
Nódulos	Dominantes, duros, de forma esférica a irregular, cores acinzentadas e pretas	Frequentes, de tamanho pequenos a grandes, exteriormente predominam cores amareladas (2,5 Y 7/8) e interiormente cores muito escuras (preto). Mosqueados brilhantes e escuros – cores metálicas. Nódulos muito duros.	Frequentes, de tamanho pequenos a grandes com cores escuras e metálicas, de caráter arredondado.	-
Eflorescência	-	-	-	-
Cimentação	Cimentação por óxidos de ferro	Cimentação por óxidos de ferro	-	-

Quadro 2 – Análises macromorfológicas dos materiais coletados em Uberaba, MG.

	U4B	U5	U6	U7
Cor	Há distinção entre 3 cores. A primeira de tom esbranquiçado, a segunda de tons amarelados (10 YR 6/8) e a terceira de tons arroxeados (7,5 R 2,5/2)	Heterogeneidade na cor predominando valores de 7,5 R 3/4, além de manchas esbranquiçadas (2,5 YR 7/4)	Predominância de cores vermelho esbranquiçadas (7,5 R 7/4)	Predominância de cores avermelhadas (7,5 R 4/6), porém há tons amarelados (5 YR 5/8), brancos (10 YR 7/2) e cinzas (GLEY 2 4/5PB)
Textura	Argiloso, porém contém quantidade relevante de areia, pouco sedoso.	Franco (argilo-siltoso)	Franco (argilo-siltoso)	Muito sedoso, porém há a presença de grãos de areia
Estrutura	Em blocos de grandes a pequenos	Sub-angular de tamanho muito pequeno a grande	Sub-angular de tamanho pequeno a grande	Sub-angular de tamanho pequeno a grande
Porosidade	-	Poucos poros de tamanho pequeno	Poucos poros de tamanho pequeno a muito pequeno	Poucos poros de tamanho muito pequeno
Cerosidade	-	-	-	-
Consistência	Duro, pegajoso e plástico.	Ligeiramente duro. Ligeiramente pegajoso e plástico	Ligeiramente duro. Ligeiramente pegajoso e plástico	Ligeiramente duro. Ligeiramente pegajoso e plástico
Reativo HCl	-	-	-	-
Nódulos	-	-	Pouco frequentes, de tamanho pequeno e de cores esbranquiçadas (5YR 8/2)	-
Eflorescência	-	-	-	-
Cimentação	-	-	-	-

Quadro 3 - Análises macromorfológicas dos materiais coletados em Uberaba, MG.

	U8	U9	U10
Cor	Praticamente branco (5 Y 8/2 e 7/2) com porções mais avermelhadas (2,5 YR 6/6 e 4/8) e no interior destas manchas negras	Homogeneidade na cor de tom mais avermelhado escuro (10 R 6/4,5)	Heterogeneidade nas cores, predominando tons acinzentados (5 Y 7/1), porém há tons esbranquiçados e tons pretos pontuais
Textura	Crosta (calcrete) – material conglomerático com matriz arenosa e clastos de 4 mm a 3cm sub-arredondados	Franco (argilo-siltoso)	Crosta (silcretas) – material conglomerático com matriz arenosa.
Estrutura	Em blocos muito grandes	Em blocos de muito pequenos a grandes	Em blocos muito grandes
Porosidade	Muitos poros de tamanho muito pequeno a pequeno	Poucos poros de tamanho pequeno	-
Cerosidade	-	-	-
Consistência	Muito duro	Ligeiramente duro. Pegajoso, plástico e sedoso	Extremamente duro
Reativo HCl	-	-	-
Nódulos	Carbonáticos, frequentes de 3mm a 1 cm e duros, normalmente irregulares, mas parecem angulares e raramente esféricos. Fortemente reativos a HCl	-	Silicáticos, pouco frequentes
Eflorescência	Ao longo de fissuras ou bordas de clastos aparecem eflorescências de calcitas.	-	No interior da amostra, em fissuras aparecem eflorescência de quartzo.
Cimentação	Por carbonato de cálcio	-	Por sílica

Quadro 4 - Análises macromorfológicas dos materiais coletados em Uberaba, MG.

Através da análise macromorfológica fica evidente o alto nível intempérico desses perfis, primeiramente por meio das colorações que variam em tons avermelhados e amarelados principalmente, manifestando a presença dos óxi-hidróxidos de ferro e alumínio, os quais estão sofrendo oxirredução. Secundariamente a textura dos materiais apesar de ser argilosa mostra-se também arenosa, ou seja, microagregados de argilominerais.

6.1.2 - Perfil Patrocínio, MG.

A segunda área piloto, localizada no município de Patrocínio, situada na faixa Brasília, diferentemente das outras áreas, não teve suas coletas em cortes de estrada em si, mas sim, especificamente, no morro denominado Chapadão do Ferro, na intrusão alcalina de Serra Negra, referente ao soerguimento de Alto Paranaíba.

Assim, as coletas aconteceram conforme a mudança de declividade aparente, o que resultou em 12 amostras tanto de solo, crostas lateríticas e rochas em decomposição (regolito) – referentes à intrusão alcalina propriamente.

O complexo de Serra Negra apresenta, em torno de, 179 metros de altitude, sendo assim está a 1196m em relação ao nível do mar, com declividades diversas, que pode ser visto na Figura 26, a qual representa um perfil esquemático.

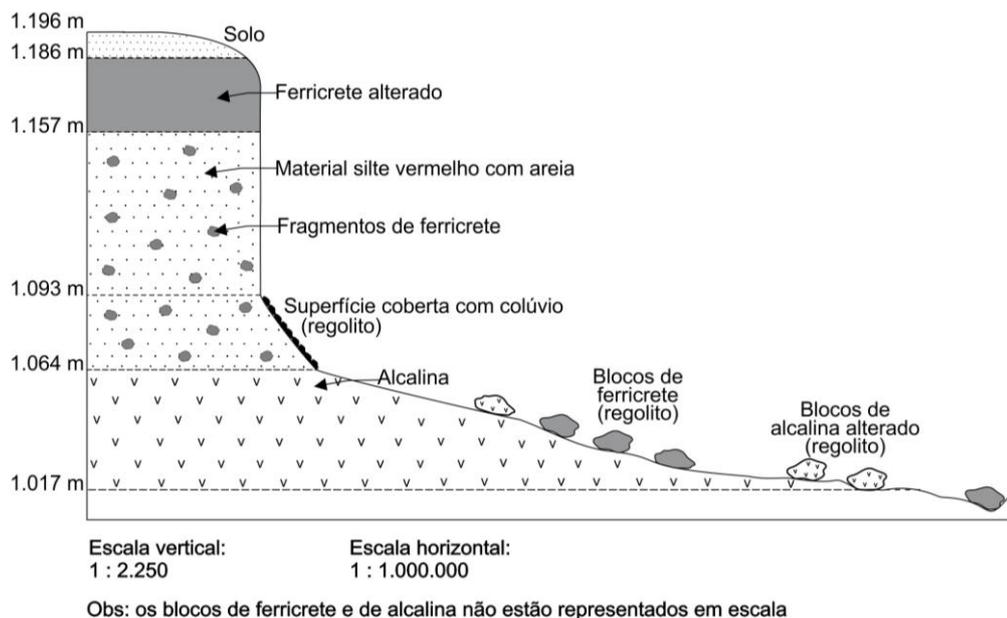


Figura 26 - Perfil esquemático do soerguimento de Alto Paranaíba (SAP), na segunda área piloto, em Patrocínio, MG.

A Figura 27 demonstra o topo da alcalina, o qual possui uma superfície extremamente aplainada por volta de 1196 m em relação ao nível do mar, sendo correlata a superfície Sul-americana, corroborando com King (1956). Apesar das cotas altimétricas extrapolarem a suposição do autor percebeu-se que esta superfície é a mesma que das outras duas áreas, porém formou-se em cotas altimétricas mais elevadas devido ao soerguimento de Alto Paranaíba.



Figura 27 - Topo do Chapadão do Ferro, ao fundo superfície extremamente aplainada, segunda área piloto, em Lagoa Formosa, MG.

Percorrendo as estradas do morro foram encontrados cascalhos de ferricrete que vem sendo utilizado em estradas vicinais, que pode ser visto na Figura 28. Fato este, que demonstra o grau do desenvolvimento desses solos, cujo depende diretamente das ações intempéricas intensas.



Figura 28 – Ferricrete sendo utilizado como cascalhos em estradas vicinais, segunda área piloto, em Lagoa Formosa, MG.

Vários foram os materiais encontrados nessa área, além dos que possuem matriz férrica, foram encontrados também materiais com matriz arenosa, reflexo do intenso intemperismo, de um clima quente e úmido, o qual, lixiviou argilominerais deixando apenas o quartzo e alguns outros elementos muito resistentes ao intemperismo, como o ferro, o alumínio e o titânio. A Figura 29 e Figura 30 demonstram esse tipo de material. Além do mais, foram encontrados materiais que sofreram com o metamorfismo regional, decorrente da intrusão alcalina, a qual afetou rochas do Grupo Araxá e Paranoá, transformando esses materiais em metarenitos, quartzitos, gnaisses, entre outras rochas.



Figura 29 - Materiais de matriz arenosa encontrados no morro, segunda área piloto, em Lagoa Formosa, MG.



Figura 30 - Materiais de matriz arenosa encontrados no morro, segunda área piloto, em Lagoa Formosa, MG.

As crostas lateríticas geralmente se encontram estruturadas através de grandes blocos ou em vertentes expostas, as quais possuem uma vegetação muito específica sobre elas, denominada como canga, conforme podemos ver na Figura

31. Dessa maneira, a presença desse material, ocorre nas áreas de mudanças de declividade, onde o contato com água, conjuntamente com as altas temperaturas permitiu a formação e estruturação dessas crostas. Alguns materiais encontrados e coletados apresentam uma alta presença da atividade biológica, como insetos e raízes de plantas, cuja é responsável pela decomposição das lateritas, retransformando-as em solo, vide a Figura 32.



Figura 31 – Ferricretes em grandes blocos ou em vertentes, segunda área piloto, em Lagoa Formosa, MG.



Figura 32 – Exposições com alta atividade biológica, segunda área piloto, em Lagoa Formosa, MG.

A alcalina em si é encontrada nas vertentes que bordeiam o morro, esta se apresenta em alto grau de intemperismo, transformando-se em material pedológico. Apesar da alcalina apresentar visivelmente estrutura rochosa após a manipulação do material percebeu-se que este encontra-se em processo de decomposição, ou seja, está transformando-se em regolito. A Figura 33 e Figura 34 demonstram o afloramento intemperizado e o regolito, respectivamente.



Figura 33 – Afloramento alcalino de Serra Negra, segunda área piloto, em Lagoa Formosa, MG.



Figura 34 – Afloramento alcalino de Serra Negra com presença de regolito no sopé da vertente, segunda área piloto, em Lagoa Formosa, MG.

Nos quadros 5, 6 e 7, logo a seguir, são apresentados os dados macromorfológicos dos materiais coletados, os quais muitas vezes apresentam grandes diferenças, já que estão em um grau de desenvolvimento distinto.

	ALC 01	ALC 02	ALC 03	ALC 04
Cor	Homogeneidade predominando valor de 10 YR 6/8	Heterogeneidade: variando entre tons marrom amarelados de valor 7,5 YR 5/6	Cor exterior predominante amarelo avermelhado de valor 5YR 4/6 e cor interior predominante tons escurecidos: 7,5 YR 8/1	Homogeneidade na cor com valor de , apresentando valor de 2,5 YR 4/6, porém com manchas amareladas de oxirredução com valor de 10 YR 6/6
Textura	Horizonte endurecido – ferricrete. Material conglomerático.	Horizonte endurecido – ferricrete. Material conglomerático.	Horizonte endurecido – ferricrete. Material conglomerático.	Horizonte endurecido – ferricrete. Material conglomerático.
Estrutura	Blocos sub-angulares de tamanho médio, com estrutura interna laminar (ferricrete)	Blocos sub-angulares grandes	Blocos angulares de tamanho pequeno a médio, com estrutura interna laminar (ferricrete)	Blocos angulares muito grandes
Porosidade				
Cerosidade	-	-	-	-
Consistência	Extremamente duro	Extremamente duro	Extremamente duro	Extremamente duro
Reativo HCl	-	-	-	-
Nódulos	Frequentes de tamanho pequeno a médio com cores escuras acinzentadas	Frequentes de tamanho pequeno a médio com cores escuras acinzentadas	Pouco frequentes de tamanho pequeno com cores muito escuras	-
Eflorescência	-	-	-	-
Cimentação	Cimentação por óxidos de ferro	Cimentação por óxidos de ferro	Cimentação por óxidos de ferro	Cimentação por óxidos de ferro

Quadro 5 - Análises macromorfológicas dos materiais coletados em Patrocínio, MG.

	ALC 05	ALC 06	ALC 07	ALC 08
Cor	Rocha em decomposição (alcalina) predominando cores esbranquiçadas - 2,5 YR 8/3, variando entre tons acinzentados mais escuros e tons acinzentados mais claros, com valor de 2,5 Y 6/2, mesclando com tons marrons.	Cor externa indefinida – heterogênea. Cor interna predominante 5 YR $\frac{3}{4}$.	Homogeneidade na cor com valor de 5 YR 2/4	Heterogeneidade na cor. Cor predominante com valor de 2,5 Y4/3
Textura	Rocha - alcalina	Horizonte endurecido – ferricrete. Material conglomerático.	Argiloso a muito argiloso com presença de microagregados	Muito argiloso com presença de microagregados e sedoso
Estrutura	Blocos angulares a sub-angulares de tamanho médio	Blocos sub-angulares de tamanho médio	Blocos angulares e sub-angulares pequenos e granular de tamanho pequeno a muito pequeno	Blocos sub-angulares e granular de tamanho pequeno
Porosidade				
Cerosidade	-	-	-	-
Consistência	Rocha intemperizada (regolito)	Extremamente duro	Friável, pegajoso e plástico	Friável, pegajoso e plástico
Reativo HCl	-	-	-	-
Nódulos				
Eflorescência	-	-	-	-
Cimentação	-	Cimentação por óxidos de ferro	-	-

Quadro 6 - Análises macromorfológicas dos materiais coletados em Patrocínio, MG.

	ALC 09	ALC 10	ALC 11	ALC 12
Cor	Cor homogênea predominante vermelha com valor de 2,5 YR 3/2	Cores vermelho amareladas (oxirredução) com valor de 5 YR 4,5/6	Cor vermelha intensa com valor de 2,5YR4/6	Heterogeneidade na cor, predominando cores com valor de 2,5 YR 3/4. Manchas vermelhas com cor 2,5 YR 3/3 e manchas amarelas de oxirredução com valor de 7,5 YR 5/8.
Textura	Horizonte endurecido – ferricrete. Material conglomerático.	Horizonte endurecido – ferricrete. Material conglomerático.	Argiloso, com presença de microagregados. Ligeiramente sedoso	Horizonte endurecido – ferricrete. Material conglomerático.
Estrutura	Blocos sub-angulares de tamanho grande a médio, com estrutura interna laminar (ferricrete)	Blocos angulares a sub-angulares de tamanho grande a médio.	Variação na estrutura: granular e prismática, com presença de blocos angulares	Blocos sub-angulares de tamanho grande a médio
Porosidade				
Cerosidade	-	-	-	-
Consistência	Extremamente duro	Ligeiramente duro a duro Obs.: Alto grau de intemperismo	Muito friável, pouco plástico a plástico e pouco pegajoso	Extremamente duro
Reativo HCl	-	-	-	-
Nódulos				
Eflorescência	-	-	-	-
Cimentação	Cimentação por óxidos de ferro	Cimentação por óxidos de ferro	-	Cimentação por óxidos de ferro

Quadro 7 - Análises macromorfológicas dos materiais coletados em Patrocínio, MG.

A macromorfologia dos perfis expressa claramente o alto grau de desenvolvimento das crostas lateríticas desse local, onde a cimentação por óxido de ferro é presente em várias das amostras, isso é consequência do alto intemperismo visto nas três áreas pilotos, o qual lixiviou os argilominerais deixando óxidos de elementos estáveis. Na maioria das amostras são encontradas feições nodulares escurecidas de tons cinzas a negros, os quais são formados basicamente por óxido de ferro (hematita), sendo que muitas vezes apresentam ao seu redor cores amareladas e alaranjadas, fruto dos processos de oxirredução desse elemento, formados por óxido de ferro hidratado (goethita).

A estrutura desses materiais se dá em grandes blocos, como já dito anteriormente, que se encontram nas mudanças de declividade da paisagem. Sua consistência, quando cimentadas por óxido de ferro, é de dura a muito dura, porém são encontrados materiais que estão passando pelo intenso intemperismo e acabam por deixar sua estrutura original e se transformar em solo ou regolito em si, como é o caso da intrusão alcalina.

O que fica claro após a análise desses materiais é que as crostas e a alcalina apresentam graus de desenvolvimento distintos, dessa maneira pode-se inferir que as crostas lateríticas foram formadas sobre um material diferente da intrusão, ou seja, um pedimento. Esse fato se constata através dos afloramentos lateríticos, nas áreas de mudança da declividade, áreas estas que são aplainadas, onde desenvolveram-se Latossolos, os quais originaram os perfis lateríticos.

6.1.3 – Perfil Lagoa Formosa, MG.

A terceira área piloto analisada situa-se em uma estrada vicinal do município de Lagoa Formosa com destino ao município de Limoeiro. Esse perfil possui em torno de 78m verticalmente e se encontra a 1106 m em relação ao nível no mar, como pode ser visto na Figura 35

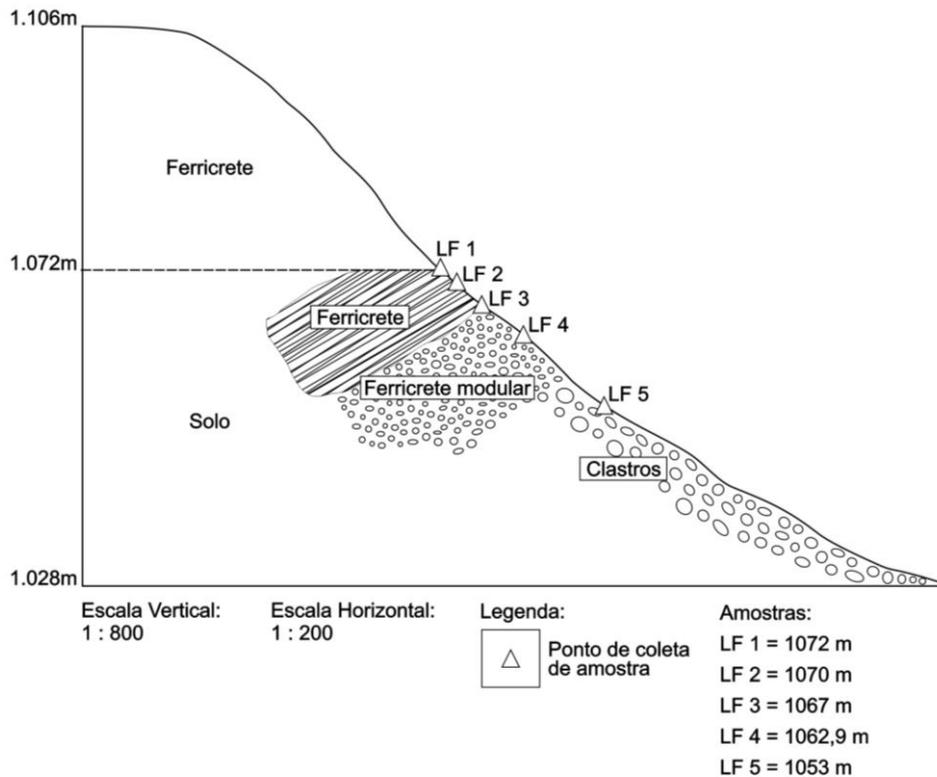


Figura 35 - Perfil esquemático da terceira área piloto, em Lagoa Formosa, MG.

Nesse local foram coletadas 7 amostras, as quais variam entre crostas e solo, sendo que um dos horizontes foi dividido entre A e B, consequência da mudança da coloração e do material pedológico, conforme mostra a Figura 36. A coleta foi realizada conforme o ponto máximo de mudança na declividade, onde os horizontes foram divididos entre LF1 a LF6. A Figura 37 demonstra o perfil em si, através de uma fotografia.



Figura 36 - Horizontes com coloração distinta (LF 5-A e LF5-B), segunda área piloto, em Lagoa Formosa, MG.



Figura 37 - Parte do perfil de coleta, segunda área piloto, em Lagoa Formosa, MG.

O topo da paleosuperfície encontra-se numa altitude, em torno de, 1100 m em relação ao nível do mar. Essa superfície encontra-se dissecada com o embasamento rochoso aflorando nos vales. No ponto de coleta há um solo delgado com cerca de 50 cm de espessura com areia e fragmentos de ferricrete, logo abaixo o perfil laterítico em si. A superfície pode ser vista na Figura 38.



Figura 38 - Paleosuperfície, segunda área piloto, em Lagoa Formosa, MG.

Analisando a Figura 38, pode-se perceber que os topos das formas de relevo são concordantes, ou seja, são aplainados e se encontram basicamente na mesma cota altimétrica, mostrando similaridade. A dissecação vertical nessa área é mais relevante, aflorando escarpas sinuosas e um relevo mais ondulado. Há presença de formas côncavas, contudo a predominância são de formas convexas.

Quanto às coletas, no primeiro ponto de amostragem LF1 há muitos canais feitos por animais (formigas, por exemplo) e ferricrete nodular. Na porção mediana desse perfil há um clastro de quartzito bem arredondado e ferruginizado, com cerca de 6 cm (nível de coleta do segundo horizonte LF2), conforme a Figura 39 elucidada.



Figura 39 - Clastro de quartzito encontrado no perfil laterítico, terceira área piloto, em Lagoa Formosa, MG.

Nessa área os materiais coletados, em sua maioria, apresentavam-se na forma de crosta laterítica. Ou seja, um material endurecido e bem coeso, apresentando estruturas nodulares e marcas de oxirredução, como pode ser observado na Figura 40



Figura 40 - Crosta laterítica, com marcas de oxirredução, coletado na terceira área piloto, em Lagoa Formosa, MG.

Pode-se perceber que quanto mais próximo ao vale, a crosta laterítica vai se transformando em solo, o qual possui caráter mais areno-argiloso, de estrutura em blocos, fruto da percolação da água, proximidade dos canais de drenagem e oscilação do lençol freático, o que permitiu a decomposição desses horizontes endurecidos ou o processo de laterização ainda está em desenvolvimento, estruturando as crostas.

Logo a seguir são apresentados os dados macromorfológicos, nos quadros 8 e 9.

	LF1	LF2	LF3
Cor	Heterogeneidade nas cores, predominando tons amarelados (10 YR 7/8) e tons mais escuros (10 yr 3/4)	Heterogeneidade de cores, predominando tons amarelados (10 YR 7/8). Possui tons marrons (10 YR 3/3) e tons esbranquiçados	Heterogeneidade nas cores, predominando tons mais avermelhados (2,5 YR 5/6). Possui tons amarelados (10 YR (8/6) e tons marrons (10 YR 3/2)
Textura	Horizonte endurecido – ferricrete. Material conglomerático.	Horizonte endurecido – ferricrete. Material conglomerático.	Horizonte endurecido – ferricrete. Material conglomerático.
Estrutura	Blocos angulares, de tamanho pequeno a médio.	Blocos angulares, de tamanho pequeno a médio.	Blocos angulares, de tamanho pequeno a médio.
Porosidade	Poucos poros de tamanho pequeno a muito pequenos	Poucos poros de tamanho pequeno a muito pequenos	Frequentes, de tamanho pequeno a muito pequenos.
Cerosidade	-	-	-
Consistência	Extremamente duro	Extremamente duro	Extremamente duro
Reativo HCl	-	-	-
Nódulos	Pouco frequentes de tamanho pequeno em torno de 5 mm e arredondados.	Frequentes, de tamanho pequenos variando entre 2 mm a 1 cm e arredondados.	Pouco frequentes de tamanho pequeno a muito pequeno variando entre 2 a 5 mm e arredondados
Eflorescência	-	-	-
Cimentação	Cimentação por óxidos de ferro	Cimentação por óxidos de ferro	Cimentação por óxidos de ferro

Quadro 8 - Análises macromorfológicas dos materiais coletados, em Lagoa Formosa, MG.

	LF4	LF5A	LF5B	LF6
Cor	Homogeneidade na cor, predominando tons amarelados (7,5 YR 6/8)	Homogeneidade na cor, predominando tons avermelhados (2,5 YR 3/6)	Homogeneidade na cor, predominando tons escuros (7,5 YR 5/8 e 4/6)	Heterogeneidade nas cores, predominando tons marrons escuros (10 YR 4/4) e tons amarelados (10 YR 6/8).
Textura	Horizonte endurecido – ferricrete. Material conglomerático.	Muito argiloso, com presença de microagregados.	Muito argiloso, porém sedoso, e com presença de microagregados.	Horizonte endurecido – ferricrete. Material conglomerático.
Estrutura	Blocos de tamanho pequeno	Blocos de tamanho pequeno	Blocos de tamanho pequeno	Blocos angulares de tamanho pequeno a médio.
Porosidade	Pouquíssimos poros, de tamanho muito pequeno.	Pouquíssimos poros, de tamanho muito pequeno.	Pouquíssimos poros, de tamanho muito pequeno.	Frequentes de tamanho grandes a muito pequenos.
Cerosidade	-	-	-	-
Consistência	Duro a muito duro	Duro, pegajoso e plástico.	Duro, muito pegajoso e muito plástico.	Extremamente duro
Reativo HCl	-	-	-	-
Nódulos	-	-	-	Frequentes de tamanho pequeno a grandes.
Eflorescência	-	-	-	-
Cimentação	Cimentação por óxidos de ferro	-	-	Cimentação por óxidos de ferro

Quadro 9 - Análises macromorfológicas dos materiais coletados, em Lagoa Formosa, MG.

Através da análise das tabelas da macromorfologia, ocorrida em campo, percebe-se que esse horizonte também apresenta uma crosta laterítica bem desenvolvida. Este apresenta horizontes que são solo, os quais são friáveis, como se pode ver no horizonte LF-5A e LF-5B, os quais possuem grande presença de vegetação que os recobre tanto na porção superficial quanto frontal.

Diferentemente do solo que foi descrito no parágrafo anterior os outros horizontes desse perfil são crostas, as quais apresentam estrutura em blocos angulares, de consistência dura a muito dura, cimentadas por óxido de ferro, com presença de nódulos e marcar de oxirredução.

Dessa maneira, após a descrição macromorfológicas das três áreas piloto o que se conclui é que estas possuem materiais extremamente semelhantes, quanto ao que foi visto e coletado. Material este formado em diferentes províncias geomorfológicas, com diferentes materiais de origem.

Apesar do recobrimento laterítico no estado de Minas Gerais ser indistinto, percebe-se que na Bacia Sedimentar do Paraná, no Orógeno Brasília e na Bacia Sedimentar do São Francisco são encontradas crostas lateríticas muito parecidas, as quais desenvolveram sobre um material completamente distinto, como basaltos e arenitos na Bacia do Paraná, a intrusão básico-alcálica no Orógeno ou sobre arenitos, siltitos e kamafugitos na Bacia do São Francisco. Esse evento de laterização ocorreu posteriormente ao aplainamento Sul Americano, ocorrido no Cretáceo Superior-Paleógeno, o que foi responsável, juntamente, com o clima extremamente agressivo desse período, por formar grandes perfis pedológicos de um solo extremamente desenvolvido, como os latossolos, os quais são formados em áreas de declividade com até 8%, para que posteriormente pudesse ocorrer a laterização. Sendo assim, a seguir são apresentados outros resultados e dados para a comprovação desse levantamento.

6.2 – Características geoquímicas e micromorfológicas

Nas análises das lâminas foram procurados elementos que comprovassem a alta atividade intempérica desde o período do aplainamento Sul-Americano, o Cretáceo Superior-Paleógeno, e conseqüentemente a formação de perfis lateríticos extremamente endurecidos, com horizontes muito endurecidos e cimentados por óxido de ferro ou alumínio, os quais são considerados pedimentos por alguns autores como Bigarella et al. (1965), advindos de um suposto Latossolo e perfil laterítico associado

Assim, são apresentadas imagens de quartzos corroídos, poros fissurais, cutãs e pedalidades, as quais mostram a agregação do material pedológico.

Vale ressaltar que foram feitas lâminas de amostras de apenas uma das áreas pilotos – Uberaba, de onde foram confeccionadas 6 lâminas. De qualquer forma, o trabalho extrapola a falta de material e traz uma visão geral, já que este, como descrito anteriormente, apresenta similaridades. Dando continuidade, a Figura 41 apresenta a argila orientada, denominada como cutãs. A qual é consequência das ações intempéricas em uma escala microscópica.

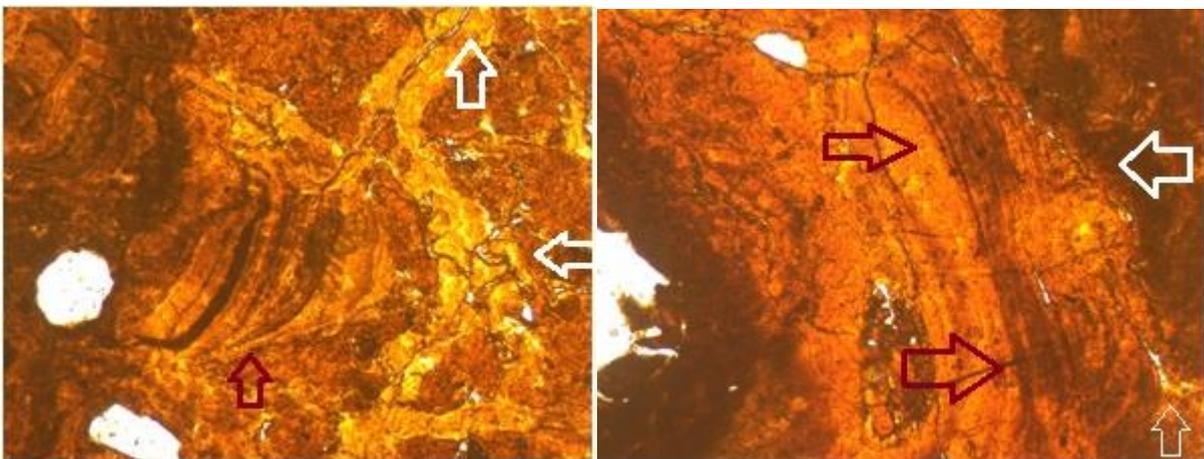


Figura 41 - Cutãs (Argila eluvial), indicadas pelas setas avermelhadas e poros fissurais indicados pelas setas brancas. Objetoivo 10 μm .

Os poros fissurais indicados na imagem anterior são reflexo de um tipo climático com duas estações bem definidas, ou seja, um clima tropical. Onde, uma dessas estações é muito quente e úmida e a outra é mais amena e seca, dessa maneira refletindo na escala microscópica como rachaduras, fruto dessa sequência climática úmida-seca. Outra situação que poros fissurais podem ser encontrados são

em vertissolos, com argilas expansíveis, contudo essa hipótese é descartada vide o material.

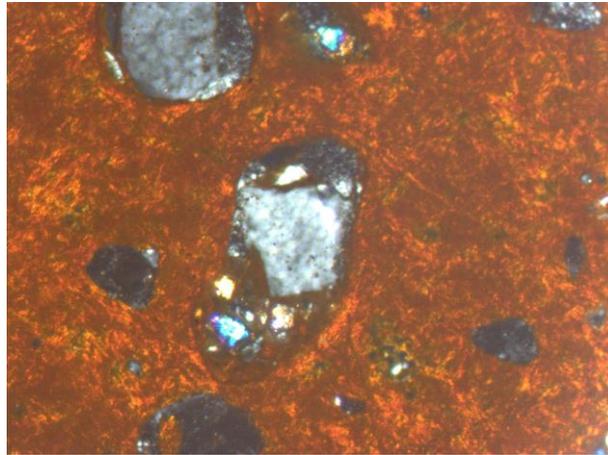


Figura 42 - Grãos de quartzo alterado envolto por plasma omnissépico. Objetoivo 2,5 μm .

A análise da Figura 42 mostra o plasma omnissépico, o qual é fruto da bioturbação de raízes, dessa maneira a trama da argila desenvolve-se dessa forma, cuja é deformada e emaranhada.

A Figura 43 é de relevância central no trabalho, pois representa claramente a intensidade do intemperismo, o qual foi suficiente para que corroessem os grãos de quartzo, como pode ser visto na lâmina. Essa evidência comprova a proposição de um ambiente muito quente e úmido que foi essencial para a formação das crostas lateríticas, que ocupam as áreas de topo atualmente, e que servem como uma 'capa', responsável por sustentar relevos proeminente, como altos topográficos.

Além, de demonstrar a alta atividade intempérica, a qual corroeu o esqueleto do solo, ou seja, os minerais primários, deixou apenas óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, minerais estes que são mais resistentes ao intemperismo.

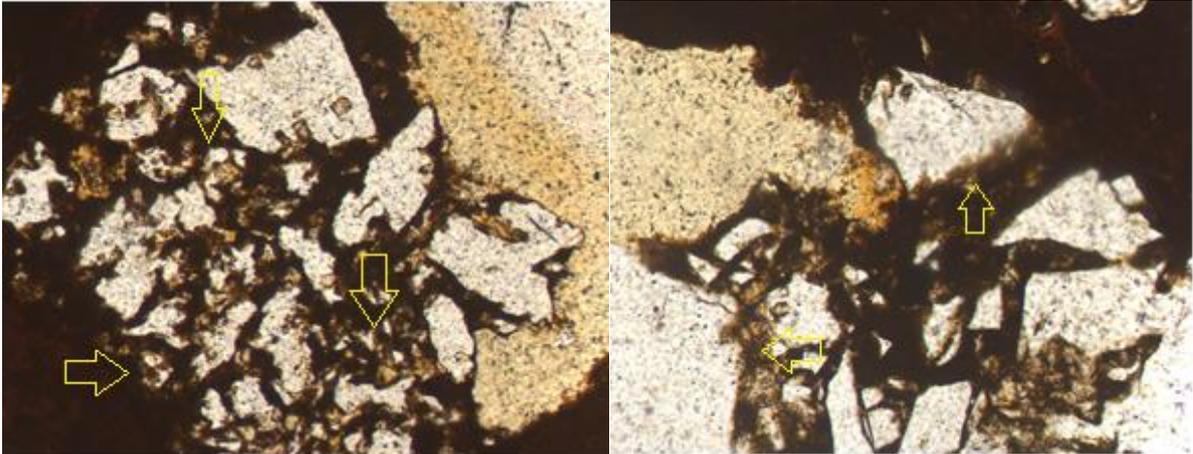


Figura 43 - Grãos de quartzo corroído, indicado por setas. Objetivo 2,5 μm .

As pedalidades mostram a estruturação dos micro grãos no interior da lâmina, ou seja, a evolução dos agregados e conseqüentemente a evolução do solo, indicando que atualmente o ferricrete está se desagregando. Na imagens 46, se consegue notar que a pedalidade se encontra em um grau de desenvolvimento moderado, onde as estruturas arredondadas mostram que existem vários micro grãos em desenvolvimento. Estes são de matriz ferruginosa e aluminosa, conseqüência do intemperismo agressivo, que lixiviou argilominerais, como também o quartzo.

É importante deixar claro que os processos que estão ocorrendo na escala visível (macro), também ocorrem na escala microscópica, sendo assim a partir da análise do quadro de descrição macromorfológica, perceber-se-á que a estrutura dos solos de Uberaba ocorre em bloco, como também nas lâminas, representada pela pedalidade arredondada, conforme a Figura 44.

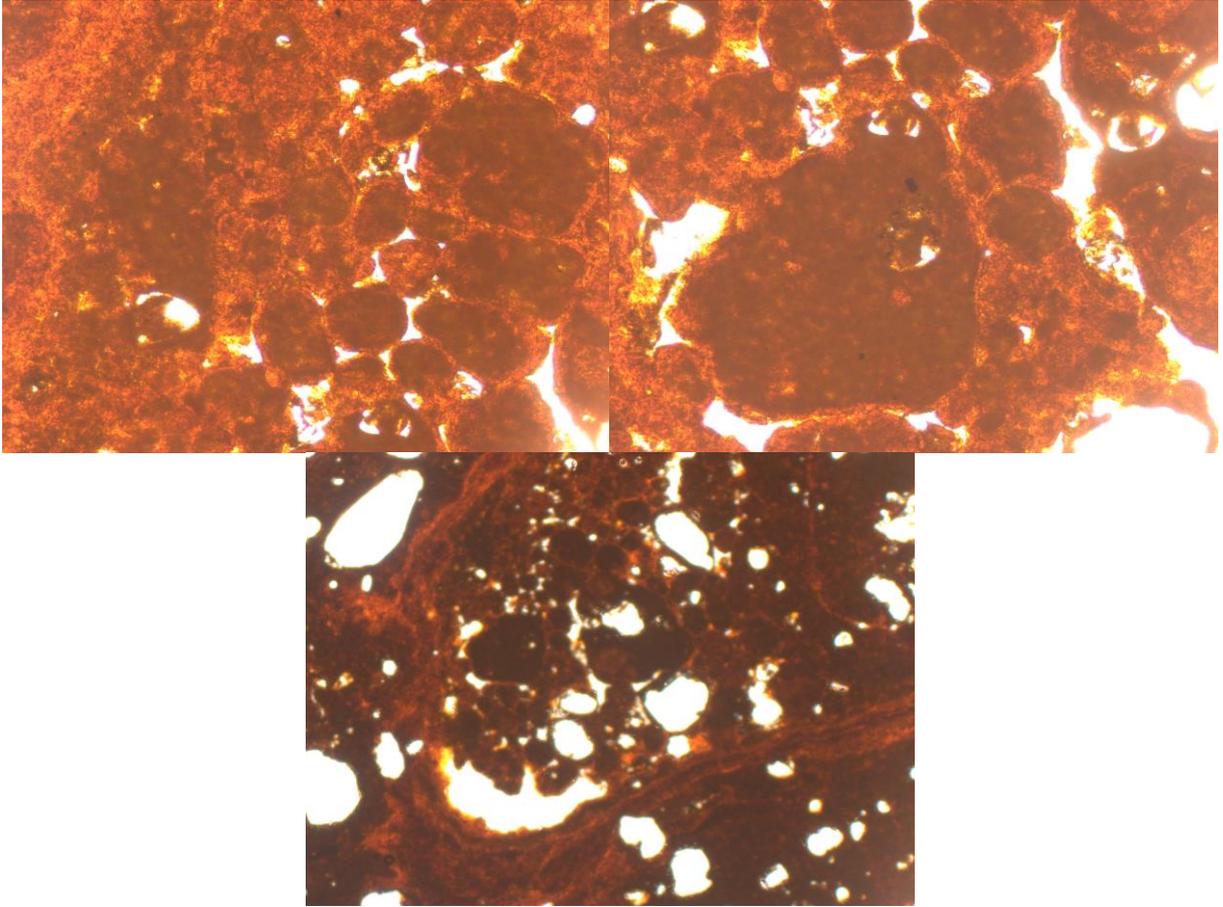


Figura 44 - Pedalidade de desenvolvimento moderado. Objetivo 10 μm .

Após a análise micromorfológica são apresentados dos dados geoquímicos.

A Fluorescência de Raios-X é uma técnica muito utilizada em amostras de matriz geoquímica, pois tem boa resposta de sinal analítico para determinação de elementos maiores e alguns elementos traços. No presente trabalho foram analisados somente os elementos maiores, já que é comum em perfis lateríticos bem desenvolvidos a lixiviação de argilominerais, sobrando apenas esses elementos.

Elementos maiores são definidos como os elementos que compõem basicamente a crosta terrestre, ou seja, possuem uma abrangência em torno de 95% da composição da crosta terrestres, são denominados como elementos maiores o: Si, Al, Ca, Mg, Na, K, Ti, Fe, Mn, P (POTTS, 1992).

Dessa forma, a tabela a seguir demonstra os valores encontrados após a análise.

Amostra	U1	U2	U3	U4-A	U4-B	U5	U6
Nº Lab.	L-488	L-489	L-490	L-491	L-492	L-493	L-494
(%)							
SiO₂	39,10	37,28	30,63	62,79	44,32	73,79	84,39
TiO₂	1,474	1,423	1,146	0,982	1,217	0,997	0,347
Al₂O₃	25,96	26,37	20,16	20,19	25,08	14,46	9,59
Fe₂O₃	17,41	22,68	36,06	7,23	17,15	4,55	1,85
MnO	0,010	0,011	0,007	0,008	0,006	0,002	0,014
MgO	0,05	0,05	0,04	0,06	0,05	0,07	0,03
CaO	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03
Na₂O	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,01	0,02
K₂O	0,15	0,24	0,21	0,35	0,16	0,09	0,08
P₂O₅	0,114	0,106	0,162	0,043	0,070	0,035	0,032
P.F.(1000°C)	14,9	11,3	11,5	7,49	11,1	5,54	3,51
Soma	99,3	99,5	100,0	99,2	99,2	99,6	99,9

Tabela 1 - Fluorescência de Raios-X das amostras do primeiro perfil, da primeira área piloto – Uberaba, MG.

Pode-se perceber que o perfil laterítico possui alto grau de desenvolvimento, pois os valores de dióxido de silício, óxidos de alumínio e ferro são altos, já que esses elementos são muito mais estáveis em condições climáticas tropicais, ou seja, altas temperaturas e forte presença de água no sistema.

Analisando a tabela 2, os horizontes que estão mais próximos do topo apresentam uma menor concentração de sílica (SiO₂) e maior concentração de óxidos de ferro e alumínio (Fe₂O₃ e Al₂O₃, respectivamente), isso se deve a rocha mãe – os basaltos da Formação Serra Geral – que há milhões de anos atrás estavam expostos nesse local e deram origem a essas crostas lateríticas, como também ao maior contato com a água, advinda das condições intempéricas, a qual foi responsável por lixiviar os elementos menos estáveis, concentrando o óxido de ferro e alumínio.

Amostra	U7	U8	U9	U10
Nº Lab.	L-495	L-496	L-497	L-507
(%)				
SiO₂	83,82	81,51	80,15	86,58
TiO₂	1,312	0,957	0,888	0,236
Al₂O₃	6,86	4,66	8,62	2,58
Fe₂O₃	3,10	2,01	3,86	1,82
MnO	0,100	0,052	0,542	0,136
MgO	0,33	4,21	0,43	2,27
CaO	0,03	0,04	0,03	0,31
Na₂O	0,05	0,05	0,05	0,02
K₂O	1,31	1,13	1,15	0,36
P₂O₅	0,051	0,041	0,047	0,376
P.F.(1000°C)	2,49	4,33	3,33	4,55
Soma	99,5	99,0	99,1	99,2

Tabela 2 - Fluorescência de Raios-X das amostras da primeira área piloto – Uberaba, MG.

Porém, analisando a tabela 3, do segundo perfil, da primeira área piloto (Uberaba), as quantidades de sílica são bem maiores em relação a quantidade de óxidos de ferro e alumínio, o qual advém do contato com arenitos da Formação Marília, responsável pela formação dos calcretes e silcretes que foram encontrados. Apesar das altas atividades intempéricas o material de origem tem grande peso na composição mineralógica dos materiais encontrados.

Corroborando com o trabalho de Schellman (1982) foram criados diagramas ternários, os quais apresentam as concentrações relativas dos principais materiais que compõem as crostas lateríticas: dióxido de silício, óxido de alumínio e óxido ferro. Para a confecção desses gráficos, foi necessária a normalização dos valores de concentração, pois os mesmo devem totalizar cem por cento. Assim, os valores estão proporcionais às suas concentrações.

A Figura 45 permite compreender de que os materiais coletados na área piloto de Uberaba podem ser classificados como lateritas silicosas, lateritas e lateritas caoliníticas, segundo Schellman (1982).

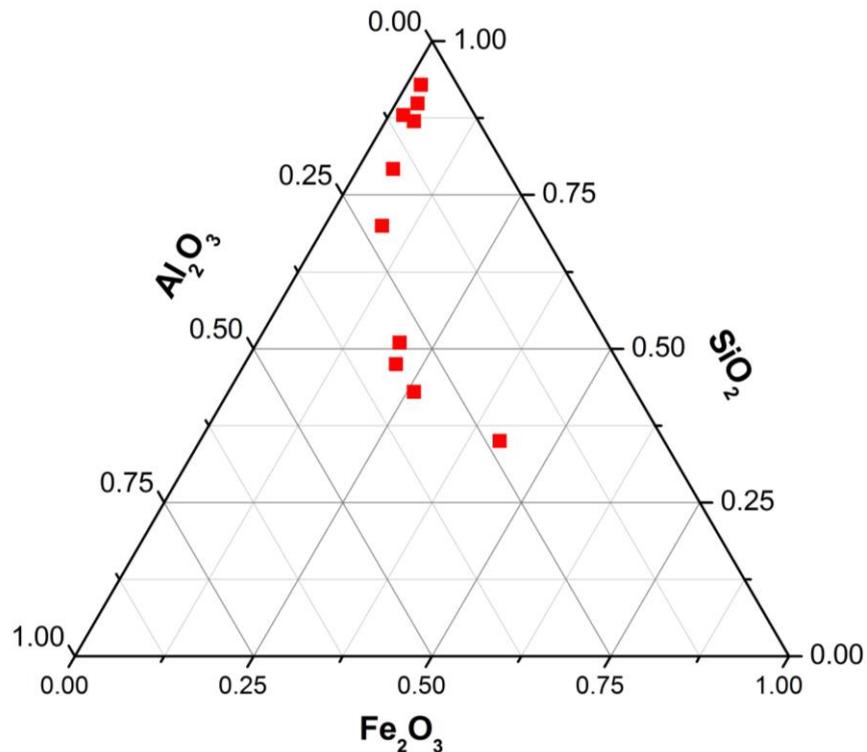


Figura 45 – Diagrama ternário da concentração de óxidos de silício, alumínio e ferro, primeira área piloto, em Uberaba, MG.

O diagrama mostra que os perfis apresentam lateritas de matriz mais arenosa com alta concentração de sílica, fruto do material de origem (arenitos da Formação Marília). Entretanto, o primeiro perfil, também possui lateritas “mistas” com concentrações medianas dos três óxidos em questão.

Outro ponto importante é quanto mais próximo ao sopé do perfil, onde ocorreram as coletas maior é a concentração de sílica, sendo assim percebe-se a aproximação dos pontos ao vértice superior, o qual demonstra essa maior concentração deste material. Este fato prova que a ocorrência dos perfis lateríticos de Uberaba foram sobre depósitos, ou seja, pedimentos. De qualquer forma, com a erosão superficial o que ficou exposto foi a Formação Marília, que gerou perfis silicosos, como pode ser visto no ternário anterior.

As tabelas 4 e 5 trazem os valores de concentração geoquímica da segunda área piloto, localizada em Patrocínio.

Amostra	Alc-02	Alc-03	Alc-04	Alc-05	Alc-06	Alc-07	Alc-08
Nº Lab.	L-468	L-469	L-470	L-471	L-472	L-473	L-474
(%)							
SiO₂	3,78	10,24	86,64	39,67	79,12	43,62	32,90
TiO₂	3,069	10,727	0,557	0,431	0,738	5,475	4,738
Al₂O₃	5,19	1,46	0,43	0,30	0,66	4,67	0,91
Fe₂O₃	73,75	66,09	10,36	15,94	15,86	35,78	21,79
MnO	0,137	0,206	0,126	0,272	0,228	0,439	0,276
MgO	0,62	0,23	0,44	33,22	0,32	0,64	29,53
CaO	0,04	0,08	0,02	0,31	0,05	0,09	2,62
Na₂O	0,04	0,04	0,02	0,03	0,06	0,03	0,05
K₂O	0,01	0,01	0,02	0,01	0,03	0,03	0,02
P₂O₅	0,814	1,266	0,093	0,042	0,169	0,413	0,308
P.F.(1000°C)	11,56	8,94	1,48	9,73	2,24	7,68	6,17
Soma	99,0	99,3	100,2	100,0	99,5	98,9	99,3

Tabela 3 - Fluorescência de Raios-X das amostras da segunda área piloto – Patrocínio, MG.

Amostra	Alc-09	Alc-10	Alc-11	Alc-12
Nº Lab.	L-475	L-476	L-477	L-478
(%)				
SiO₂	11,29	16,84	19,98	16,33
TiO₂	2,535	3,195	5,359	2,955
Al₂O₃	8,61	10,76	29,03	13,55
Fe₂O₃	64,85	56,70	26,09	53,86
MnO	0,163	0,099	0,065	0,094
MgO	0,31	0,18	0,16	0,10
CaO	0,03	0,04	0,06	0,05
Na₂O	0,04	0,04	0,04	0,05
K₂O	0,01	0,02	0,03	0,03
P₂O₅	0,202	0,189	0,186	0,173
P.F.(1000°C)	11,05	11,25	18,31	12,05
Soma	99,1	99,3	99,3	99,2

Tabela 4 - Fluorescência de Raios-X das amostras da segunda área piloto – Patrocínio, MG.

A partir da análise dessas tabelas, se pode perceber que a amostra Alc-01 não possui dados, pois esta possui teor de óxido de ferro/alumínio tão elevado, o que não permitiu a confecção do disco de vidro para que fosse realizada a leitura de suas concentrações.

De qualquer maneira, há uma maior atenção para a concentração do óxido de ferro que possui valores muito altos, ultrapassando a 50% em várias amostras, demonstrando um ferricrete muito bem estruturado, consequência das condições climáticas pretéritas, um clima tropical, com duas estações bem definidas – um período seco e outro chuvoso – permitindo que essa crosta se desenvolvesse e se estruturasse. Clima este diferente do qual encontramos atualmente, pois foi muito agressivo, tanto que lixiviou a sílica.

As amostras Alc-04 e Alc-06 são o corpo alcalino e o regolito no sopé dessa rocha, respectivamente. Observa-se a altíssima concentração de sílica e pequena concentração de óxido de ferro, cuja é resultado alto intemperismo no local. O que fez com que essa rocha perdesse suas características originais.

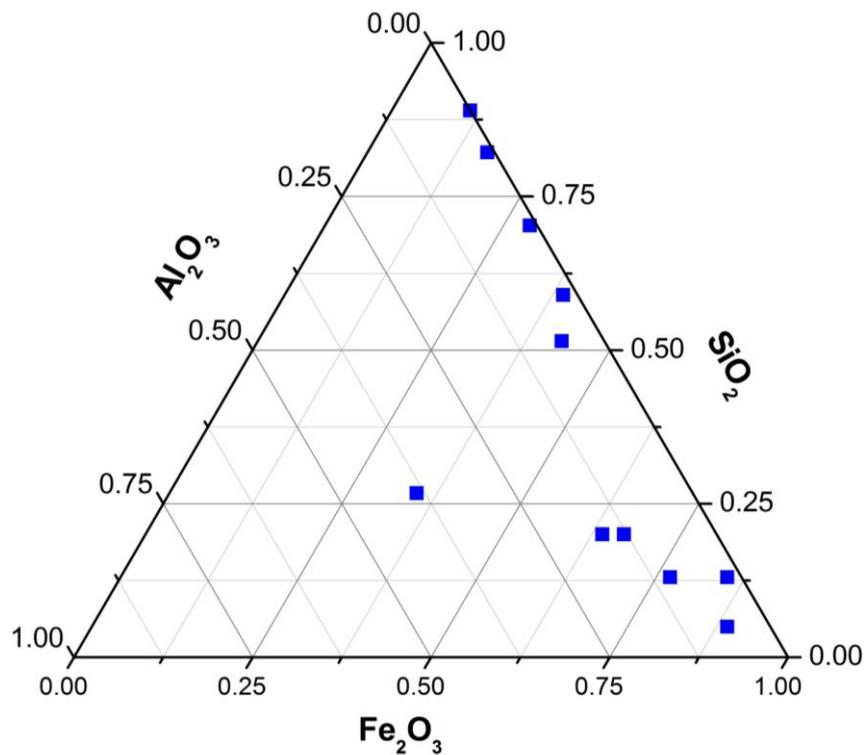


Figura 46 - Diagrama ternário da concentração de óxidos de silício, alumínio e ferro, da segunda, área piloto, em Patrocínio, MG.

O diagrama ternário da Figura 46 mostra que as lateritas da segunda área piloto são lateritas mais silicosas ou ferruginosas, já que suas concentrações chegam muito próximas as extremidades do triângulo. Esse acontecimento comprova que, como em Uberaba, os ferricretes desenvolveram sobre um depósito, pois se fosse sobre a alcalina teriam um teor alto de óxido de alumínio, o que não ocorre. As amostras que possuem teor de óxido de silício maior são as que se estruturaram sobre a alcalina em si, contudo com o intemperismo muito dos argilominerais se lixiviaram sobrando à sílica.

A tabela 6 logo a seguir traz os resultados geoquímicos da terceira área piloto, localizada em Lagoa Formosa.

Amostra	LF1	LF2	LF3	LF4	LF5-A	LF5-B	LF6
Nº Lab.	L-500	L-501	L-502	L-503	L-504	L-505	L-506
(%)							
SiO₂	28,79	17,61	20,10	27,17	12,57	3,93	23,35
TiO₂	6,28	4,92	5,32	7,26	13,42	18,80	5,94
Al₂O₃	20,36	14,06	15,83	19,89	14,69	8,31	16,98
Fe₂O₃	31,42	50,33	45,39	32,67	41,56	52,68	40,56
MnO	0,032	0,009	0,009	0,019	1,192	0,533	0,004
MgO	0,04	0,03	0,02	0,05	1,00	1,79	0,03
CaO	0,04	0,04	0,04	0,04	0,20	0,22	0,04
Na₂O	0,03	0,04	0,05	0,03	0,05	0,06	0,04
K₂O	0,07	0,05	0,08	0,08	0,05	0,04	0,04
P₂O₅	0,566	0,791	0,992	0,772	3,485	3,727	0,726
P.F.(1000°C)	11,8	11,8	11,8	11,5	9,01	7,28	11,6
Soma	99,4	99,6	99,6	99,4	97,2	97,3	99,2

Tabela 5 - Fluorescência de Raios-X das amostras da terceira área piloto – Lagoa Formosa, MG.

Na terceira área piloto, através da análise da tabela, fica claro, como nas outras áreas piloto, a forte ação intempérica, a estruturação e desenvolvimento de perfis lateríticos significativos. Todavia, o grande destaque, apresentado na tabela 6, é a alta presença de óxido de titânio, o que pode ser explicado pelo material que originou esses solos e crostas advindos do Grupo Mata da Corda na Bacia Sãofranciscana, o qual aloca rochas kamafugíticas, as quais possuem em sua estrutura mineralógica, como mineral acessório, magnetita e titano-magnetita, que disponibilizou titânio devido a sua baixa mobilidade pedológica e alta resistência ao intemperismo.

Os dados geoquímicos das três áreas são muito parecidos, apresentando ora alta concentração de sílica, ora alta concentração de óxidos de ferro. Outro elemento indicativo de relevância que aparece muitas vezes em alta concentração é o óxido de titânio, que como já citada anteriormente, possui baixa mobilidade, dessa maneira quando expresso com corpo exprime que as taxas intempéricas foram intensas, como já supracitado. Sendo assim, a seguir, na Figura 47 é apresentado o diagrama ternário da área piloto citada.

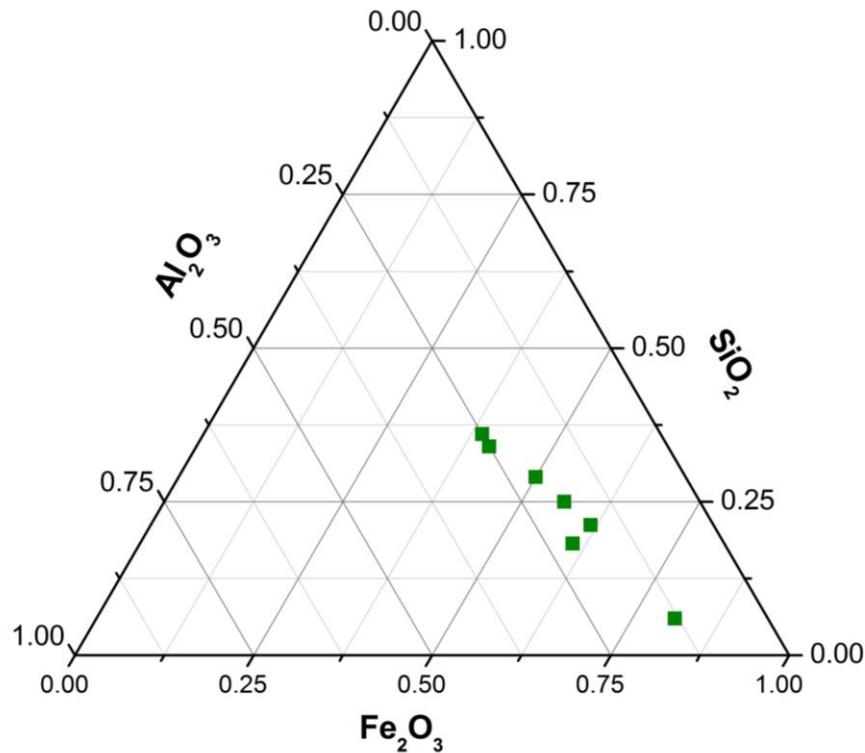


Figura 47 - Diagrama ternário da concentração de óxidos de silício, alumínio e ferro, da terceira, área piloto, em Lagoa Formosa, MG.

O diagrama ternário de Lagoa Formosa mostra que as lateritas, em sua maioria são ferruginosas e algumas mistas. Demonstrando a lixiviação dos argilominerais, consequência do forte intemperismo, permitindo com que o ferro se concentrasse em demasia, formando essas crostas muito endurecidas.

Analisando comparativamente as três áreas pilotos se percebe que indistintamente os perfis lateríticos se formaram nos três locais, mesmo estando sobre um material de origem diferenciado, sendo ele sedimentar ou magmático, sendo assim o que permitiu esse desenvolvimento e estruturação foram as características geomorfológicas e climáticas semelhantes, ou seja, o grande aplainamento Sul-Americano e um clima severo. Dessa maneira, a Figura 48, a seguir traz uma compilação dos dados das três áreas pilotos em um diagrama ternário, onde os pontos vermelhos representam Uberaba, os pontos azuis Patrocínio e os pontos verdes Lagoa Formosa.

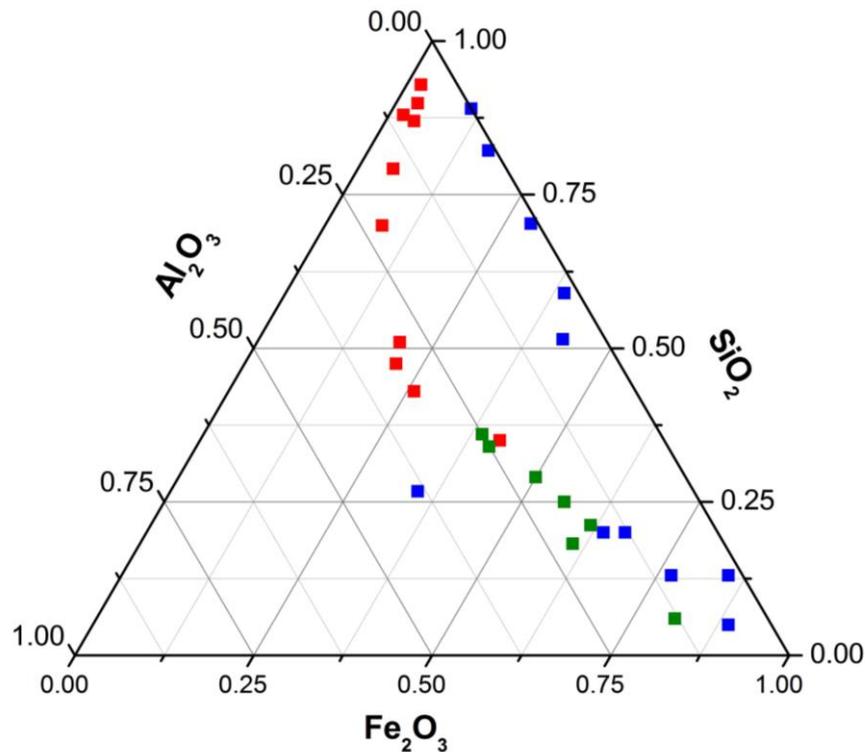


Figura 48 - Diagrama ternário com a concentração dos óxidos de silício, ferro e alumínio, das três áreas pilotos. Uberaba em vermelho. Patrocínio em azul. Lagoa Formosa em verde, MG.

A junção dos três diagramas ternários em um permite a visualização do todo, acentuando as similaridades e as disparidades. Contudo, o que fica claro é que as lateritas coletadas ao longo do trabalho apresentam uma grande semelhança, pois em sua maioria, são classificadas como ferruginosas, silicosas ou lateritas em si (mistas). De qualquer forma, como explicitado anteriormente, apesar de situações geológicas distintas, os solos e crostas formadas são semelhantes. Estes dados são reflexo do grande aplainamento Sul-Americano, conforme proposto por King (1956), Superfície Paleogênica (DE MARTONNE, 1943), Nível A (FREITAS, 1951), PdVII (BARBOSA, 1959), Superfície dos Altos Campos (AB'SÁBER, 1962) Pd3 (BIGARELLA et al., 1965), Superfície Sul-Americana (VALADÃO, 1998). Contribuindo com esses autores conclui-se que o aplainamento foi responsável por essa laterização e estruturação dos perfis lateríticos nos altos topográficos, servindo como uma capa enrijecida, a qual tornou estas paisagens protuberantes.

6.3 – Realce dos dados aerogeofísicos e geração de produtos relevantes para seleção de anomalias correlacionáveis nas coberturas lateríticas

A interpretação qualitativa dos dados aerogeofísicos iniciou-se com a análise dos sinais que compunham cada relevo estudado. O objetivo foi demarcar padrões que individualizassem unidades com comportamento distinto, bem com padrões de assinaturas que pudessem traduzir feições importantes para o entendimento dos perfis de alteração. Buscou-se isolar principalmente aquelas assinaturas com altos valores de tório e urânio que se destacam na Figura 49 e Figura 50.

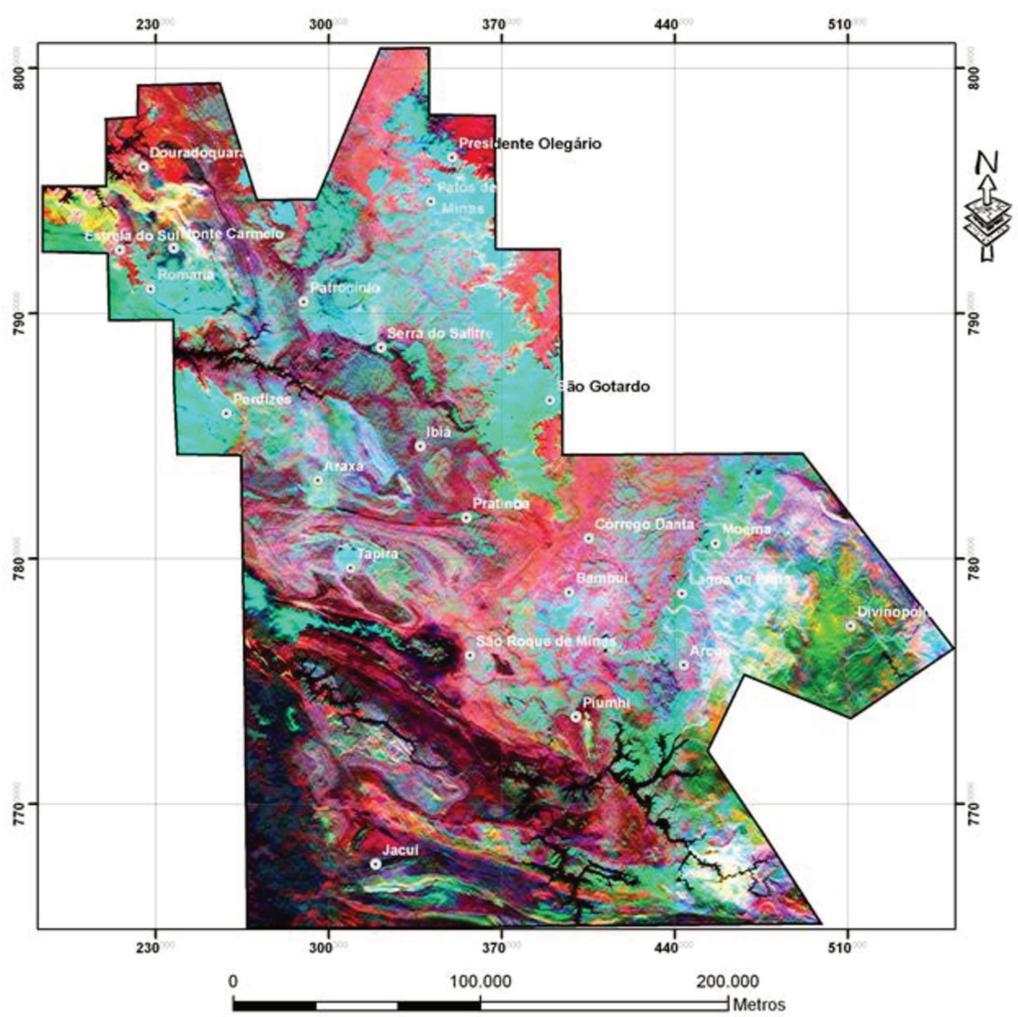


Figura 49 - Imagem ternária em falsa cor no padrão RGB: K, eTh e eU nas cores vermelho, verde e azul respectivamente.

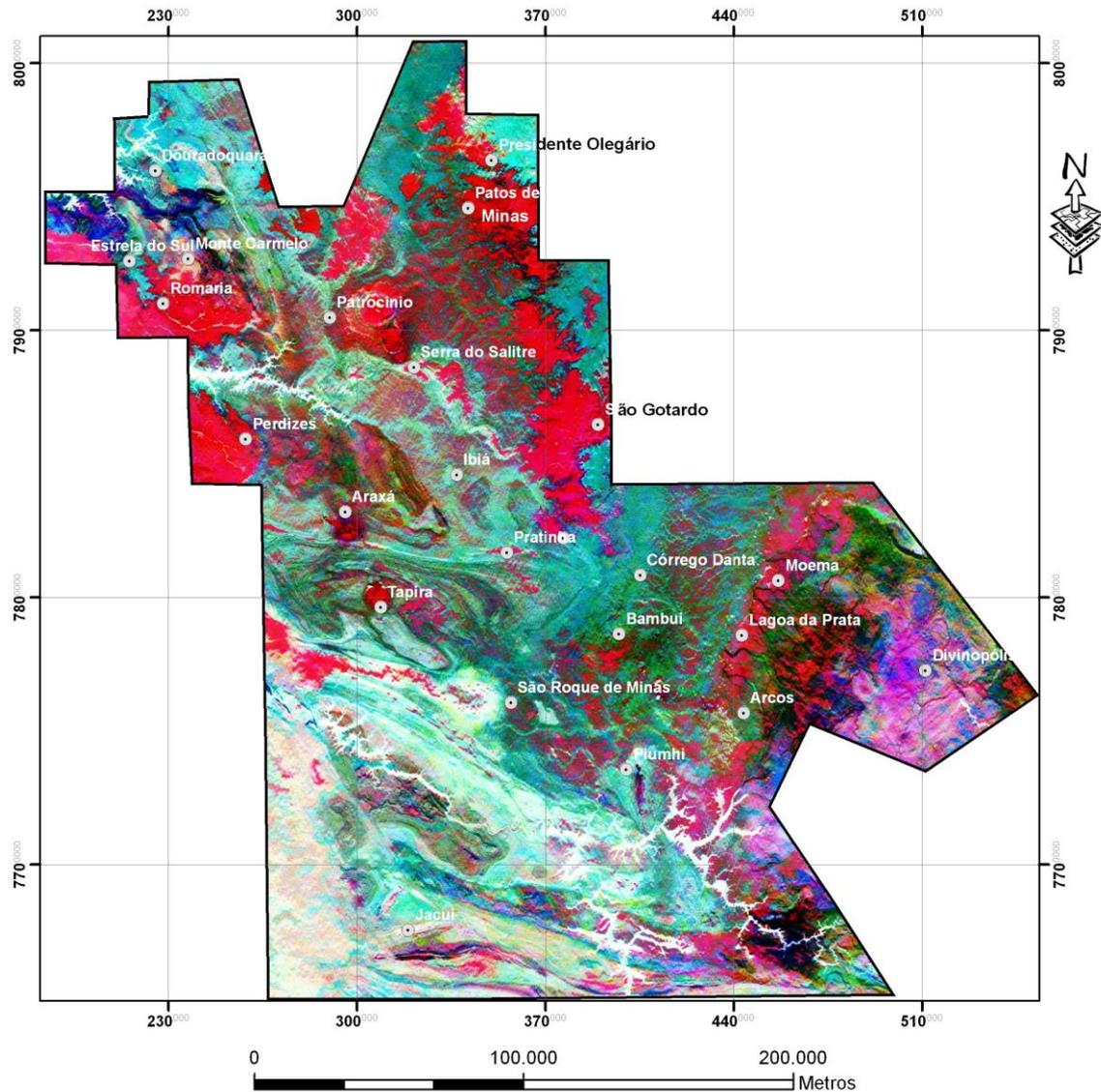


Figura 50 - Imagem ternária em falsa cor no padrão CMY. K, eTh e eU nas cores ciano, magenta e amarelo, respectivamente.

A interpretação qualitativa conjunta de todas as imagens gamaespectrométricas geradas para o projeto foi efetuada em ambiente Sistema de Informações Geográficas (SIG), utilizando-se o ArcGis 10.1. Objetivou-se analisar as assinaturas dos platôs e mapeá-los.

A análise dos teores de K, U e Th dos corpos mapeados foi baseada na análise das respostas dos canais individuais, nas composições em falsa cor RGB e CMY, bem como nestas composições combinadas com o modelo digital de terreno. Nos canais individuais, o teor de K, U, Th foi analisado com base na imagem em falsa cor. Nestas, os perfis são mapeados por altos valores de U e Th e resultam na cor ciano.

A inserção de dados aerogeofísicos foi a maneira encontrada para sanar dificuldades que as ferramentas e metodologias usadas pela Geografia não conseguiam atingir, como, por exemplo, a espacialização e identificação dos perfis lateríticos no território nacional. Já que a abrangência destes não é pontual, pois recobrem relevante área brasileira. E as ferramentas mais usuais como o sensoriamento remoto nem sempre conseguem tanger, pois muitas vezes esses perfis de alteração são recobertos por vegetação.

Segundo Taylor et al. (2002) 90% do sinal de raios- γ penetra nos 30 cm superiores da cobertura pedológica, indiferente da cobertura vegetal, podendo assim haver uma ótima resposta para os estudos geográficos, pedológicos, geomorfológicos, geoquímicos e mineralógicos. Os autores elucidam também que os raios- γ interagem com a mineralogia e secundariamente com a geoquímica, o intemperismo e a pedogênese. Dessa forma, a aerogamaespectrometria é de grande valia, já que permite interpretações preliminares antes de trabalhos de campo.

Nas imagens anteriores podem ser observados os mapas aerogamaespectrométricos. Onde as áreas mais avermelhadas apresentam alto teor de potássio, enquanto que o azul representa alto teor de equivalente de urânio e o verde alto teor de equivalente de tório. As duas áreas de interesse, que podem ser identificadas pela legenda (Patrocínio e a região a leste da cidade), apresentam um valor de alto tório equivalente e de médio a alto urânio equivalente. Esses elementos são elementos menos móveis e mais resistentes ao intemperismo (Th em especial). Apresentando uma resposta gamaespectrométrica clara, a qual permitiu mapear os perfis lateríticos, já que em sua composição geoquímica e mineralógica guardam estes elementos, devido a pouca mobilidade, apesar do alto nível intempérico sofrido por estes.

A área do ponto de Lagoa formosa é bem delineada, devido ao Grupo Mata da Corda, segundo a resposta aerogamaespectrométrica. O Grupo Mata da Corda é associado ao magmatismo básico alcalino com destaque a presença de rochas kamafugíticas (SGARBI, ?) que contém minerais acessórios como magnetita e titano-magnetita, que são altamente magnéticos, contendo conseqüentemente um alto valor de equivalente de Th.

Já o ponto que fica a leste do município de Patrocínio (alcalina) denominado Serra Negra, o qual também possui cobertura laterítica sobre o carbonatito, rocha que possui magnetita como mineral acessório também apresenta

alta resposta aerogamaespectrométrica. Sendo assim, foi possível através da Figura 51, demonstrar a área de ocorrência dos perfis lateríticos, na parte centro-oeste do estado de Minas Gerais através do ternário U-Th-K. Onde as áreas cianas delimitadas pela cor branca representam os grandes perfis de alteração e consequentemente a grande superfície formada pelo aplainamento Sul Americano.

Perfis lateríticos mapeados - Aerogamaespectrometria

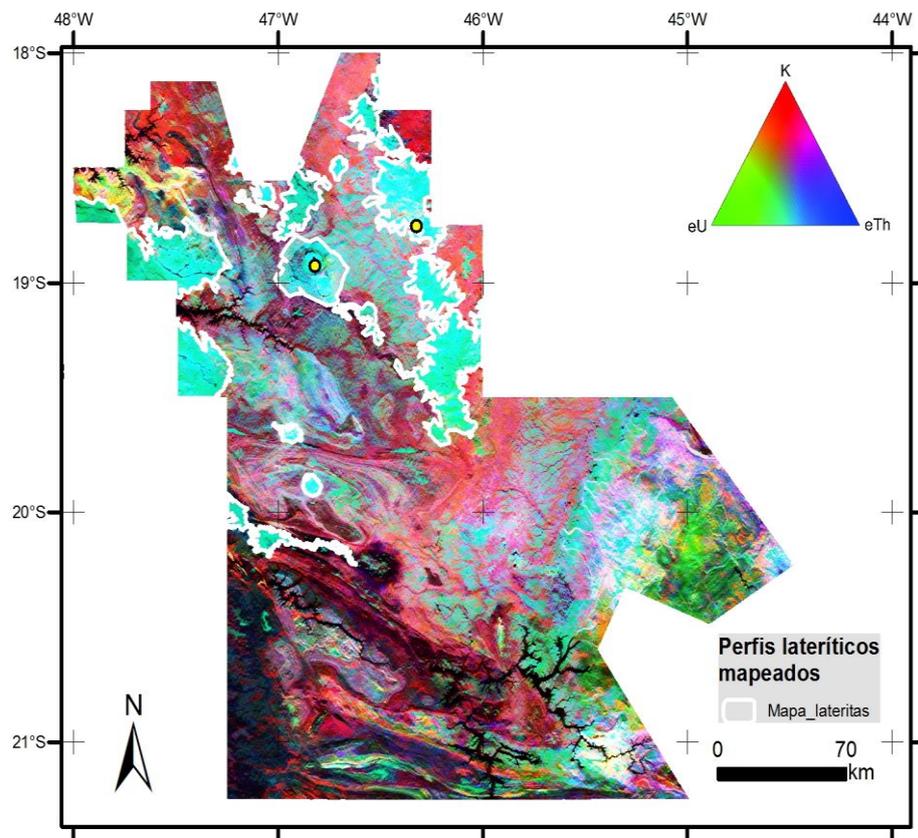


Figura 51 - Coberturas detrítico-lateríticas mapeadas com base em um mapa gamaespectrométrico. Imagem ternária em falsa cor no padrão RGB: K, eTh e eU nas cores vermelho, verde e azul respectivamente.

Os corpos em ciano a sudeste possuem uma resposta gamaespectrométrica referente ao embasamento encontrado no local, ou seja, rochas do Grupo Bambuí, dessa forma não foram mapeados, pois essas rochas possuem em sua composição alto teor de Th e U, principalmente.

6.4 Dados geomorfológicos

Após as análises e junção dos dados foi desenvolvido o seguinte perfil topo-geológico esquemático das três áreas pilotos, que pode ser observado através da Figura 52.

Analisando este perfil pode-se perceber que a ocorrência dos ferricretes é indistinta longitudinalmente. Sendo assim, o fator determinante para tal são os grandes topos aplainados, que aparecem devido ao suposto grande aplainamento Sul-americano, conforme proposto por King (1956).

Estes topos se encontram na cota altimétrica entre 1000 e 1100 metros aproximadamente, variando muito pouco entre eles. As amostras coletadas nas áreas piloto encontram-se a 957, 1196 e 1106 metros, representando Uberaba, Patrocínio e Lagoa Formosa, respectivamente. A área de Patrocínio encontra-se mais elevada, consequência da intrusão alcalina, a qual se elevou e ainda sofre com o abatimento, como nos outros lugares.

As áreas pilotos encontram-se na mesma latitude basicamente, dessa maneira traçando um perfil topográfico essas áreas apresentam uma distância de 137 quilômetros aproximadamente entre Uberaba e Patrocínio, e 58 quilômetros aproximadamente entre Patrocínio e Lagoa Formosa. Apesar das variações altimétricas serem relevantes, a declividade não passa de 1,5%. Demonstrando ser uma superfície extremamente aplainada, o que pode ser visto nas figuras a seguir.

Soerguimento do Alto Paranaíba

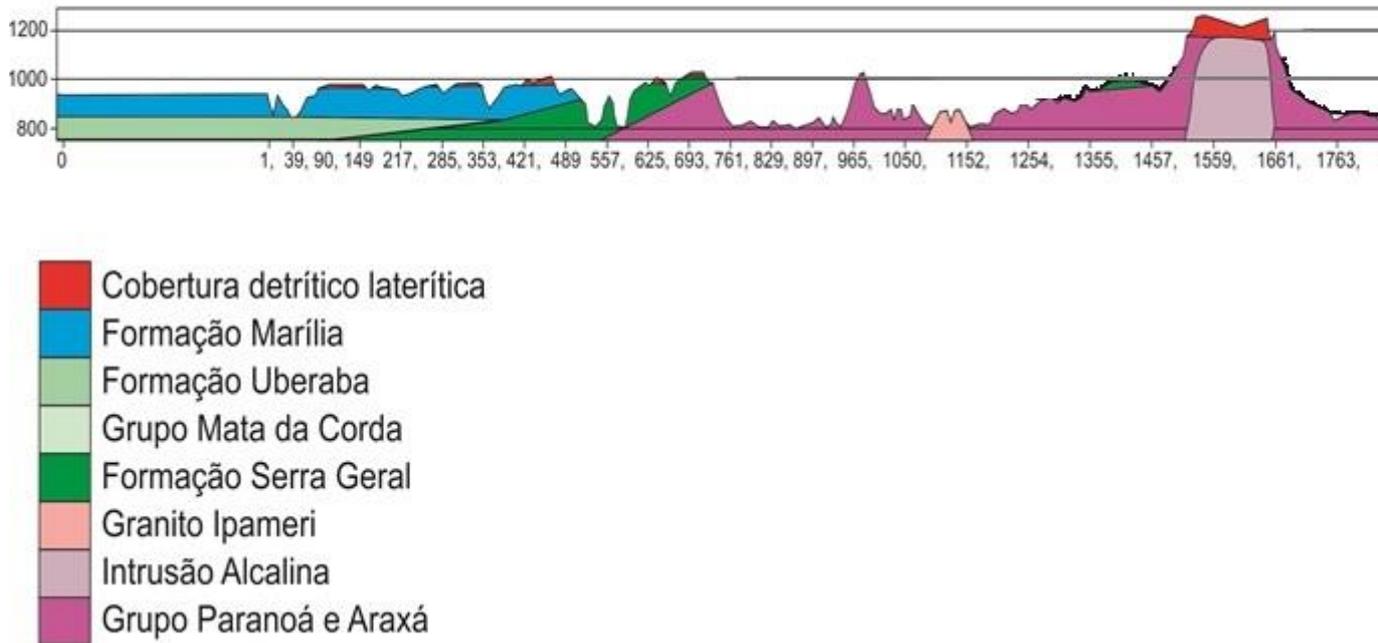


Figura 52 - Perfil topográfico-geológico mostrando as três áreas piloto. Perfil na orientação SW-NE, MG.

A Figura 53 e a Figura 54, mostram, claramente, os grandes topos aplainados, local de ocorrência dos perfis lateríticos. Sendo assim, a primeira imagem apresentada (Figura 53) demonstra o perfil topográfico entre Uberaba e Patrocínio, na orientação SW-NE, onde a seta vermelha representa o contato entre a Bacia Sedimentar do Paraná e a Faixa Brasília.

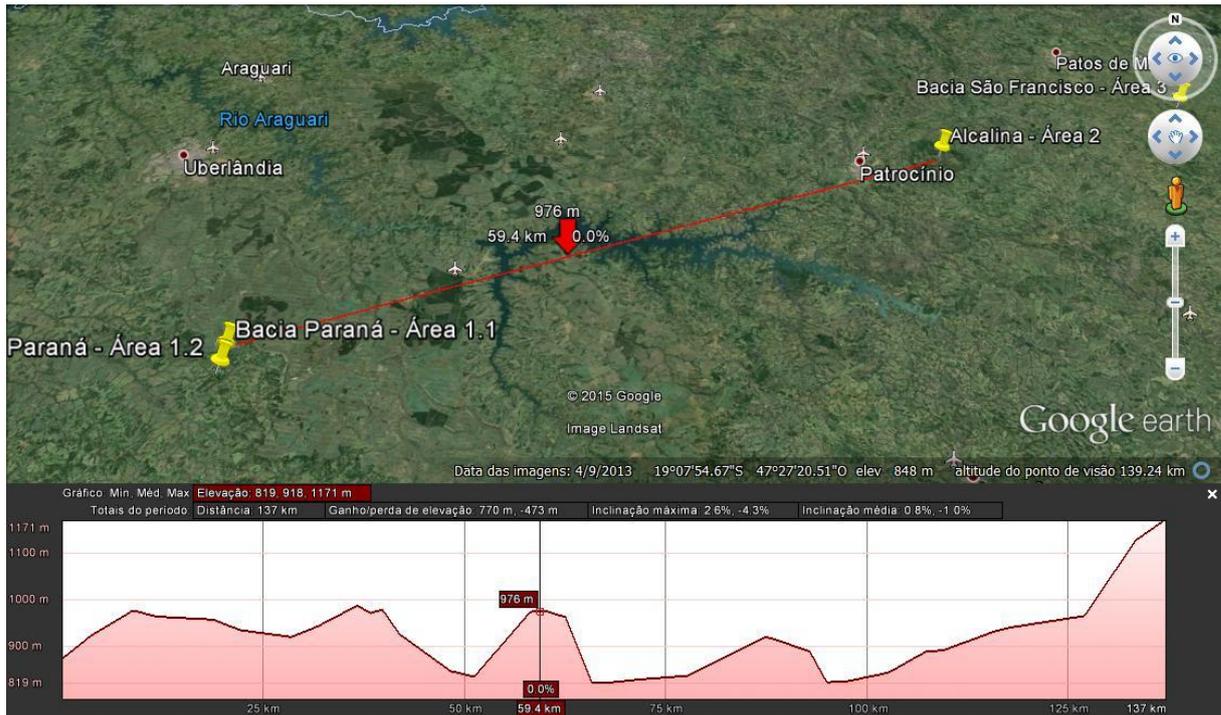


Figura 53 – Perfil topográfico entre Uberaba e Patrocínio, MG.

Observando o perfil topográfico anterior pode-se inferir que nas áreas de cimeira são encontrados perfis lateríticos, sejam eles de matriz ferruginosa ou de matriz silicosa. Apesar da mudança do material de origem, a formação dessas lateritas foi indistinta. O grande fator responsável por essa formação, além da declividade foi à presença de um clima extremamente agressivo, cujo apresentava uma fase quente e úmida e outra mais seca, conforme proposto por Büdel (1982), o que propiciou a laterização dos materiais.

A Figura 54 demonstra o trecho entre Patrocínio e Lagoa Formosa, onde as formas são mais suaves e a declividade menor. Ou seja, a transição entre a Faixa Brasília e a Bacia Sãofranciscana é muito mais tênue.

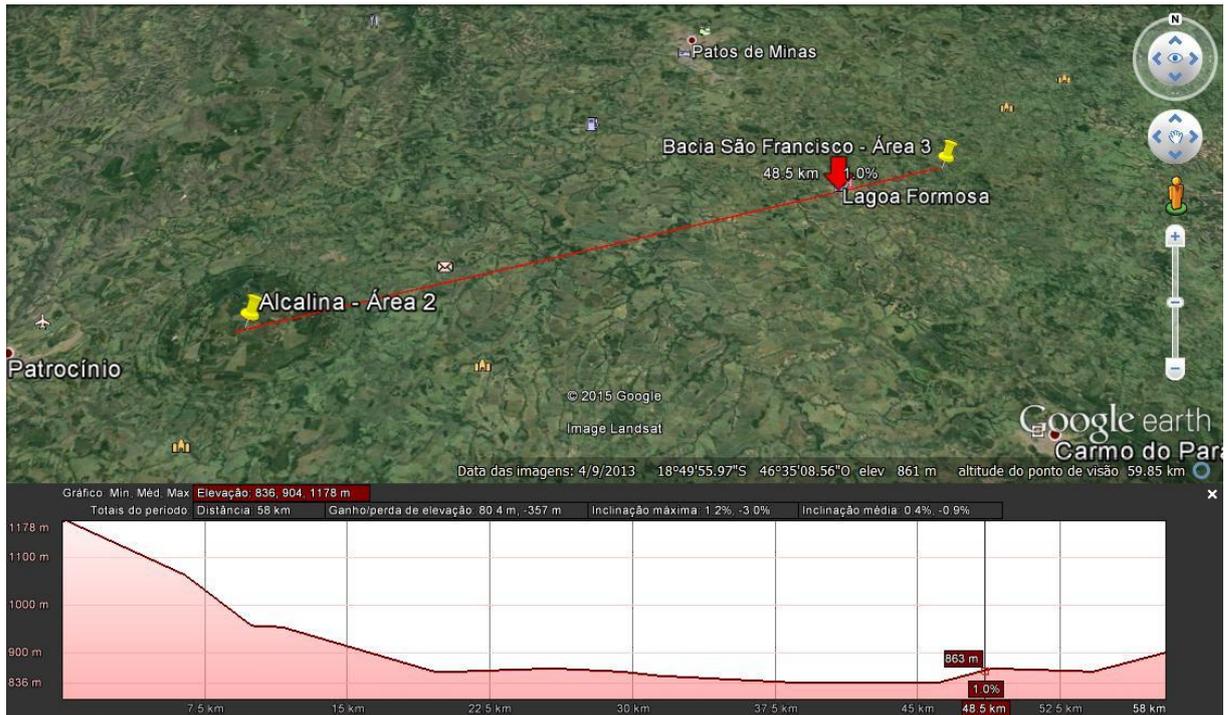


Figura 54 -- Perfil topográfico entre Patrocínio e Lagoa Formosa, MG.

A Figura 52 resume o trabalho nas suposições que foram levantadas no começo da pesquisa, onde se acreditava que o grande soerguimento de Alto de Paranaíba, até o Cretáceo Superior, funcionava como um grande interflúvio, ou seja, um divisor de sedimentos entre as duas bacias adjacentes. Dessa maneira, o que se percebe é que o suposto aplainamento Sul-americano arrasou grande parte do relevo continental brasileiro, abatendo-o, o que permitiu a formação dos Latossolos e conseqüentemente a estruturação dos grandes perfis de alteração relacionados a essa superfície nas três unidades geomorfológicas em questão, apesar dos materiais de origem distintos.

King (1956) em seu trabalho considerou esse ciclo como de rebaixamento e aplainamento total e isso pode ser visto através dos dados que foram gerados na pesquisa, podendo comprovar a grande importância deste para as paisagens brasileiras, especialmente no estado de Minas Gerais.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a junção e análise de todos os dados conclui-se que os ciclos de aplainamento foram de extrema importância do nosso país. Desde quando a América do Sul estava junto com a África os aplainamentos já ocorriam e modificavam a paisagem desses lugares.

Supõe-se que o Ciclo Sul-Americano afetou grande parte do Brasil continental e pode ser considerado um grande evento que organizou nossa paisagem em grandes superfícies de aplainamento com cotas altimétricas muito parecidas entre 1000 e 1100 metros em relação ao nível do mar. Este abatimento do relevo foi o que permitiu a ocorrência de grandes perfis lateríticos ao longo do Brasil oriental nas áreas de cimeiras, as quais sustentam as paisagens até hoje, mesmo tendo passado alguns milhões de anos.

Após esse trabalho o que se pode inferir é que o ciclo Sul-Americano de aplainamento foi arrasador com o relevo, aplainando-o de tal maneira que os processos geoquímicos passaram atuar de forma semelhante nas diversas áreas aplainadas. Que apesar dos materiais geológicos distintos os perfis lateríticos se formaram indistintamente e mesmo assim apresentam semelhanças. Nas três áreas pilotos escolhidas a maior parte das lateritas são ferruginosas e/ ou silicosas.

A junção de dados geoquímicos e geofísicos foi de extrema importância, pois assim podem-se mapear as áreas de ocorrência dos perfis lateríticos ao longo do Brasil, o que anteriormente a este trabalho era de muita dificuldade.

Ultimamente, a Geografia tem utilizado técnicas de outras áreas de conhecimento, mostrando como esta área de estudo é de grande abrangência e de grande importância no âmbito acadêmico. Além, de sustentar a hipótese que até o Cretáceo Superior a intrusão básico-alcalina, denominada, Soerguimento de Alto Paranaíba servia como divisores de sedimentos entre as bacias sedimentares do Paraná e do São Francisco. Assim levanta-se a nova hipótese, para um novo trabalho, que com o aplainamento e abatimento do relevo a direção dos fluxos sedimentares passou a ser indistinta.

Dessa maneira, conclui-se que analisar a paisagem e perceber que ela apresenta similaridades, apesar de seus contrastes, é papel do geógrafo, como pesquisador de campo e como profissional. Podendo contribuir não só em estudos

geográficos, como também em estudos de outras áreas do conhecimento, enriquecendo as ciências com as análises sistêmicas abrangentes.

8. REFERÊNCIAS

- ABREU, Sívio Fróis. *Recursos Minerais do Brasil*. Vol.II- Combustíveis Fósseis e Minérios Metálicos. Ministério da Indústria e do Comércio- Instituto Nacional de Tecnologia: Rio de Janeiro, 1962.
- ANDREIS, R. R. (1981) – *Identificación e Importancia Geológica de los Paleosuelos*. Editora da UFRGS, Porto Alegre. 67p.
- AB’SÁBER, A.N.; *As altas superfícies de aplainamento do Brasil sudeste*. Boletim Geográfico, Ano XIII, n.º 126, p. 295-300, Rio de Janeiro, 1955a.
- AB’SÁBER, A. N. *Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas*. Ateliê Editorial, São Paulo, 2003.
- BACCARO, C. A. D. *Unidades Geomorfológicas do Triângulo Mineiro: Estudo Preliminar*. Sociedade & Natureza, Uberlândia (MG), v.3, n. 5 e 6, p. 37-42, 1991.
- BATEZELLI, A. “*Continental Systems Tracts of the Brazilian Cretaceous Bauru Basin and Their Relationship with the Tectonic and Climatic Evolution of South America*.” Basin Research n/a – n/a, 2015, Retrieved (<http://doi.wiley.com/10.1111/bre.12128>).
- BATEZELLI, A.; *Análise da sedimentação cretácea no triângulo mineiro e sua correlação com áreas adjacentes*. Tese (Doutorado em Geociências – área de concentração Geologia Regional), IGCE, UNESP, Rio Claro (SP), 2003.
- BIGARELLA, J. J.; *Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais*. Ed. UFSC, 1 v., Florianópolis, 1994.
- _____; *Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais*. Ed. UFSC, 3 v., Florianópolis, 2003.
- BIGARELLA, J. J.; MOUSINHO, M. R.; SILVA J. X. *Pediplanos, Pedimentos e seus Depósitos Correlativos no Brasil*. Boletim Paranaense de Geografia, v. 16/17, p. 117-151, 1965.
- BOURMAN, R.P. (1993) - Modes of ferricrete genesis: evidence from southeastern Australia. *Z. Geomorph. N.F.*, **37** (1): 77-101.
- BOURMAN, R.P.; MILNES, A.R.; OADES, J.M. (1987) - Investigations of ferricretes and related surficial ferruginous materials in parts of southern and eastern Australia. *Z. Geomorph. N.F.*, Suppl.-Bd., **64**: 1-24.
- BRAUN, O. P.G. *Contribuição a Geomorfologia do Brasil Central*. Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro. v. 32, n. 3, p. 3-40. 1970.

- BÜDEL, J. *Climatic geomorphologie*. Tradução de L. Fischer e D. Busche. New Jersey: Princeton University Press, 1982.
- CAMPOS J.E.G. & DARDENNE M.A. *Origem e evolução tectônica da bacia São Franciscana*. Revista Brasileira de Geociências, anos 27, p. 283-294, 1997b.
- CARAVALHO JÚNIOR, O. A.; RIBEIRO, M. N. C.; MARTINS, E. S.; GUIMARÃES, E. M.; MENESES, P. R.; GUIMARÃES, R. F. *Análise de dados hiperespectrais em mina de manganês laterítico, São João da Aliança (GO)*. Revista Brasileira de Geofísica. Vol. 25, n.º 2, São Paulo, 2007.
- CASSETI, V. *Estrutura e Gênese da Compartimentação da Paisagem de Serra Negra – MG*. Goiânia, Ed. Da Universidade Federal de Goiás, 1981; 124 p. (Coleção Teses Universitárias, 11).
- _____. *Elementos de geomorfologia*. Editora da UFG, Goiânia, 2001.
- CASTRO, S. S. *Micromorfologia de solos: bases para descrição de lâminas delgadas*. UNICAMP/UFG, Campinas/Goiânia, 2ª ed. 2008.
- CHAVES, A. O. *Enxames de diques máficos de Minas Gerais – O estado da arte*. Revista Geonomos, Ano 21, nº 1, p. 29-33, 2013.
- CPRM. Serviço Geológico do Brasil. *Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais*, 2003. Escala 1:1.000.000. Disponível em: <http://www.codemig.com.br/uploads/mapag.pdf>. Acesso em: 08 dez 2012.
- DAVIS, W. M. *The geographical cycle*. Geographical Journal, [s.l.], v. 14, n. 5, p. 481-504, 1899.
- DICKSON, B. L.; SCOTT, K. M. Interpretation of aerial gamma-ray surveys – adding the geochemical factors. Journal of Australian Geology & Geophysics, vol. 17 (2), p. 187-200, 1997.
- FREITAS, R. O.;. *Relevos policíclicos na tectônica do escudo brasileiro*. Boletim Paulista de Geografia, São Paulo. n. 7, p. 1-19. 1951.
- HASUI, Y.; CARNEIRO, C. D. R.; ALMEIDA F. F. M.; BARTORELLI, A. *Geologia do Brasil*. São Paulo, ed. Beca, 900p., 2012.
- IAEA, INTERNACIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Guidelines for radioelement using gamma ray spectrometry data*, Viena, 173p., 2003.
- KING, Lester C. *A Geomorfologia do Brasil Oriental*. Revista Brasileira de Geografia. Rio de Janeiro, n.2, p.147-265, 1956.
- LADEIRA, F.S.B. *Paleossolos Silicificados na Serra de Itaqueri-Itirapina/SP: subsídios para a reconstituição paleoambiental*. 1v. Tese (Doutorado em Ciências -

- Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia e Letra, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- LADEIRA, F. S. B. & SANTOS, M. *O uso de paleossolos e perfís de alteração para a identificação e análise de superfícies geomórficas regionais: o caso da Serra de Itaqueri (SP)*. Revista Brasileira de Geomorfologia. Ano 6, nº 2, 2005.
- LASA. *Relatório de aerolevanteamento geofísico do estado de Minas Gerais – CODEMIG*. Rio de Janeiro, 2006.
- LEONARDI, F. A.; *A relação dos perfís lateríticos bauxíticos com as superfícies geomórficas do planalto de poços de caldas SP/MG*. Dissertação (Mestrado em Geografia – área de Análise Ambiental e Dinâmica Territorial), IG, UNICAMP, Campinas (SP), 2007.
- MARTONNE, E D.; *Problemas Morfológicos do Brasil Tropical Atlântico*. Revista Brasileira de Geografia. Rio de Janeiro. Ano V, n.4, 1943.
- MATHÉ, V.; LÉVÊQUE, F.; MATHÉ, P. E.; CHEVALLIER, C.; PONS, Y. *Soil anomaly mapping using a caesium magnetometer: Limits in the low magnetic amplitude case*. Journal of Applied Geophysics, Amsterdam, v. 58, n. 3, p. 202–217, 2006.
- MILNES, A.R.; BOURMAN, R.P.; FITZPATRICK, R.W. (1987) - Petrology and mineralogy of "laterites" in southern and eastern Australia and Southern Africa. *Chemical Geology*, **60**: 237-250.
- MINTY, B. R. R. Airborne geophysical mapping of the Australian continent. *Geophysics*, vol. 76, nº 5, 2011.
- MORAIS REGO, L. F.; *Notas sôbre a geomorfologia de São Paulo e sua gênese*. Boletim Geográfico. Conselho Nacional de Geografia. Ano IV, n.º 37, p. 9-17, Rio de Janeiro, 1946.
- NAHON, D. e LAPPARTIENT, J-R. (1977) – Time factor and geochemistry in iron crusts genesis. *Catena*. **4** (3): 249-254.
- PARRO, P. S. *magnetometria e gamaespectrometria aerotransportadas na interpretação geológico-estrutural da região dos rios Juruena e Teles Pires-MT*. Dissertação de mestrado, UNB, Brasília (DF), 1998.
- PENK, W. *Morphological analysis of landforms: a contribution to physical geology*. London: MacMillan, 1953. First edition ©1924.
- PETRI, S. & FÚLFARO, V. J. *Geologia do Brasil*. São Paulo: EDUSP, 1983.

- PONÇANO, W.L.; ALMEIDA, F.F. de. *Superfícies erosivas nos planaltos cristalinos do leste paulista e adjacências: uma revisão*. Cadernos IG/UNICAMP, Campinas, V.3, n.1, p.55-90, 1993.
- POTTS, P. J. *A handbook of silicate rock analysis*. 2ª ed. London, Glasgow, 1992.
- RADAM BRASIL *Levantamento de Recursos Naturais*. Rio de Janeiro (RJ), Folha SE, 22. Goiânia, v. 31, 1983.
- _____. *Levantamento de Recursos Naturais*. Rio de Janeiro (RJ), Folha SE, 23. Belo Horizonte, v. 31, 1983.
- SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. 5ª ed. revista e ampliada. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005.
- SGARBI, P. B. A. *Petrografia de Kamafugitos*. Disponível em: <http://sbgeo.org.br/pub_sbg/cbg/2004-ARAXA/34_817_SGARBI_PBA.pdf> Acesso em: 09 set 2013.
- SHELLMAN, W. *Considerations on the definition and classification of laterites*. Proc. Int. Seminar on Lateritisation Processes (Trivandrum, 1979). Oxford IBH Publish. 1-10, 1982.
- SILVA, T. M. da; *Superfícies geomorfológicas do planalto sudeste brasileiro: revisão teórico-conceitual*. Revista Geo UERJ. Rio de Janeiro. Ano 11, v. 3, n. 20, p. 1-22, 2009.
- SIQUEIRA, D.S. *Suscetibilidade magnética para a estimativa de atributos do solo e mapeamento de áreas sob cultivo de cana-de-açúcar*. Dissertação (Mestrado em Agronomia – área de Produção Vegetal), UNESP, Jaboticabal (SP), 2010.
- TARDY, Y. 1993. *Petrologie des Latérites et des Sols Tropicaux*. Masson, Paris, 460p.
- THOMAS, M.F. (1994) - *Geomorphology in the Tropics*. John Wiley e Sons, Chichester, England, 460 p.
- TAYLOR, M. J.; SMETTEN, K.; PRACILIO, G.; VERBOOM, W. (Exploration Geophysics) n.º 33, p. 95-102, 2002.
- TELFORD, W. M.; GELDART, L. P.; SHERIFF, R. E. *Applied Geophysics*. 2ª ed., EUA, Cambridge University Press, 770p, 1993.
- TOLEDO, M.C.; OLIVEIRA, S.M.; MELFI, A.J. Intemperismo e Formação do solo. In: TEIXEIRA, W. Et al (org.). *Decifrando a Terra*. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

VALADÃO, R.C. *Geodinâmica de Superfícies de Aplainamento, Desnudação Continental e Tectônica Ativa como Condicionantes da Megageomorfologia do Brasil Oriental*. Revista Brasileira de geomorfologia, v.10, n.2, p.77-90, 2009.

WILFORD, J. *A weathering intensity index for the Australian continent using airborne gamma-ray spectrometry and digital terrain analysis*. Revista Geoderma 183-184, p. 124-142, 2012.