UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS

SANDRO JOSÉ BRISKI

ENSAIOS GEOQUÍMICOS E GEOAMBIENTAIS COMO SUBSÍDIO À INTERPRETAÇÃO DAS UNIDADES DE RELEVO EM LITOLOGIAS DO EMBASAMENTO CRISTALINO

SÃO PAULO
2009

SANDRO JOSÉ BRISKI

ENSAIOS GEOQUÍMICOS E GEOAMBIENTAIS COMO SUBSÍDIO À INTERPRETAÇÃO DAS UNIDADES DE RELEVO EM LITOLOGIAS DO EMBASAMENTO CRISTALINO

Tese apresentada a Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas como requisito parcial à obtenção do grau de Doutor em Geografia Física da Universidade de São Paulo.

Orientador : Prof. Dr. Antonio Carlos Colangelo.

SÃO PAULO
2009

DEDICATÓRIA

**Dedico este trabalho em especial à
minha esposa e companheira
Sandra Regina da Silva Briski
sempre presente nos momentos decisivos
de minha vida, e também ao meu pai
Carlos Rubens Briski (*in memoriam*) que veio
a falecer durante a construção do mesmo.
A minha mãe Izanette Briski e
minha irmã Adriane Cristina Briski, por sempre
valorizarem meu trabalho. E a todos que
participaram direta e indiretamente
para a conclusão de mais esta etapa.**

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que direta ou indiretamente colaboraram com a produção deste trabalho, possibilitando a concretização de mais uma etapa de minha vida acadêmica.

Em especial ao meu orientador Prof.º Doutor Antonio Carlos Colangelo, pelo qual tenho imensa admiração e respeito por seu conhecimento e que muito me ajudou e incentivou.

Ao Prof.º Dr. Jurandyr Luciano Sanches Ross, pelo incentivo inicial e credibilidade a mim concedida e pelas sugestões na qualificação.

A coordenação, docentes, funcionários e colegas do Programa de Pós Graduação de Geografia, da Universidade de São Paulo, pela disposição e credibilidade dedicadas.

Quero também dedicar meu mais valoroso agradecimento aos meus amigos de trabalho Professores Valdomiro Lourenço Nachornik, Uraci Castro Bomfim e Josmael Araújo Bonatto representando todos os demais Professores do Curso de Geografia da Universidade Tuiuti do Paraná por acreditarem e apoiarem a execução deste trabalho.

A toda equipe do Laboratório de Mineralogia (LAMIR) da Universidade Federal do Paraná em especial ao seu coordenador Prof.º Dr. José Manoel dos Reis Neto, ao Dr. José Eduardo Ferreira da Costa Gardolinski - Químico / Pesquisador, a M.Sc. Anelize Bahniuk - Geóloga / Pesquisadora, ao Rodrigo Secchi – Geólogo, a Elisiane Roper Pescini - Técnica Laboratorista e ao Carlos Lara Ribeiro – Laboratorista pelo apoio e profissionalismo no momento das análises geoquímicas.

Aos meus alunos e companheiros na empreitada de campo e grandes amigos, Silvia, Alessandro, Julio, Diego, Julio, a Geógrafa e grande amiga Rose Mari Durigan da Luz e seu esposo Vilmar e também ao amigo Prof.º Dr. Helder de Godoy pelo apoio em campo e pelas indagações sobre o trabalho, auxiliando na evolução do mesmo.

Aos proprietários das áreas estudas Vagner e sua esposa Denise, Roberto e sua esposa Terezinha e seu filho Moisés.

E respeitosamente a todos meus alunos aos quais tenho grande apreço e os considero verdadeiros amigos, pela compreensão nos momentos de minha ausência e pelo interesse sempre demonstrado em relação ao desenvolvimento do trabalho.

E a todos aqueles que por ventura eu tenha esquecido de agradecer, mas que não menos importantes na execução deste trabalho.

Muito obrigado a todos.

RESUMO

Observa-se atualmente uma evolução significativa do conhecimento nas áreas relacionadas às geociências. E, em particular a ciência geomorfológica, a qual tem como premissa compreender e explicar as formas da arquitetura do relevo na atualidade através de sua gênese, evolução cronológica e grau de estabilização partindo de estudos descritivos e investigativos. Tais avanços estão respaldados em novas geotecnologias e consequentemente na aplicação de metodologias específicas que permitem uma vasta possibilidade de novas pressuposições indicativas ou elucidativas sobre o sistema geomorfológico. Desta forma este trabalho tem como objetivo averiguar qual a possível influência dos aspectos geoquímicos sobre o estado atual das unidades de relevo associados aos fatores e elementos geoambientais, em litologias diferenciadas através da aplicação de procedimentos metodológicos envolvendo a utilização de geotecnologicas e investigações geoquímicas. Para a realização e êxito desta proposta metodológica definiu-se coma área de estudo a bacia hidrográfica do rio Pequeno em seu terço médio e superior, situada no município de São José dos Pinhais, integrante da Região Metropolitana de Curitiba no Estado do Paraná região sul do Brasil. Optou-se por este recorte espacial em função do mesmo apresentar as características geoambientais apropriadas para o desenvolvimento deste trabalho. Os procedimentos metodológicos adotados consistem na utilização da análise de produtos elaborados a partir das técnicas do sensoriamento remoto e geoprocessamento para a confecção da cartografia temática. Produtos estes associados à investigação geoquímica do material de alteração (saprólito) em rochas do embasamento cristalino tomando como objeto de estudo vertentes contra postas uma em relação a outra em duas áreas amostrais distintas. Para a investigação geoquímica optou-se pelo método da varredura semi-quantitativa dos óxidos através da espectrometria de fluorescência de raios “X” em amostras de materiais intermediários entre os estudos geoquímicos orientativos do solo e litogeoquímicos orientativos. Considera-se que para os ensaios metodológicos a que se propõe este trabalho os resultados foram satisfatórios com a ressalva para a importância de estudos mais detalhados, envolvendo mais análises propiciando assim maior confiabilidade nas correlações geoquímicas com a interpretação e compreensão das formas do relevo atual. Entretanto ressalta-se a importância destes resultados não como respostas elucidativas e sim como mais uma possibilidade metodológica investigativa viável para a compreensão do sistema geomorfológico quanto sua gênese, evolução e grau de estabilidade.

Palavras-Chaves: Unidades de relevo, geotecnologias, investigações geoquímicas, bacia hidrográfica, embasamento cristalino.

ABSTRACT

A significant evolution of knowledge on geosciences and its related topics can be observed nowadays. It happens, in particular, with the geomorphologic science, which has, as its premise, to understand and to explain the current relief architecture form based on its genesis, chronological evolution and stabilization degree having, as starting point, descriptive and investigative studies. Such developments are supported by new geotechnologies and, consequently, by the application of specific methodologies that allow a broad possibility of new indicative or elucidative propositions about the geomorphologic system. Therefore, the objective of this work is to verify the possible influence of geochemical aspects on the current relief units' state related to geoenvironmental elements, in different lithologies through the application of methodological procedures involving the application of geotechnologies and geochemical research. In order to successfully accomplish this methodological proposal the higher third mean of the "Pequeno" river watershed was defined as the area of study. This area is located in São José dos Pinhais municipality in the Curitiba metropolitan area, in Paraná state, in south region of Brazil. Such special cut was adopted because of the suitability of its geoenvironmental characteristics to the right and proper execution of this work. The adopted methodological procedures consist in the use of the analysis of products prepared based on remote sensing techniques and geoprocessing in order to produce the thematic cartography. Such products are associated to the geochemical research of the alteration material (saprólito) in the crystalline basement rocks, having as object of interest opposed strands in two distinct sample areas. When concerning the geochemical study, the oxide semi-quantitative scan method using x-ray fluorescent spectrometry was adopted. It was performed in intermediate material samples between the geochemical orientated and lithogeochemical orientated soil studies. Considering the methodological essays proposed in this work, the obtained results are satisfactory. It is important, however, to perform more detailed studies with more analysis with the purpose of having more confidence regarding the geochemical relations with the interpretation and understanding of the current relief forms. Nevertheless, it is important to stress the importance of these results, not as clarifying answers, but as another feasible possibility to understand the geomorphologic system regarding its genesis, evolution and stability degree.

Keywords: Relief units, geotechnologies, geochemical study, watershed, crystalline basement.

Lista de Figuras

Figura 1 - Localização da Área de Estudo.....03
Figura 2 - Ciclo Geoquímico.....11
Figura 3 - Sistemas Antecedentes Controladores do Sistema Geomorfológico...15
Figura 4 - Bloco Diagrama esquemático sobre unidades do modelo superficial do terreno considerando relações solo / rocha.....20
Figura 5 - Estratificação dos Horizontes do Solo.....21
Figura 6 - Classificação dos Horizontes do Solo.....22
Figura 7 - Perfil de Alteração típico de Rochas Metamórficas e Graníticas em Regiões de Serra.....23
Figura 8 - Componentes Básicos do Sistema de aquisição de Informações por Sensoriamento Remoto.....26
Figura 9 - Esquema Conceitual do Processo de Análise de Imagens.....28
Figura 10 - Arquitetura interna de Sistemas de Informações Geográficas.....32
Figura 11 - Fluxograma das Etapas de Trabalho.....36
Figura 12 - Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Pequeno.....40
Figura 13 - Trado de Caneco para coleta do material.....45
Figura 14 - Teodolito..... ..46
Figura 15 - Estufa para secagem de material.....48
Figura 16 - Almofariz e Grau (pistilo) com luva.....49
Figura 17 - Quarteador Jhones.....50
Figura 18 - Moinho Excêntrico de Vibração.....51
Figura 19 - Muflas (1.400 ºC) e (1100ºC).....53
Figura 20 - Prensa para Confecção de Pastilha.....55
Figura 21 - Sistema de Fluorescência de Raios X, modelo PW 2400/00, com Sampler changer 2510, marca PHILIPS ANALITICAL.....55
Figura 22 - Mapa de Compartimentação Geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Rio Pequeno.....58
Figura 23 - Mapa de Geologia da Bacia Hidrográfica do Rio Pequeno.....60
Figura 24 - Mapa da Hipsometria da Bacia Hidrográfica do Rio Pequeno.....62
Figura 25 - Mapa da Clinografia da Bacia Hidrográfica do Rio Pequeno.....63

Figura 26 - Carta Imagem da Bacia Hidrográfica do Rio Pequeno.....65
Figura 27 - Mapa Geológico da Bacia Hidrográfica Tributária do Rio Pequeno em seu Terço Médio – Área Amostral – 1.....68
Figura 28 - Mapa Geológico da Bacia Hidrográfica Tributária do Rio Pequeno em seu Terço Superior – Área Amostral – 2.....69
Figura 29 - Mapa de Relevo Sombreado da Bacia Hidrográfica Tributária do Rio Pequeno em seu Terço Médio – Área Amostral – 01.....70
Figura 30 - Mapa de Relevo Sombreado da Bacia Hidrográfica Tributária do Rio Pequeno em seu Terço Superior – Área Amostral – 02.....71
Figura 31 - Carta Imagem da Bacia Hidrográfica Tributária do Rio Pequeno em seu Terço Médio – Área Amostral – 01.....73
Figura 32 – Carta Imagem da Bacia Hidrográfica Tributária do Rio Pequeno em seu Terço Superior – Área Amostral – 02.....74
Figura 33 - Área Amostral 1 – Vertente A – Pontos de Coleta.....77
Figura 34 - Área Amostral 1 – Vertente B – Pontos de Coleta.....77
Figura 35 - Tabela com listagem semi-quantitativa dos óxidos da área amostral 1, vertente “A” em litologia Gnáissica.....78
Figura 36 – Tabela com listagem semi-quantitativa dos óxidos da área amostral 1, vertente “B” em litologia Gnáissica.....78
Figura 37 - Mapa Clinográfico da Bacia Hidrográfica Tributária do Rio Pequeno em seu Terço Médio – Área Amostral – 01.....80
Figura 38 - Área Amostral 2 – Vertente A – Pontos de Coleta.....81
Figura 39 - Área Amostral 2 – Vertente B – Pontos de Coleta.....81
Figura 40 - Tabela com listagem semi-quantitativa dos óxidos da área amostral 2, vertente “A” em litologia Granítica.....83
Figura 41 - Tabela com listagem semi-quantitativa dos óxidos da área amostral 2, vertente “B” em litologia Granítica.....83
Figura 42 - Mapa Clinográfico da Bacia Hidrográfica Tributária do Rio Pequeno em seu Terço Superior – Área Amostral – 02.....84
Figura 43 - Mapa Planimétrico da Bacia Hidrográfica Tributária do Rio Pequeno em seu Terço Médio – Área Amostral – 01.....90
Figura 44 - Mapa Hipsométrico da Bacia Hidrográfica Tributária do Rio Pequeno em seu Terço Médio – Área Amostral – 01.....91
Figura 45 - Mapa Planimétrico da Bacia Hidrográfica Tributária do Rio Pequeno em seu Terço Superior – Área Amostral – 02.....92

Figura 46 - Mapa Hipsométrico da Bacia Hidrográfica Tributária do Rio Pequeno em seu Terço Superior – Área Amostral – 02.....93

Figura 47 - Representação gráfica da distribuição das maiores concentrações de óxidos ao longo do perfil das vertentes - Área Amostral1 – Gnaisses 97
Figura 48 - Representação gráfica da distribuição das maiores concentrações de óxidos ao longo do perfil das vertentes - Área Amostral 2 – Granito ..99

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....1
2 DEFINIÇÕES CONCEITUAIS / METODOLÓGICAS DO PRESSUPOSTO GEOMORFOLÓGICO E GEOMORFOQUÍMICO..... 9
2.1 Sistemas geomorfológicos e geoquímicos..... 9
2.2 Definições espaço/temporais para caracterização geomorfológica 14
2.3 Considerações solo/rocha para interpretação geomorfológica 19
2.4 Geotecnologias como subsidio a análise e representação espacial dos aspectos geomorfológicos 25
2.5 Avanços tecno/metodológicos conceituais 33
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS 36
3.1 Elaboração de material cartográfico através das geotecnologias 41
3.2 Compartimentação local do relevo através da análise de produtos de Sensoriamento Remoto.....43
3.3 Análises geoquímicas e tratamento geoestatístico das informações da alterita (solos saprolíticos) em diferentes litologias no perfil topográfico de vertentes 44
3.3.1 Laboratório de Mecânica de Solos.....47
3.3.2 Laboratório de Análise de Geoquímica.....49
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....57
5 CONCLUSÃO.....103
REFERÊNCIAS.....107
APÊNDICE.....111
ANEXOS.....113

RESUMO

Observa-se atualmente uma evolução significativa do conhecimento nas áreas relacionadas às geociências. E, em particular a ciência geomorfológica, a qual tem como premissa compreender e explicar as formas da arquitetura do relevo na atualidade através de sua gênese, evolução cronológica e grau de estabilização partindo de estudos descritivos e investigativos. Tais avanços estão respaldados em novas geotecnologias e consequentemente na aplicação de metodologias específicas que permitem uma vasta possibilidade de novas pressuposições indicativas ou elucidativas sobre o sistema geomorfológico. Desta forma este trabalho tem como objetivo averiguar qual a possível influência dos aspectos geoquímicos sobre o estado atual das unidades de relevo associados aos fatores e elementos geoambientais, em litologias diferenciadas através da aplicação de procedimentos metodológicos envolvendo a utilização de geotecnologicas e investigações geoquímicas. Para a realização e êxito desta proposta metodológica definiu-se coma área de estudo a bacia hidrográfica do rio Pequeno em seu terço médio e superior, situada no município de São José dos Pinhais, integrante da Região Metropolitana de Curitiba no Estado do Paraná região sul do Brasil. Optou-se por este recorte espacial em função do mesmo apresentar as características geoambientais apropriadas para o desenvolvimento deste trabalho. Os procedimentos metodológicos adotados consistem na utilização da análise de produtos elaborados a partir das técnicas do sensoriamento remoto e geoprocessamento para a confecção da cartografia temática. Produtos estes associados à investigação geoquímica do material de alteração (saprólito) em rochas do embasamento cristalino tomando como objeto de estudo vertentes contra postas uma em relação a outra em duas áreas amostrais distintas. Para a investigação geoquímica optou-se pelo método da varredura semi-quantitativa dos óxidos através da espectrometria de fluorescência de raios “X” em amostras de materiais intermediários entre os estudos geoquímicos orientativos do solo e litogeoquímicos orientativos. Considera-se que para os ensaios metodológicos a que se propõe este trabalho os resultados foram satisfatórios com a ressalva para a importância de estudos mais detalhados, envolvendo mais análises propiciando assim maior confiabilidade nas correlações geoquímicas com a interpretação e compreensão das formas do relevo atual. Entretanto ressalta-se a importância destes resultados não como respostas elucidativas e sim como mais uma possibilidade metodológica investigativa viável para a compreensão do sistema geomorfológico quanto sua gênese, evolução e grau de estabilidade.

Palavras-Chaves: Unidades de relevo, geotecnologias, investigações geoquímicas, bacia hidrográfica, embasamento cristalino.

ABSTRACT

A significant evolution of knowledge on geosciences and its related topics can be observed nowadays. It happens, in particular, with the geomorphologic science, which has, as its premise, to understand and to explain the current relief architecture form based on its genesis, chronological evolution and stabilization degree having, as starting point, descriptive and investigative studies. Such developments are supported by new geotechnologies and, consequently, by the application of specific methodologies that allow a broad possibility of new indicative or elucidative propositions about the geomorphologic system. Therefore, the objective of this work is to verify the possible influence of geochemical aspects on the current relief units' state related to geoenvironmental elements, in different lithologies through the application of methodological procedures involving the application of geotechnologies and geochemical research. In order to successfully accomplish this methodological proposal the higher third mean of the "Pequeno" river watershed was defined as the area of study. This area is located in São José dos Pinhais municipality in the Curitiba metropolitan area, in Paraná state, in south region of Brazil. Such special cut was adopted because of the suitability of its geoenvironmental characteristics to the right and proper execution of this work. The adopted methodological procedures consist in the use of the analysis of products prepared based on remote sensing techniques and geoprocessing in order to produce the thematic cartography. Such products are associated to the geochemical research of the alteration material (saprólito) in the crystalline basement rocks, having as object of interest opposed strands in two distinct sample areas. When concerning the geochemical study, the oxide semi-quantitative scan method using x-ray fluorescent spectrometry was adopted. It was performed in intermediate material samples between the geochemical orientated and lithogeochemical orientated soil studies. Considering the methodological essays proposed in this work, the obtained results are satisfactory. It is important, however, to perform more detailed studies with more analysis with the purpose of having more confidence regarding the geochemical relations with the interpretation and understanding of the current relief forms. Nevertheless, it is important to stress the importance of these results, not as clarifying answers, but as another feasible possibility to understand the geomorphologic system regarding its genesis, evolution and stability degree.

Keywords: Relief units, geotechnologies, geochemical study, watershed, crystalline basement.

1 INTRODUÇÃO

Considerando o amplo conhecimento já adquirido no campo das geociências destaca-se o desenvolvimento da geomorfologia. No decorrer do tempo com a organização e aplicação de métodos sistematizados e possíveis de serem reproduzidos no tempo e no espaço, somados aos avanços tecnológicos, a geomorfologia deixa de ser considerada apenas como uma disciplina do conhecimento e passa a ser compreendida como uma ciência em si de expressiva importância.

Ciência responsável pela compreensão e descrição dos elementos e processos que estão relacionados à evolução e escultura da superfície da Terra, considerando as áreas emersas e submersas do Planeta.

Destaca-se a importância sobre a compreensão dos fatos geomorfológicos em síntese e gênese, uma vez que todas as outras esferas do sistema terrestre (atmosfera, litosfera, pedosfera, hidrosfera e biosfera), estão conectadas intimamente com o relevo, em especial as atividades da sociedade humana.

Conota-se, entretanto que os métodos relacionados à explicação da evolução e comportamento do modelado superficial do Planeta, por vezes apresentam-se como abstrações que procuram em modelos reduzidos e simbologia apropriada representar a complexidade das formas associadas á sua gênese considerando a evolução cronológica do mundo real.

Assim explica-se em partes o interesse pela busca dos detalhes procurando estabelecer relações com as generalizações relacionadas à morfologia superficial, que invariavelmente é resultado de processos e fenômenos internos e externos do sistema geomorfológico em diferentes escalas de causas e efeitos. Diante destas considerações evidencia-se que esta evolução ocorre em diferentes ambientes, ou seja, há uma dimensão possível de observações diretas relacionadas a áreas superficiais considerando os processos erosivos e deposicionais e outra dimensão abaixo desta linha superficial observável. Salienta-se, porém que ambas representam significativa importância na evolução e reprodução do relevo. Sendo que estes processos internos podem ser abordados também em diferentes escalas considerando as morfoestruturas resultados do tectonismo (maiores) e as movimentações de materiais na sub-superfície (menores) relacionada a sedimentos de variados tamanhos e a elementos químicos que promovem alterações em termos

de agregações e desagregações, favorecendo ou dificultando estas movimentações sub-superficiais denominados em contexto generalista de movimentos de massa que irão desencadear os movimentos superficiais mais intensos no que diz respeito ao transporte de materiais.

Considerando as dimensões espaciais (área) e cronológicas (tempo), torna-se relevante a definição territorial para experimentações metodológicas tratando-se de elucidações geomorfológicas. Entre diversas possibilidades relacionadas a escolha do recorte espacial para investigações e novos experimentos considerando determinada aplicação metodológica em escalas regionais e locais, a bacia hidrográfica apresenta-se como apropriada em termos de delimitações sistêmicas considerando entre outros fatores a delimitação territorial.

Definiu-se, portanto para a realização dos experimentos propostos neste trabalho áreas amostrais inseridas em uma bacia hidrográfica. Em contexto geral esta bacia apresenta vocação para uso do abastecimento urbano (residências, comércios e indústrias) e também para uso em áreas rurais (adjacentes) sendo desta forma utilizada por parte do município de Curitiba e sua região metropolitana, revelando a importância de pesquisas nesta região. Pois, por estarem próximas ao adensamento da malha urbana, estas áreas vêm sofrendo pressões quando ao modelo de uso do solo. Com isso a contribuição que se pretende apresentar com a realização deste trabalho consiste na busca pela compreensão do comportamento das transformações ocorridas na escala do detalhamento considerando o comportamento e evolução das vertentes como suporte a outros experimentos para averiguações sobre a estabilidade destas áreas e sua contribuição quanto aos sedimentos que possam ser transportados.

A bacia hidrográfica do rio Pequeno, espaço territorial onde se encontram as áreas selecionadas para a aplicação metodológica localiza-se no município de São José dos Pinhais adjacente ao município de Curitiba capital do Estado do Paraná (Figura 01). Destaca-se que esta bacia hidrográfica participa do sistema hidrográfico do Alto Iguaçu, importante área produtora de recursos hídricos para a região, possuindo certas particularidades.

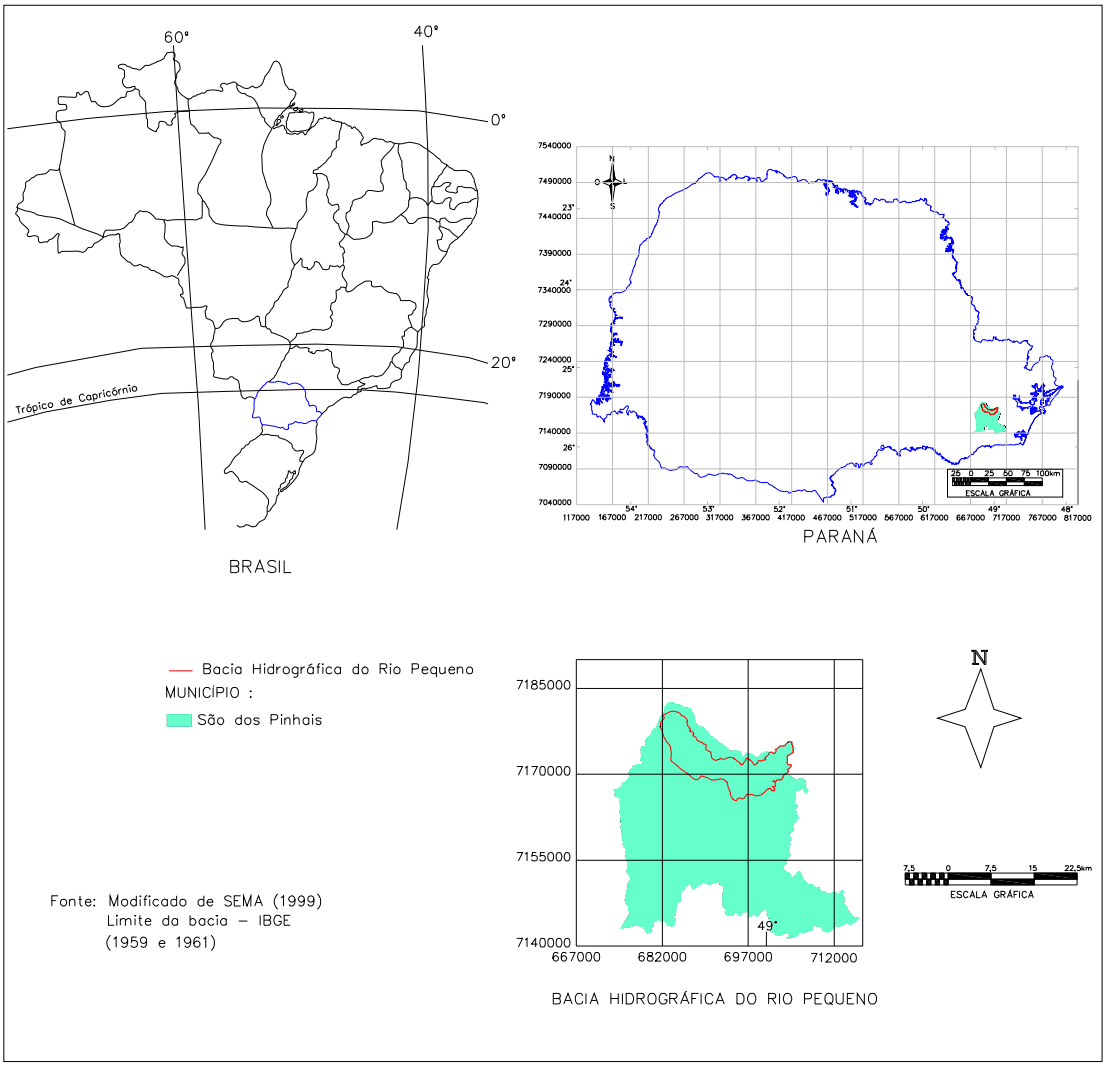


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo

Particularidades estas que estão relacionadas com suas características físicas e geobotânicas fazendo que a mesma apresente áreas ecúmenas e anecúmenas, que, no entanto de modo geral não estão sendo integralmente respeitadas por suas características e vocações naturais, a não ser por questões legais (Unidades de Conservação) também nem sempre respeitadas.

Entre as características naturais ressaltam-se a importância dada particularmente neste trabalho às ocorrências litoestruturais (geologia) e as formas de relevo derivados (geomorfologia), e suas integrações com o sistema ambiental.

Em relação ao relevo considerando a orientação da bacia hidrográfica leste / oeste em relação ao seu maior eixo (comprimento da bacia) e ao deflúvio dos fluxos

superficiais, apresenta os terrenos com maiores elevações no extremo leste, diminuindo estas elevações no sentido oeste. Ambas as condições de relevo, com maiores gradientes altimétricos nos contrafortes ocidentais da Serra do Mar, ou com dimensões interfluvias menores nas áreas deposicionais da Bacia Sedimentar de Curitiba apresentam em certas condições possibilidades mais favoráveis (ecúmenas) e áreas com restrições severas (anecúmenas) quanto ao uso e ocupação do solo.

Considerando às restrições as áreas mais dissecadas horizontalmente em sua grande maioria está relacionada às planícies aluviais, sujeitas desta forma a possíveis inundações e a problemas estruturais de edificações em alguns casos específicos pela inconsistência do material geológico presente. Nas áreas com relevo com índices de inclinação mais intensos as restrições relacionam-se a possibilidade da potencialização para ocorrência de movimentos de massa em escalas multivariadas (pequenas a grandes proporções), colocando em risco a integração do equilíbrio do sistema ambiental e também de pessoas e estruturas.

Observa-se que o adensamento da malha urbana ocorre no sentido do oeste para leste, ou seja, das áreas menos inclinadas para as mais acidentadas e ainda pouco ocupadas. Esta condição de adensamento demográfico e procura cada vez maior por espaços a serem ocupados, motivam a realização desta pesquisa, que pretende através do seu desenvolvimento compreender a relação dos ambientes supérgenos com a estabilidade das encostas nas áreas mais acidentadas onde se encontram as rochas do embasamento cristalino responsáveis em partes pela contribuição do material a ser depositado nas áreas mais planas do relevo.

Através da compreensão e possíveis relações que possam se estabelecer entre as características geoquímicas relacionadas ao comportamento dos elementos químicos encontrados na composição das rochas e sua mobilidade no ambiente supérgeno espera-se encontrar mais uma variável a ser considerada na classificação da fragilidade potencial destas áreas. Uma vez estabelecido o grau de fragilidade potencial pode-se com maior grau de confiabilidade estabelecer o grau de fragilidade emergente, contribuindo no zoneamento, planejamento e gestão ambiental regional. Porém ressalta-se esta pesquisa não pretende com seus resultados estabelecer e classificar áreas em razão de sua fragilidade nem tão pouco servir de instrumento direto para planejamento e gestão ambiental, e sim elucidar as possibilidades de incorporar mais uma variável a ser considerada em modelos teóricos e metodológicos sobre a evolução dos processos geomorfológicos.

O tema da pesquisa norteador dos resultados apresentados refere-se à determinação e avaliação do comportamento dos elementos químicos em minerais primários (essenciais e acessórios) e secundários (de alteração) formadores das rochas do embasamento cristalino em vertentes com inclinações medianas e elevadas, encontradas na bacia hidrográfica do rio Pequeno localizada no município de São José dos Pinhais, Região Metropolitana de Curitiba.

Com base na corroboração dos fatos analisados pretende-se estabelecer o grau de influências geoquímicas e geoambientais na evolução e estabilidade do relevo na bacia hidrográfica do rio Pequeno – PR.

Uma vez estabelecidas às possíveis correlações espera-se ter subsídios para a espacialização da ocorrência geoquímica em Granitos (Suíte Serra do Ma) no terço superior da bacia e Gnaisses Granodioritos Migmatizados e Gnaisses Granitos Migmatizados, encontrados no terço intermediário da bacia hidrográfica.

Para que seja possível esta averiguação, o material a ser coletado e examinado será o material encontrado sobre a rocha matriz (regolito), o qual apesar de já apresentar certa intemperização ainda mantém certas características da rocha sã, ou seja, não sofreu os processos de edafização avançada.

Considerando a postulação do problema, que relaciona-se ao questionamento sobre a importância e influência da geoquímica nos processos geomorfológicos quanto ao comportamento escultural da superfície terrestre este trabalho tem como objetivo geral:

Averiguar qual a possível influência dos aspectos geoquímicos sobre o estado atual das unidades de relevo associados aos fatores e elementos geoambientais, em litologias diferenciadas através da aplicação de procedimentos metodológiocos descritivos e investigativos.

Para atender as expectativas propostas no objetivo geral este trabalho apresenta os seguintes objetivos específicos:

- Realizar estudos integrados dos aspectos geoambientais como suporte ao diagnóstico investigativo geomorfoquímico da região;
- Determinar áreas amostrais de monitoramento para desenvolvimento de experimentos do comportamento geoquímico das rochas do embasamento cristalino;

- Classificar e estabelecer a distribuição espacial geoquímica dos elementos em diferentes materiais geológicos e posicionamentos das vertentes;
- Associar o grau de dissecação do relevo com a geoquímica em bases litológicas diferenciadas;
- Compartimentar as unidades de relevo das áreas amostrais através da análise de produtos de sensoriamento remoto e cartografia temática considerando a ocorrência de litologias diferenciadas do embasamento cristalino.

Contextualiza-se a importância desta pesquisa nas áreas das geociências e essencialmente à Geografia, considerando que a evolução e comportamento do modelado da superfície terrestre estão relacionados a um conjunto de fatores indissociáveis estabelecidos pelas leis da dinâmica ambiental com interconexões internas e externas. Assim, o relevo emerso atual do qual se dispõe como recurso ambiental, é resposta de formas estruturais e processos evolutivos com ciclagem constante de energia e materiais. Integrado a esta constante evolutiva associam-se toda a conjuntura geossistêmica, composta por espaços definidos no envoltório geográfico, seus elementos e fenômenos fundamentais formadores de diversificadas paisagens. Geossistemas estes que invariavelmente apresentam disponibilidades e possibilidades de utilização e apropriação humana relacionados a esta conjuntura espacial e suas características ambientais.

Desta forma este trabalho justifica-se pela importância do conhecimento acerca dos processos que atuam sobre estruturas já estabelecidas que compõem o envoltório geográfico, dos quais, vários são perceptíveis à cognição humana, como os fenômenos climáticos e a forma conjuntural do sistema ambiental através do comportamento hídrico, cobertura vegetal e tipologia pedológica. No entanto outros processos ocorrem sem que haja a percepção sensorial humana, porém, causadoras de profundas modificações estabelecidas nas características físicas e biológicas do sistema ambiental. Destaca-se como dinâmica ambiental imperceptível o comportamento geoquímico do estrato terrestre, através das dissoluções, agregações e mobilidade dos elementos químicos constituintes da Geosfera e distribuídos heterogeneamente nas demais esferas sistêmicas do Planeta.

É importante salientar que as transformações geossistêmicas ocorrem em todas as esferas terrestres classificadas como macro sistemas (litosfera, atmosfera,

hidrosfera, pedosfera e biosfera), influenciando e sofrendo influências de outros sub-sistemas como os geomorfológicos.

Pode-se neste caso considerar o relevo como resultado dos processos e fenômenos geomorfológicos atuando sobre os elementos constituintes dos demais sistemas da geosfera. Sendo que a modelação e configuração geométrica da superfície terrestre estão em constante transformação através principalmente dos processos de intemperismo que agem sobre esta superfície. No entanto é importante considerar esta superfície como a parte externa e uma outra parte interna que estiver sobre a influência direta e indireta destes processos e fenômenos que representam os ambientes supérgenos. Tais ambientes podem variar em termos de profundidade de alguns milímetros ou centímetros até dezenas ou centenas de metros.

Salienta-se a importância no avanço de tais estudos mediante a tendência cada vez maior da necessidade de ocupação humana e conseqüente transformação e substituição dos aspectos ambientais, onde por vezes as características da natureza são negligenciadas colocando em risco estruturas e a integridade física de pessoas.

Este trabalho apresenta-se organizado da seguinte forma:

A parte inicial trata dos aspectos introdutórios contendo um breve estado da arte sobre a ciência geomorfológica e a perspectiva de novos métodos de investigação; o objeto de estudo (área de estudo); os objetivos (geral e específicos), a problemática e a justificativa da elaboração desta pesquisa.

O segundo capítulo refere-se às definições conceituais / metodológicas do pressuposto geomorfológico, contendo abordagem relacionada com conceitos, definições e métodos importantes para o desenvolvimento do estudo. Esta etapa do trabalho é composto pelos seguintes sub-capítulos tratando sobre, sistemas geomorfológicos e geoquímicos, definições espaço/temporais para caracterização geomorfológica, considerações solo/rocha para interpretação geomorfológica, geotecnologias como subsidio a análise e representação espacial dos aspectos geomorfológicos e sobre os avanços tecno/metodológicos conceituais, pretendendo com esta contribuição teórica/conceitual relacionar as diretrizes da pesquisa com os pressupostos já estabelecidos na ciência clássica.

O terceiro capítulo aborda sobre os procedimentos metodológicos apresentando os materiais e métodos contendo uma abordagem integrada sobre os métodos a serem adotados. Detalhadamente são demonstrados os aspectos relacionados à elaboração de material cartográfico através da utilização das geotecnologias, compartimentação local do relevo através da análise de fotografias aéreas e as análises geoquímicas da alterita (solo saprolítico) em diferentes litologias no perfil topográfico de vertentes, seguidos dos materiais e técnicas utilizadas.

No quarto capítulo são apresentados os resultados, contendo a análise conjuntural dos dados obtidos através dos procedimentos metodológicos com avaliação da relação da mobilidade química de alguns elementos na morfologia das vertentes e graus de dissecação e sua associação com as unidades de relevo local.

E no quinto e último capítulo apresenta-se as considerações conclusivas do trabalho e contribuições bem como sugestões para desenvolvimento de pesquisas futuras.

2 DEFINIÇÕES CONCEITUAIS / METODOLÓGICAS DO PRESSUPOSTO GEOMORFOLÓGICO E GEOMORFOQUÍMICO

As apresentações e discussões teóricas conceituais sobre os pressupostos relacionados às áreas das geociências não tem neste momento a finalidade de formular novos postulados nem mesmo apresentar antíteses, e sim trazer os temas norteadores da proposta relacionada ao tema central deste trabalho. Não se pretende também neste momento abordar sobre ineditismos e sim apropriar-se de postulações já concebidas sistematicamente e cientificamente, como subsidio a compreensão e corroboração dos métodos e resultados apresentados nesta pesquisa.

2.1 Sistemas geomorfológicos e geoquímicos

É notório o avanço científico e tecnológico nas áreas das Geociências, que buscam a compreensão dos processos e métodos como respostas frente às necessidades crescentes por recursos em suas variadas formas e concepções. Recursos estes categorizados generalizadamente em atmosféricos, biológicos, pedológicos, minerais e essencialmente espaciais, visto que é cada vez mais contundente a necessidade por espaços geográficos a serem ocupados e utilizados pela sociedade humana. Diante da prerrogativa, evidencia-se a necessidade congruente dos avanços da Geomorfologia como ciência da evolução (processos) e da forma dos modelados terrestres, indicativos das potencialidades para uso e ocupação dos espaços em suas varias dimensões.

Segundo Christofoletti (1980, p. 1);

> As formas do relevo constituem o objeto da Geomorfologia. Mas se as formas existem, é porque elas foram esculpidas pela ação de determinado processo ou grupo de processos. Pode-se definir processo como sendo uma seqüência de ações regulares e contínuas que se desenvolvem de maneira relativamente bem especificada e levando a um resultado determinado. Dessa maneira, há um relacionamento muito grande entre as formas e os processos; o estudo de ambos pode ser considerado como objetivo central deste ramo do conhecimento, como as características fundamentais do sistema geomorfológico.

Havendo uma relação entre a entrada de energia e matéria (*in put*), e uma respectiva mobilidade e aporte de matéria e energia (*out put*), pode-se concretizar através desta integração de elementos e processos, um sistema ambiental aberto, ou especificando um envoltório geográfico e pluricentralizado compondo um Geossistema.

Considerando o geossistema como a combinação de formas, fatores e processos, destaca-se como uma de suas componentes às formas do relevo que ao mesmo tempo em que se inserem no sistema, são aparte um sistema próprio e de grande relevância no âmbito das questões ambientais e socioeconômicas. Segundo Ross (1997, p.9);

> O relevo, como um dos componentes do meio natural, apresenta uma diversidade enorme de tipos de formas. Essas formas, por mais que possam parecer estáticas e iguais, na realidade são dinâmicas e se manifestam ao longo do tempo e do espaço de modo diferenciado, em função das combinações e interferências múltiplas dos demais componentes do estrato geográfico. Essas inter-relações, que se traduzem pela troca de energia e matéria entre os componentes são geradoras da história natural do relevo, ou seja, são responsáveis pela evolução e, portanto, pela gênese do modelado da superfície terrestre.

Para Jiménez, (1992) a Geomorfologia não limita seu estudo apenas da forma superficial em sentido estrito, interessando-se também pela natureza, o estado e a organização dos materiais que a constituem e que nela afloram.

Releva-se a este quadro evolutivo e comportamental a importância dos conhecimentos a respeito da Geoquímica sob o ponto de vista geológico, uma vez que a base da concentração dos elementos químicos planetários advém das rochas, e geomorfológico onde um dos processos de transformação e modelagem do relevo ocorre em ambiente geoquímico. Para Licht (1998), sob o ponto de vista da geologia e da geoquímica, a Terra se constitui em um sistema dinâmico, no qual os materiais são movimentados de um local para outro, com mudanças na forma e composição. Isto tudo ocorre por uma grande quantidade de processos como: fusão, cristalização, erosão, solução, precipitação, vaporização e decaimento radioativo, em ambientes hipógenos e ou supérgenos. (Figura 2)

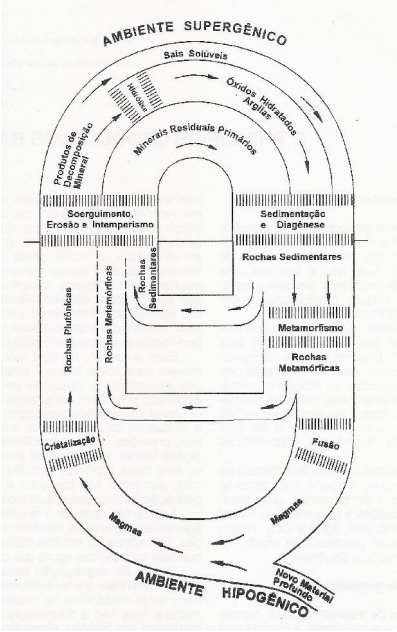


Figura 2 – Ciclo Geoquímico

Fonte: Rose, Hawkes e Webb (1979) [1], citado em LICHT (1998)

Tais processos ligados à dinâmica ambiental e, essencialmente à conformação do relevo terrestre, tornam-se passíveis à análise no sentido da averiguação do grau de estabilidade que uma área ou determinado espaço geográfico possa apresentar em relação as suas características naturais ou frente as possíveis modificações estabelecidas a partir de sua utilização. Para Almeida e Tertuliano citado por Guerra e Cunha (2000) o conceito de estabilidade refere-se à tendência que um sistema apresenta em permanecer nas proximidades do estado de equilíbrio, ou a voltar ao mesmo diante de uma perturbação. Esta relação de estabilidade está associada a sua constância, persistência, inércia, elasticidade, amplitude, estabilidade cíclica e estabilidade de trajetória.

Relacionando o comportamento e distribuição dos elementos químicos às formas do relevo e sua evolução pode-se sugerir o conceito da dinâmica geomorfoquímica, indicando um controle morfogenético e morfométrico do modelado (em unidades estruturais menores) aos elementos e processos geoquímicos litodiferenciados, associados ao demais componentes ambientais como dinâmica climática, dinâmica de drenagem, pedogênese e ao biocoletivo.

[1] HAWKES, H. E.; WEBB, J. S. **Geochemistry in mineral exploration.** New York: Harper & Row. 1962. 415 p.

Salienta-se que a evolução e conformação das formas superficiais do relevo terrestre são em parte produtos dos efeitos do sistema de intemperismo (*weathering system*), que basicamente podem ser classificados em físico (mecânico), biofísico, químico e bioquímico, porém agindo todos em conjunto simultaneamente.

Segundo Ahnert (1998, p. 61), “na natureza, o intemperismo mecânico e químico afetam a mesma rocha simultaneamente e complementarmente um ao outro”. A alteração química das rochas também reduz sua coesão, contribuindo assim para a desintegração física da rocha.

Desta forma pode-se expressar ainda que, o relevo deve ser compreendido enquanto sua gênese, resultado dos processos internos (endógenos) e externos (exógenos) da Terra. Ligado à dinâmica interna estão basicamente os eventos tectônicos e vulcânicos. Em relação aos processos externos estão relacionados todos os efeitos do sistema de intemperismo, associado basicamente às condições climáticas reinantes e pretéritas e ao tipo de material disponível.

Entretanto é importante compreender que as atuações dos processos exógenos ocorrem no extrato mais superficial do Planeta e também a certa profundidade, onde se façam sentir os efeitos transformadores do intemperismo, os quais podem variar de modo geral de poucos milímetros até algumas dezenas ou centenas de metros.

No que diz respeito às transformações ocorridas pela modificação e mobilidade dos elementos químicos formadores do material rochoso, que ao longo do tempo irão repercutir na forma externa, bem como poderão também determinar o grau de estabilidade em áreas com relevo acentuado, estas ocorrem na sub-superfície ou nos ambientes supérgenos. Segundo Licht (1998, p. 5);

> O ambiente superficial, também denominado de supérgeno, secundário ou exógeno, caracteriza-se por baixas pressões e temperaturas, uma movimentação livre de soluções e pela maior ou menor quantidade de oxigênio livre, água e CO_2. Fazem parte desse ambiente os processos de erosão, intemperismo, sedimentação e diagênese.

Para possibilitar a realização da correlação entre o ambiente geoquímico supérgeno e a evolução e estabilidade das formas de relevo, é imprescindível o

conhecimento e classificação dos elementos constituintes do material litológico e seu comportamento frente aos processos e fenômenos transformadores destes materiais.

Para Rankama, K.; Sahama, TH. G. (1954, p. 93);

> Esta classificação se fundamenta na forma de apresentarem-se os elementos nos minerais. Um dado elemento se inclui em um grupo petrógeno ou metálico, segundo sua concentração em uma das séries de compostos recém mencionados. Em outras palavras, utiliza-se como base da classificação a proporção percentual média do elemento nos grupos dos compostos.

Desta forma ressaltam-se a importância dos princípios geoquímicos como procedimentos associados à ciência que trata da ocorrência, organização e distribuição dos elementos químicos constituintes das rochas. Material este que se encontra em constante transformação, gerando desta forma ao longo do tempo feições singulares do relevo terrestre, componente considerado como importante elemento do recurso ambiental espacial. Clarke[2] (1924), citado em Mason (1971, p 3), retrata-se a geoquímica da seguinte forma:

> Cada rocha pode ser considerada, para as finalidades presentes, como um sistema químico no qual, por intermédio de vários agentes, se possam completar modificações químicas. Cada uma destas modificações implica um desequilíbrio com a formação final de um novo sistema que, em novas condições, é por sua vez estável por si próprio. O estudo destas modificações é o campo da geoquímica. As funções do geoquímico são determinar quais as modificações possíveis, como e quando elas acontecem; observar os fenômenos que as acompanham, e notar seus resultados finais... De um ponto de vista geológico, a crosta sólida da Terra é o objeto principal do estudo, e as reações que nela ocorrem podem ser classificadas convenientemente sob três títulos: primeiro, reações entre os constituintes essenciais da própria Terra; segundo, reações resultantes de seu envoltório aquoso, e terceiro, reações produzidas pela ação da atmosfera.

Insere-se a este contexto conceitual a aplicação metodológica, apoiada nas geotecnologias com modelagens quantitativas e espacialização de categorias controlantes a partir do comportamento morfogeoquímico. Segundo Silva (1999, p. 35);

---

[2] CLARKE, F. W. **The Data of Geochemistry.** (5º edição) U. S. Geol. Surv.Bull. 770, 1924. 841 p.

> A tecnologia é a ciência dos meios (Scruton, 1982) e a geotecnologia é a arte técnica de estudar a superfície da Terra e adaptar as informações às necessidades dos meios físicos, químicos e biológicos. Fazem parte da geotecnologia o Processamento Digital de Imagens (PDI), a Geoestatística e os SIGs (Sistema de Informações Geográficas).

Com a utilização do ferramental geotecnológico é possível representar cartograficamente a distribuição geoquímica associada às formas esculturais e litoestruturais do relevo, seguidas de experimentos e análise, constituindo-se numa base geocientífica para a determinação de programas de planejamento e gestão ambiental e territorial.

2.2 Definições espaço/temporais para caracterização geomorfológica

Sendo a geomorfologia a ciência responsável pela descrição, representação e explicação das formas do relevo terrestre, entende-se a necessidade de associar os fatos e as formas a um determinado espaço territorial e temporal, considerando as expectativas da finalidade de tais compreensões.

Em relação à evolução das formas do relevo considerando a escala temporal (cronológica) pode-se afirmar que a arquitetura superficial do Planeta está em constante transformação. Porém para que estas formas tomem os aspectos geométricos observáveis e representáveis geograficamente é inevitável considerar a variável do tempo cronológico. Este age como modelador destas formas, quando se associa ao mesmo todas as variáveis do sistema geomorfológico considerando inclusive o homem como principal ator destas transformações principalmente na contemporaneidade.

Segundo Christofoletti (1980) pode-se considerar como sistemas geomorfológicos antecedentes (SGA), o sistema climático que através de suas principais variáveis sustenta e mantém o dinamismo dos processos. O sistema biogeográfico representado pelas diferenciadas formas de vida encontradas no estrato geográfico que atuam direta e indiretamente na retirada e fornecimento

de materiais. O sistema geológico que através de sua composição litológica e estrutural age como principal agente fornecedor de materiais. E o sistema antrópico representado pela ação humana atuando inadvertidamente nas modificações dos processos e formas, através de influências destruidoras ou controladoras do sistema. Pode-se desta forma considerar estes quatro sistemas como os principais controladores do sistema geomorfológico, porém ressaltando a relevância que representa o tempo cronológico sob os quais estão atrelados estes subsistemas considerando a evolução das formas e dos processos. (Figura 3)

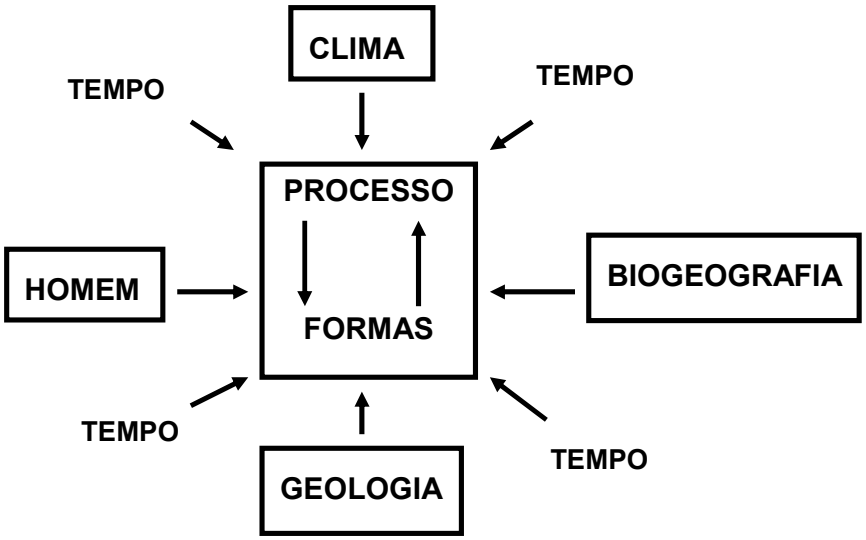


Figura 03 – Sistemas antecedentes controladores do sistema geomorfológico
Fonte: Modificado de Christofoletti, 1980.

Conota-se que estas questões relacionadas as formas e processos considerando a evolução temporal invariavelmente estão associadas integralmente ao espaço territorial a que estas variáveis estão condicionadas.

Assim, pode-se afirmar que para cada região e material específico a ser submetido aos processos do sistema geomorfológico, haverá uma relação de tempo na produção do relevo pela diferença de resistência dos materiais. Fato

este já tratado e demonstrado por Tricart e Cailleux, em documento elaborado para curso de geomorfologia estrtutural, quando aborda sobre os processos tectônicos gerando rochas metamórficas e vulcanismos produzindo rochas graníticas. Que submetidas aos processos de erosão irão apresentar diferentes respostas quanto aos modelos de relevos atuais, considerando o tempo de exposição aos sistemas geomorfológicos e o material a ser esculpido.

Desta forma é possível estabelecer a esta variável, espaço temporal, escalas que podem variar de um longo período de tempo considerando os domínios morfoestruturais associadas preferencialmente à evolução geológica e geotectônica do passado planetário através dos processos construtivos. Aos domínios morfoestruturais considera-se os grandes conjuntos, que geram arranjos regionais, guardando relações de causas entre si (NUNES... [et al.], 1994). Associados a escala temporal de longos períodos de tempo também se podem considerar os domínios morfoesculturais que segundo Ross, (1994) representam padrões de fisionomia de relevo que se desenvolvem a um longo período de tempo (cronológico) através das atividades climáticas que se sucederam no tempo e no espaço.

Em relação as escalas de médio e curto prazo temporal e espacial podem se considerar os processos geotectônicos catastróficos envolvendo terremotos e sistemas de vulcanismo local e regional, além dos tipos de modelados que evoluem constantemente ao longo do tempo inferindo os padrões geométricos da morfogênese do relevo da superfície terrestre local e regional. Relacionado aos modelados pode-se considerar os processos de acumulação, aplanamento, dissecação e dissolução (NUNES... [et al.], 1994).

Considerando as transformações mais imediatas em relação ao tempo e distribuição espacial é a que ocorre nas transformações geométricas relacionadas às vertentes, considerada *latu senso* como uma das menores unidades geomorfológicas capazes de serem interpretadas e representadas cartograficamente, sendo este o objeto central de estudo deste trabalho.

Para Ahnert 1996, grande parte natural da paisagem é formada por vertentes (*slopes*) inclinadas com diferentes ângulos e em variadas direções. As características para o desenvolvimento e função das vertentes são os

componentes dos processos responsáveis pelo sistema geomorfológico, portanto é o tema central da geomorfologia.

Porém constata-se na literatura científica grande variedade de preposições a respeito da gênese e morfometria das vertentes além da predominância de formas associadas ao desenvolvimento regional. É inegável, no entanto deixar de imaginar que esta predominância de formas deva estar ligada a quatro fatores fundamentais, o tempo cronológico, o material crustal, as modificações do nível de base (processos endógenos) e as condições climáticas reinantes e pretéritas.

Segundo Bigarella (2003, p. 984);

> A evolução das vertentes é conseqüência da ação dos processos deposicionais, os quais compreendem duas fases distintas: produção de detritos e sua remoção. O mecanismo da evolução das vertentes consiste essencialmente em uma sutil interação entre profundas mudanças climáticas, variações do nível de base locais e deslocamento crustais.

Entretanto, quando se trata das explicações acerca da evolução e ocorrência das formas convexas, côncavas, retilíneas ou conjugadas (agrupamento de duas formas ou mais na mesma vertente), há uma grande diversificação de interpretação e explicações. Tais proposições tomam como pressuposto um ou mais fatores com grau diferenciado de importância. Desta forma alguns autores consideram relevância maior para os fatores climáticos e outros apresentam importância maior para as condições mecânicas do material de origem (litoestruturas). Porém constata-se que há poucas interpretações a respeito das condições geoquímicas da rocha, considerando os perfis de alteração (regolito) esuas possíveis correlações com a evolução e forma das vertentes. Correlações estas que envolvem o comportamento mecânico associados aos aspectos climáticos.

Para melhor representação dos fatos geomorfológicos considerando a interpretação local dos níveis de dissecação os quais dizem respeito ao entalhamento e forma dos vales e vertentes que por sua correlacionam-se com os topos e padrões de drenagem superficial considerando sua distribuição e ocorrência espacial. Assim, tomou-se como recorte espacial as delimitações

estabelecidas pela bacia hidrográfica para os experimentos realizados neste trabalho.

Considera-se atualmente a área, determinada por uma bacia hidrográfica, como um modelo adequado para se delimitar um espaço geográfico. Esta exatidão na definição de um limite, considerando os elementos integradores das características geológicas, geomorfológicas, biológicas e sociais, de uma determinada região, favorece significativamente o desenvolvimento de pesquisas na área das geociências. (BRISKI, 2004)

Segundo Oliveira e Brito (1998 p. 104) pode-se definir bacia hidrográfica da seguinte forma:

> Bacia hidrográfica ou bacia de drenagem de um rio, até a seção considerada, ou exutório, é a área de drenagem que contém o conjunto de cursos d'água que convergem para esse rio, até a seção considerada, sendo portanto, limitada em superfície a montante, pelos divisores de água, que correspondem aos pontos mais elevados do terreno e que separam bacias adjacentes. O conjunto de cursos d'água, denominada rede de drenagem, está estruturada, com todos os seus canais, para conduzir a água e os detritos que lhe são fornecidos pelos terrenos da bacia de drenagem.

Salienta-se, entretanto a imensa dificuldade em se estipular uma escala temporal para analisar e compreender sobre a evolução das formas geométricas da superfície da Terra devido ao seu complexo dinamismo de transformações. Quanto à espacialização das formas resultantes dos fenômenos e processos geomorfológicos relacionados a determinada cronologia evolutiva, a delimitação e representação cartográfica das feições arquitetônicas superficiais tornam-se mais simples e eficaz diante das técnicas em se observar e estipular as diferenciações morfométricas espaciais das formas do relevo.

2.3 Considerações solo/rocha para interpretação geomorfológica

Estudos geomorfológicos relacionados especificamente ao comportamento e evolução das vertentes referem-se a estudos locais, devendo ser neste caso relacionado os aspectos transformadores e modeladores da superfície.

Os aspectos transformadores relacionam-se a fenômenos e processos que agem sobre os elementos que constituem o arcabouço geomorfológico. Associado à dinâmica dos processos e fenômenos reguladores e transformadores da modelagem superficial estão os sistemas geomorfológicos antecedentes (SGA), sendo o clima o principal deles considerando a evolução cronológica natural.

Quanto aos elementos que estão submetidos a este sistema de processos estão os sistemas geoecológicos (seres vivos animais e vegetais incluindo os seres humanos) atuando direta e indiretamente sobre as formas além dos aspectos litoestruturais e pedogenéticos.

Ressalta-se neste trabalho a interface entre a ocorrência geológica com o desenvolvimento morfopedogenético e as formas de relevo. Evidencia-se a importância das correlações que se estabelecem entre estes elementos e as formas dispostas na superfície geográfica devido a suas integrações dinâmicas e complexas.

Segundo Penteado, 1983 é possível observar; “a estreita relação da geomorfologia e pedologia e a possibilidade do trabalho em equipe, com a descrição quantitativa e minuciosa das características de solo e dos processos morfogenéticos que podem influir no aspecto dinâmico do relevo”.

Ao se abordar sobre a descrição e explicação da irregularidade das formas da superfície terrestre, tomando como pressuposto as análises para escala de trabalho local (vertentes, vales, interflúvios) (Figura 4), deve-se entre outros aspectos observar que os processos exógenos ou superficiais estão além da interface visível entre superfície sólida e atmosfera. Sobre estas transformações que ocorrem na superfície, deve-se considerar que os efeitos climáticos, e em especial nas regiões tropicais e subtropicais, se vazem sentir até alguns

centímetros, metros ou dezenas de metros abaixo desta linha de interface superfície/atmosfera.

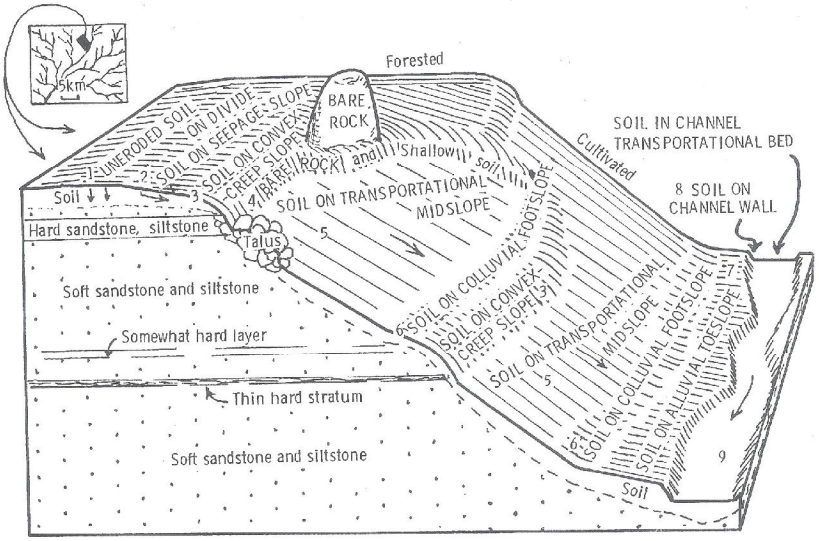


Figura 04 – Bloco Diagrama Esquemático sobre unidades do modelo superficial do terreno considerando relações solo/rocha

Fonte: Conacher e Dalrymple (1977), citado em Hole e Campbell (1985)

Estes efeitos climáticos e geobotânicos produzem diferentes estratos, que serão submetidos em intensidades e profundidades diferenciadas em função de um conjunto de variáveis que invariavelmente estão associados ao dinamismo das condições climáticas e do tipo de material solo/rocha considerando suas condições de resistência ao intemperismo e grau de permeabilidade de fluxos líquidos.

Esta dinâmica superficial é responsável pela estratificação vertical da tipologia e comportamento dos materiais sobrepostos, uns em relação aos outros. Esta sobreposição está de certa forma relacionada às condições geomorfogenéticas do relevo, pois delas resultam os diferentes compartimentos arquitetônicos da superfície terrestre.

Esta estratificação pode ser observada através de alguns métodos investigativos, sendo possível estabelecer variados níveis relacionados aos materiais sobrepostos diferenciados em relação a estrutura, comportamento e profundidade dos mesmos condicionados às geofácieis planetária. (Figura 5)

Considerando os ambientes hipógenos e supérgenos, estes irão inevitavelmente apresentar diferentes características relacionados a diferentes materiais e diferentes dinâmicas ambientais aos quais estão expostos.

Esta dinâmica ambiental relaciona-se as esferas sistêmicas planetárias (geofácieis), ou seja, litosfera, atmosfera, hidrosfera, pedosfera e biosfera, apresentando intimas correlações entre si.

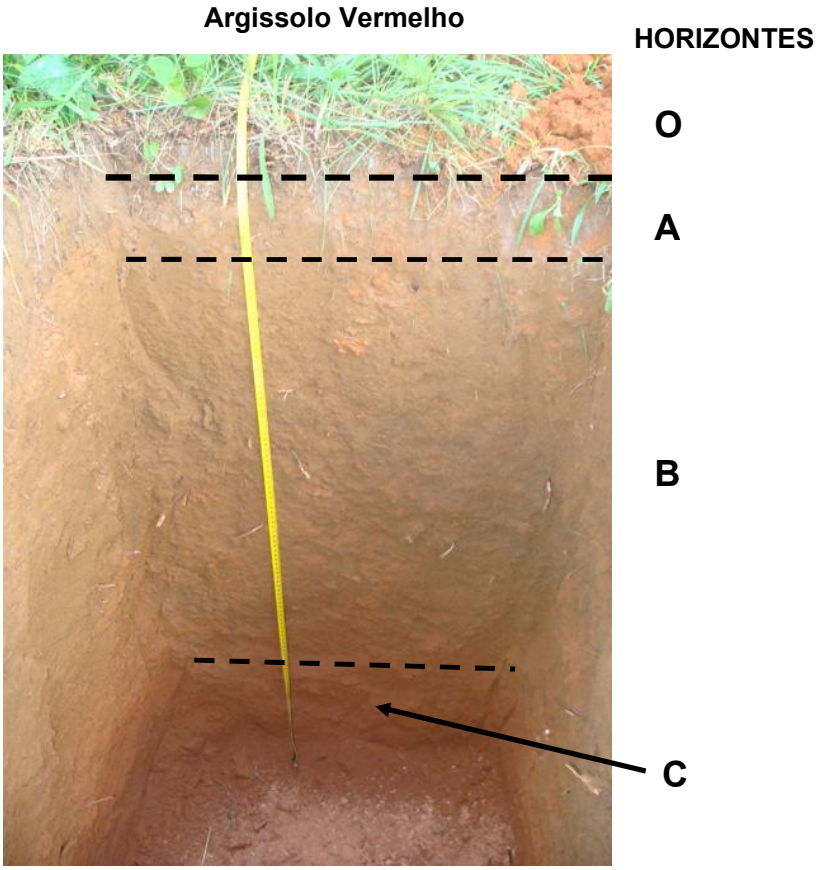


Figura 5 – Demonstração da estratificação dos horizontes do solo

Em relação às diferenças de composição, estrutura e comportamento das correlações entre a interface solo/rocha, estas vão apresentar diferentes fazes evolutivas, considerando as características geoquímicas que darão certo grau de resistência frente aos processos transformadores aos quais estiverem expostos estes materiais seja em termos de composição e ou estruturas. Assim para

diferentes composições litoestruturais haverá diferentes evoluções pedogenéticas, e consequentemente diferentes formas de estratificação em termos de horizontes, havendo a possibilidade de classificá-los separadamente considerando as limitações transicionais entre os limites de separação destes horizontes.

Neste trabalho em particular será data atenção preferencial aos materiais que se encontram na transição mais próxima da transformação do material litológico em material pedogenético (limites inferiores do solo) classificado pedológicamente como horizonte “C” (Figura 6). Considera-se que nesta faixa transicional ocorrem intensos processos de quimismo tanto em transformações como em mobilizações que estão relacionados com os aspectos geométricos e evolutivos das vertentes e consequentemente dos vales e interflúvios.

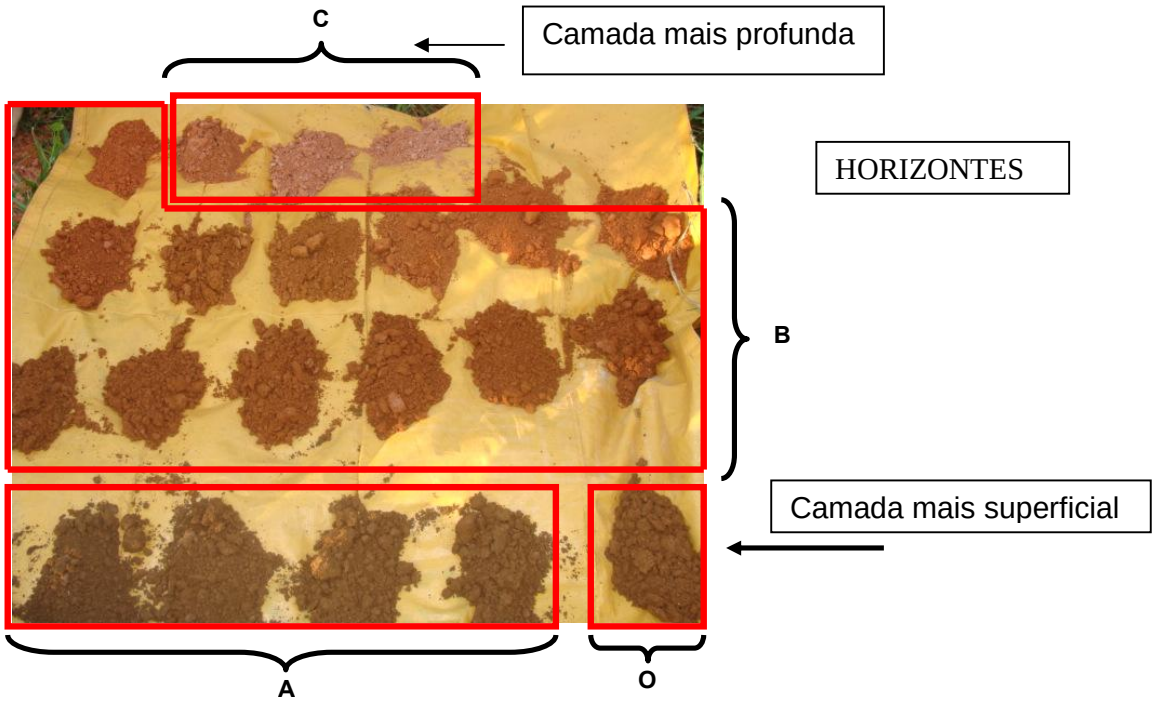


Figura 6 – Partições de transições das camadas do solo

Além das características da composição do material e das condições ambientais reinantes, outro fator determinante na evolução e comportamento dos perfis de alteração é sua localização geográfica e condições topográficas. Estas

variáveis de localização e condições do relevo irão estabelecer as profundidades médias com que podem ocorrem os horizontes e suas respectivas transições. Estes perfis de alteração tecnicamente são classificados como horizontes pedológicos onde são identificados os horizontes “A”, “B” e “C” representando nas áreas mais superficiais os solos transportados, coluviões ou talus, estando sequencialmente logo abaixo o solo residual. A camada abaixo do horizonte “C” representa a transição solo/rocha formada por blocos de rocha e solo saprolítico, e abaixo desta camada encontra-se a rocha decomposta ou sã, classificada tecnicamente como rocha alterada e ou rocha sã. (Figura 7)

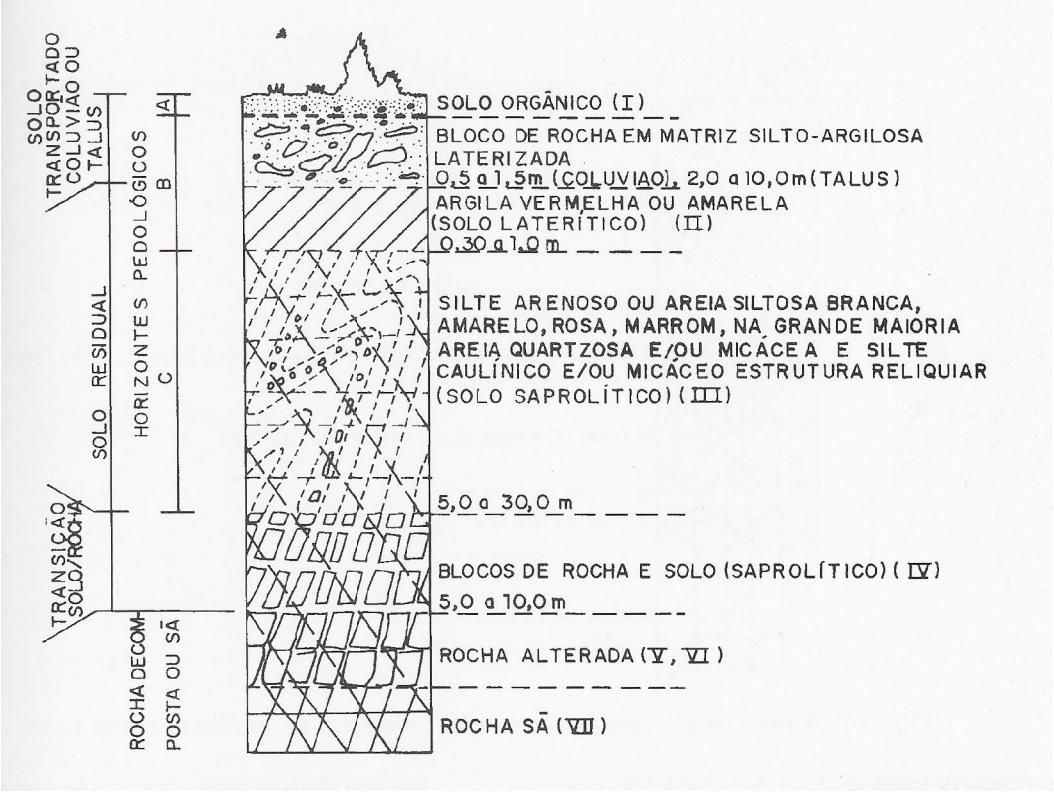


Figura 7 – Perfil de alteração típico de rochas metamórficas e graníticas em regiões de serra

Fonte: Pastore e Fontes, 1998.

Estabeleceu-se especificamente neste trabalho realizar investigações sobre o comportamento geoquímico do material representativo do solo residual, denominado como solo saprolítico.

Define-se segundo Pastore e Fontes *op cit*, horizonte saprolítico como solo residual tendo como principal característica apresentar a estrutura reliquiar da rocha de origem, podendo conter até 10% de blocos de rocha. Além da estrutura litológica, descontinuidade do maciço lítico, tais como falhas, fraturas e juntas encontram-se da mesma forma preservadas na forma reliquiar. A espessura e composição granulométrica deste horizonte apresentam-se muito variáveis, estando da dependência de sua posição no relevo e da rocha de origem. Comumente as composições granulométricas basicamente são representadas por areias siltosas pouco argilosas e siltes arenosos pouco argilosos. Os minerais mais comuns encontrados neste horizonte são o quartzo, a caolinita e a mica.

Possui os seguintes requisitos:

- cores predominantemente com tonalidades branca, creme, roxo ou amarelo claro;
- é solo no conceito geotécnico;
- mostra claramente as feições estruturais da rocha de origem sendo solo autenticamente residual.

Associado as novas experimentações correlatas às investigações geomorfológicas de detalhes, estão também disponíveis as geotecnologias, permitindo de maneira ágil e com confiabilidade representar e interpretar espacialmente os resultados representativos de amplas e inovadoras pesquisas geomorfopedogenéticas.

2.4 Geotecnologias como subsidio a análise e representação espacial dos aspectos geomorfológicos

As geotecnologias não podem ser consideradas como uma ciência, e sim como técnicas apoiadas em instrumentos e programas específicos como para a realização de funções estabelecidas através de operação predefinidas.

Assim pode-se afirmar que as geotecnologias representam um conjunto de métodos e técnicas trabalhadas em equipamentos mecânicos com aplicações da física, bem como eletrônicos através de informações matemáticas e alfanuméricas, visando acelerar processos, armazenar e manipular informações e obter resultados mais satisfatórios e eficientes com menor esforço do trabalho físico humano.

O termo geotecnologia engloba um cabedal tecnológico com aplicações específicas voltadas para os fatores e elementos formadores das geofácieis, compreendendo assim todas as esferas terrestres, compostas pelos elementos, geológicos, geomorfológicos, climatológicos, pedológicos, hidrológicos e geoecológicos além dos processos envolvidos na dinâmica ambiental do planeta. Segundo Silva (1999, p. 35):

> A tecnologia é a ciência dos meios (Scruton, 1982) e a geotecnologia é a arte e a técnica de estudar a superfície da terra e adaptar as informações às necessidades dos meios físicos, químicos e biológicos. Fazem parte da geotecnologia o Processamento Digital de Imagens (PDI), a Geoestatística e os SIGs.

Atualmente o conjunto de procedimentos geotecnológicos, através do sensoriamento remoto, o geoprocessamento e a geoestatística, representam ferramentas fundamentais para os trabalhos geocientíficos incluindo a geomorfologia e sistemas derivados.

Através destas técnicas é possível representar as características estruturais do meio físico considerando à integração sistêmica construindo cenários virtuais representativos do mundo real que, possibilitam a interpretação, análise e distribuição dos fatos relacionados a dinâmica do sistema ambiental considerando entre outros os sistemas geomorfológicos.

O sensoriamento remoto, com suas técnicas e equipamentos sensores, constituem atualmente importante função nas avaliações e análises ambientais, uma vez que representam os diferentes níveis da paisagem geográfica em diferenciadas escalas, possibilitando uma visualização integrada dos atributos físicos e fenomelógicos, naturais, já alterados e ou artificiais.

Para Novo (2002, p. 01-08) o Sensoriamento Remoto consiste na utilização de sensores para a aquisição de informações de objetos e fenômenos sem que, no entanto, haja entre eles contato direto. Os sensores representam equipamentos que possibilitam coletar e converter a energia proveniente do objeto em sinais passíveis de serem registrados e representados na forma adequada à extração das informações. Através da utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, entre outros, objetiva-se estudar o ambiente terrestre, por meio do registro e análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que compõem a superfície terrestre. (Figura 8)

Os três principais produtos adquiridos através do sensoriamento remoto que podem subsidiar as avaliações e análises geomorfológicas são: a fotografia aérea, as imagens de radar e as imagens de satélites, os quais permitem os registros atuais e multitemporais com informações de registros pretéritos.

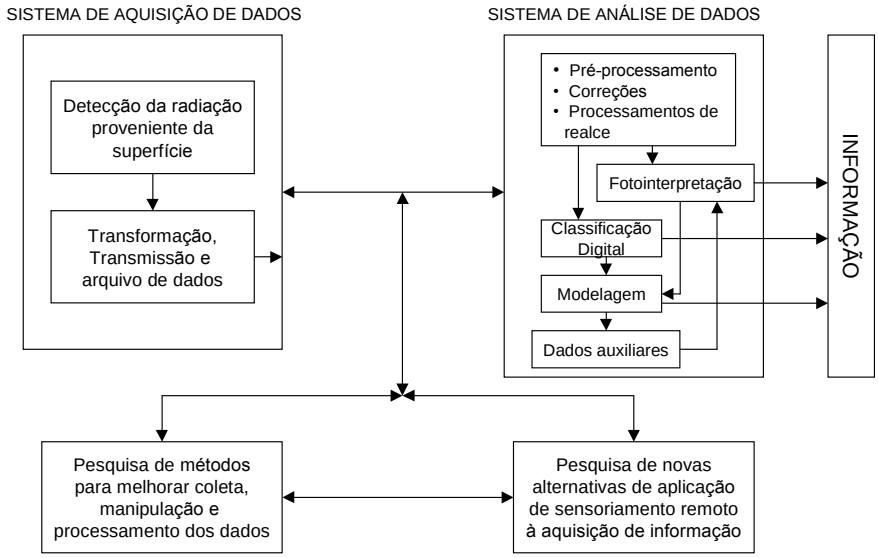


Figura 8 – Componentes básicos do sistema de aquisição de informação por sensoriamento remoto

Fonte: Novo (2002)

Especificamente no estudo dos aspectos geomorfológicos, tais técnicas representam fundamental importância quando associadas a outros recursos tecnológicos e conhecimentos pré-estabelecidos deste complexo subsistema ambiental. Segundo Jensen (2009, p. 534):

> Geólogos, geógrafos físicos e outros cientistas rotineiramente utilizam a visão sinóptica proporcionada pelos dados de sensores remotos visando identificar e interpretar feições geomorfológicas na superfície terrestre. De fato, a identificação, o entendimento e a avaliação quanto a natureza das formas de relevo visíveis em imagens de sensores remotos é um dos grandes benefícios da ciência do sensoriamento remoto.

É recomendável utilizar para estudos detalhados como delimitação uma bacia hidrográfica pequena ou média, permitindo analisar o grau de modificações estabelecidas no sistema geomorfológico em detrimento das ações e empreendimentos rurais, industriais e urbanos, relacionados aos aspectos culturais da superfície terrestre, avaliando o comprometimento causado pelas alterações estabelecidas nas suas variadas formas de utilização do espaço geográfico.

Para tanto é necessário integrar a experiência da acuidade visual do pesquisador com trabalhos supervisionados de campo, considerando-se a escala definida para a realização e objetivos do estudo (Figura 9). Segundo Novo (2002, p. 251):

> A percepção visual refere-se ao processo de estimulação sensorial que permite transformar a imagem detectada pela retina em uma informação com conteúdo organizado. O processo de percepção visual é a base do processo de interpretação de imagens. Ele começa com a detecção do objeto como um todo, depois esse todo é decomposto analiticamente num processo de identificação do objeto em relação a uma dada categoria. Essa identificação implica em relacionar as propriedades do objeto (forma, tamanho, volume, cor, textura e localização) com as características do “ambiente” em que se encontra. Todas estas “atividades” são realizadas instantaneamente no processo de percepção visual.

Ressalta-se, portanto a eficácia de tais procedimentos técnicos, considerando a experiência do observador analista. Se tratando dos aspectos geomorfológicos é importante relacionar as formas as suas definições conceituais, para que as informações possam ser compartilhadas e interpretadas

pelo maior número possível de observadores, cientistas e técnicos, atribuindo uma característica de utilização prática de tais informações.

Outro aspecto importante a ser considerado são os trabalhos de campo, como apoio as atividades de escritório e laboratórios. Este apoio de campo tem por finalidade a constatação de elementos e fenômenos identificados nos produtos de sensoriamento remoto bem como a averiguação dos fatos não reconhecíveis, por uma questão de escala ou ruído (sombras, distorções, etc) no produto.

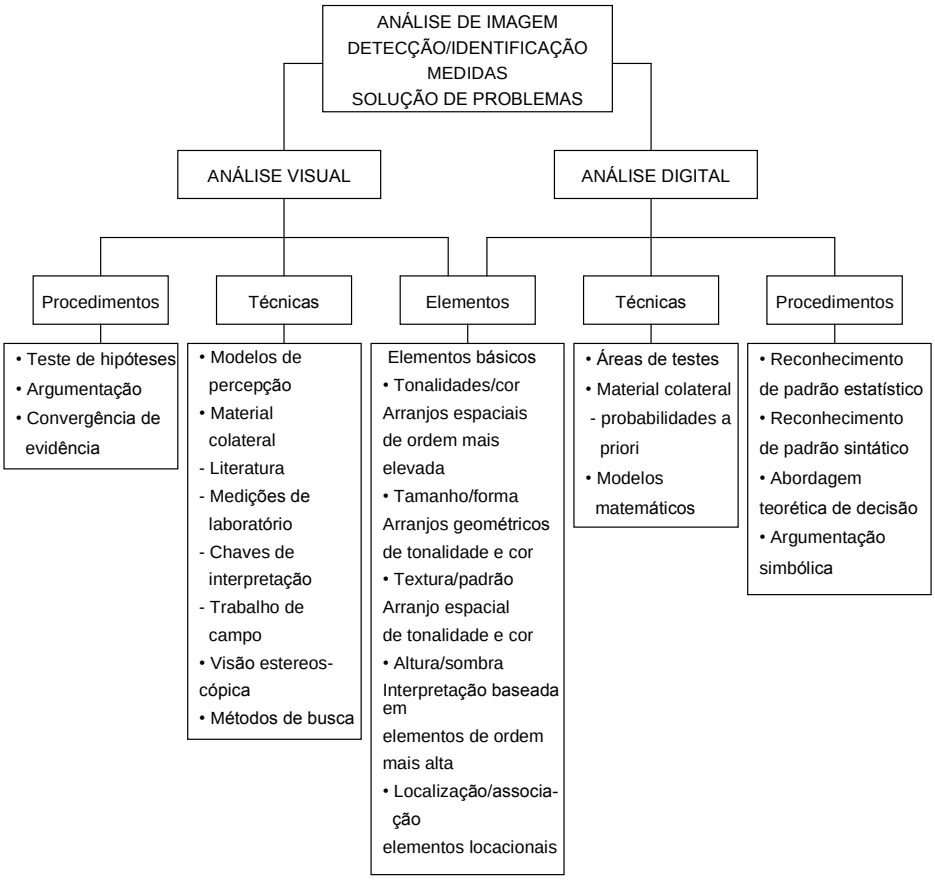


Figura 9 – Esquema conceitual do processo de análise de imagens
Fonte: Estes[3] *et al.* (1983) citados por Novo (2002)

[3] ESTES, J. E.; HAJIC, E. J.; TINNEY, L. R. Funtamentals of Image Analysis: Analysis of Visible end Thermal Infrared Data**.** In: COLWELL, R. N. (ed.) **Manual of Remote Sensing.** Fall Church, A.S.P. V II, Cap. 24, p. 987-1124, 1983.

Os trabalhos supervisionados de campo dependem necessariamente dos objetivos propostos ao estudo, bem como das possibilidades de acesso aos pontos de interesse estratégico.

As informações obtidas em campo associadas às informações geradas pelos processos e técnicas do Sensoriamento Remoto, correlacionadas entre si, podem ser trabalhadas conjuntamente com outras tecnologias para a composição sistemática e ordenada de informações técnicas e culturais, quantitativamente e qualitativamente, estabelecendo suporte adequado ao desenvolvimento do estudo. Este tipo de análise requer, para sua consolidação científica, a correlação com a análise geoestatística, no procedimento de avaliação, comportamento e distribuição dos elementos e fenômenos relacionados ao ambiente em questão.

A quantificação e tratamento estatístico de informações são de relevante importância no contexto das ciências ambientais, pois se torna possível avaliar o comportamento dos elementos e fenômenos através de sua freqüência, variância e distribuição sistemática. Condiciona elaborar parâmetros matemáticos que ajudam a elucidar os fatos do passado, compreender o presente e tecer considerações para modelagens futuras.

A geoestatística, associada a métodos computacionais representa uma evolução substancial das Geociências, aumentando a capacidade de se trabalhar com um maior número de variáveis e acelerando o processo no tratamento das informações. Contribui na veracidade e agilidade das respostas, à solução de problemas formulados através da quantificação e espacialização de dados geológicos/geomorfológicos.

A geoestatística pode ser usada com eficiência, segundo Landim (1998, p. 218), nas seguintes linhas:

- Transformação de informações e observações geológicas/geomorfológicas em números;
- Estimativa de distribuições espaciais;
- Interpolação e extrapolação de valores em mapas;
- Quantificação de erros;
- Análise de áreas de riscos;
- Orientação de planos de amostragem;

- Integração de diferentes tipos de dados;
- Modelagem de processos geológicos/geomorfológicos.

Constitui-se desta forma, em uma metodologia extremamente útil para a análise de dados com distribuição espacial, não dispensando, no entanto o conhecimento geológico inerente a estes dados.

Porém, é necessário tomar cuidado na aquisição das informações de relevância para estudos geológicos/geomorfológicos específicos, para que não ocorra o sombreamento ou desvirtuação dos resultados esperados. Compete então ao pesquisador elaborar criteriosamente a maior quantidade possível de observações segundo os objetivos propostos, para então organizá-los numericamente para possibilitar às análises, classificações e interpretações geoestatísticas adequadas. Conforme Landim (1998, p. 33):

> Quando se dispõe de um grande número de observações, torna-se extremamente difícil a sua compreensão pela simples leitura dos valores colocados em tabelas. Enquanto não organizados numericamente, os dados são considerados brutos. Há necessidade, portanto, de organizá-los, seja por seleção, agrupamento ou divisão proporcional, a fim de que, após resumidos, possam ser facilmente manuseados.

Uma vez realizados corretamente os procedimentos geoestatísticos, no que diz respeito à aquisição, organização, classificação e espacialização das informações de forma numérica, torna-se possível à interpretação e a construção de gráficos explicativos de ocorrência de elementos ou fenômenos ambientais, podendo estas informações ser utilizadas com eficiência nos estudos aplicados a geomorfologia e geoquímica.

Obtendo-se resultados geoestatísticos adequados, os mesmos podem ser integrados às tecnologias do geoprocessamento, permitindo a composição de informações distribuídas em mapas de diversas naturezas, bem como construção de banco de dados correlacional através do sistema de informações geográficas.

Os materiais produzidos através desta integração são fundamentais e de grande importância na aplicação de técnicas e métodos de estudos geomorfológicos já postulados e ou inéditos.

A contínua pressão exercida sobre a disponibilidade e dependência de recursos naturais pelo homem, e o espaço territorial para acomodação de suas atividades, atribuem aos estudos dos sistemas ambientais conotações cada vez

mais relevantes. Neste contexto fundamenta-se a crescente necessidade da elaboração e utilização de metodologias, e o uso de geotecnologias como suporte indispensável para a integração e espacialização de informações, voltada para as avaliações das ocorrências e comportamento dos elementos e fenômenos que em conjunto constituem a esfera terrestre.

O Geoprocessamento constitui-se em uma ferramenta valiosa para estudos de sistemas ambientais, proporcionando a construção de um banco de dados com informações teóricas e cartografadas em meios gráficos e alfanuméricos georreferenciados e inter-relacionados, com a utilização de técnicas matemáticas e computacionais. Para Silva (2001, p. 12):

> O Geoprocessamento é um conjunto de técnicas computacionais que opera sobre bases de dados (que são registros de ocorrências) georreferenciados, para transformar em informação (que é um acréscimo de conhecimento) relevante, deve necessariamente apoiar-se em estruturas de percepção ambiental que proporcionem o máximo de eficiência nesta transformação. Uma destas estruturas é a visão sistêmica, na qual a realidade é percebida como composta por entidades físicas ou virtuais, os sistemas identificáveis, que se organizam segundo diversos tipos de relacionamento, entre os quais ressaltam, para as investigações ambientais, as relações de inserção (hierarquias), justaposição (proximidade/contigüidade) e funcionalidade (causalidade). Segundo esta perspectiva, a realidade ambiental pode ser, portanto, percebida como um agregado de sistemas relacionados entre si.

Através das diferentes tecnologias que em conjunto constituem o Geoprocessamento, importante conotação se atribui ao Sistema de Informações Geográficas (SIG's), que devido ao seu poder de armazenamento e manipulação de informações georreferenciadas, apresenta-se como ferramental tecnológico fundamental no desenvolvimento de estudos de aplicação geocientífica. Conforme Silva (1999, p. 27):

> Os Sistemas de Informações Geo-referenciadas ou Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) são usualmente aceitos como sendo uma tecnologia que possui o ferramental necessário para realizar análises com dados espaciais e, portanto, oferece, ao ser implementada, alternativas para o entendimento da ocupação e utilização do meio físico, compondo o chamado universo da Geotecnologia, ao lado do Processamento Digital de Imagens (PDI) e da Geoestatística.

Os Sistemas de Informações Geográficas apresentam-se organizados respeitando uma arquitetura própria, onde existe a interface com usuários, a

entrada e integração de informações e dados, a consulta e análise de informações espacializadas, visualização e plotagem de informações cartográficas e temáticas e o armazenamento, recuperação, gerenciamento e manipulação de dados através de um banco de dados geográfico relacional conforme demonstrado na figura 10.

Esta organização e espacialização das informações são opções que favorecem os estudos relacionados as áreas de geociências e invariavelmente à geomorfologia, pois permite gerar informações cartografadas possibilitando ao pesquisador uma visão gráfica integrada e distribuída geograficamente na superfície terrestre dos elementos e fenômenos pesquisados ou associados ao estudo proposto.

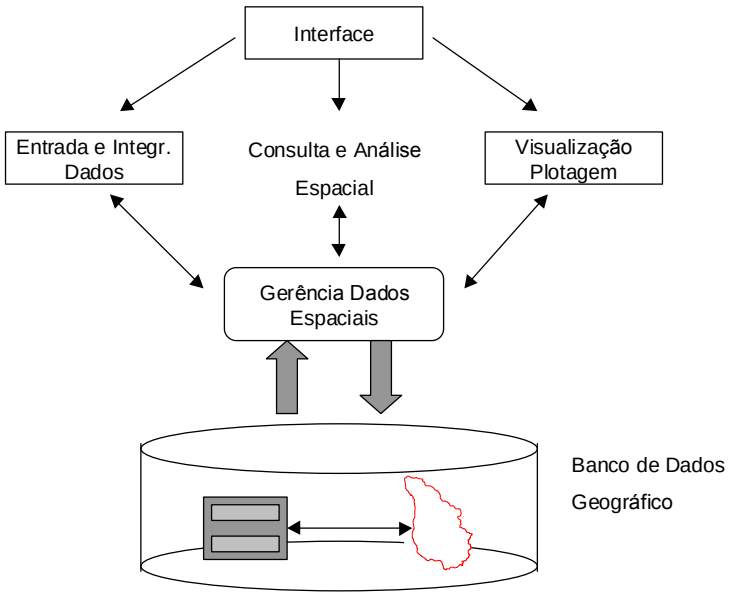


Figura 10 – Arquitetura interna de sistemas de informações geográficas
Fonte: modificado de Assad e Sano (1998), citado em Briski, 2004.

Especificando o estudo dos aspectos geomorfológicos e geoquímicos, tomando como recorte espacial os limites topográficos que constituem uma bacia hidrográfica, esta pode ser considerada como um sistema ambiental, no qual as aplicações de um SIG tornam-se eficientes. Estes podem ser perfeitamente aplicados com êxito, no que diz respeito a investigações geomorfoquímicas, que

são responsáveis em partes pela forma como se apresentam na atualidade as vertentes, vales, topos e graus diferenciados de disssecação observados no relevo.

Desta forma fundamenta-se a importância da aplicação das geotecnologias, na elaboração de pesquisas voltadas para a representação e elucidação evolutiva das formas de relevo atuais através de conexões coma as formas pretéritas e projeções futuras. Salienta-se que um dos primeiros passos a serem tomados quanto se trabalha com os aspectos da geomorfologia e sua compreensão é sua representatividade espacial através da disposição das formas do relevo, pois este é o objeto central da ciência geomorfológica.

2.5 Avanços tecno/metodológicos conceituais

Podem-se considerar significativos os avanços metodológicos e técnicos relacionados à evolução da ciência geomorfológica partindo do pressuposto geográfico. O ser humano como principal agente manipulador e transformador da organização sistêmica do Planeta, reconhecia o espaço através de observações em um campo restrito que sua visão pudesse alcançar. Neste momento reconhecer as relações que eram responsáveis pela determinação das formas da superfície não vazia parte de suas expectativas. Observava o relevo na intenção de avaliar quais seriam suas vantagens ou desvantagens em relação às formas.

Desta forma em meados do Século XIX a geomorfologia passa de uma disciplina autônoma da geografia física com função descritiva para uma abordagem explicativa se organizando como ciência. Passa então a realizar de forma ordenada as características das formas, formula hipóteses com intenção de explicações antecedentes, permeia-se na dedução de conseqüências esperadas a partir das hipóteses, realiza testes das conseqüências contra novas observações e a nomenclatura utilizada não é só explicativa, mas é também genética. (PENTEADO, 1983)

A geomorfologia passa então a se organizar em escolas que seguem os preceitos estabelecidos pela forma de investigação e interpretação dos fatos e disposição dos elementos. Podendo ser dividida generalizadamente em estrutural, climática e quantitativa.

Percebe-se então que com o avanço tecnológico através da criação de instrumentos com capacidade para análise, descrição e representação, a geomorfologia passa a ter outros recursos disponíveis para a elucidação de novas hipóteses que se apresentam, contribuindo desta forma com os avanços científicos geomorfológicos.

Segundo Penteado, (1983, p 3),

> Como a pedologia e outras geociências, a geomorfologia, além de outras, usa técnicas cartográficas e estatísticas, auxiliares na explicação e interpretação das formas do relevo e como documento de base, mapas e dados dos sensores remotos. As cartas topográficas são a base das análises morfométricas e a fotointerpretação é técnica auxiliar no levantamento e reconhecimento dos fatos e base para a elaboração de mapas geomorfológico.

Entretanto ressalta-se que à técnica deve invariavelmente estar submetida a um método, o qual possa ser reproduzido parcial ou integralmente buscando atingir resultados semelhantes ou outros resultados considerando-se outras variáveis.

Estas novas técnicas associadas a métodos clássicos ou novos permitem um avanço significativo na elucidação sobre a evolução e comportamento do estrado superficial do Planeta, possibilitando realizar experimentos e observações em diversas escalas tanto temporais quanto espaciais.

Observa-se, porém que mesmo em trabalhos que buscam os resultados nos detalhamentos de uma escala local (micro escala), estão relacionados as extrapolações ou conexões com os ambientes mais amplos (meso e ou macro escalas) da dinâmica superficial da superfície terrestre.

A exemplo disto, este trabalho investiga a relação entre o comportamento geoquímico e a forma das vertentes, considerando, no entanto o comportamento morfométrico do relevo em correlações com as estruturas representadas pelo Cinturão Orogênico do Atlântico e suas adjacências com a

Bacia Sedimentar do Paraná onde encontram-se inseridas as áreas amostrais estabelecidas para a pesquisa.

Atualmente o encaminhamento das pesquisas sobre os aspectos geomorfológicos podem se dar através de inúmeras diretrizes metodológicas como as correlativas, dedutivas, orientativas, analíticas ou com a combinação entre mais de um segmento metodológico, se assim determinar a proposta a ser desenvolvida.

Através destas diretrizes podem se estabelecer diversos métodos a ser aplicados a elucidação de problemas relacionados a geomorfologia como experimentos, observação em atividade de campo, abordagem teórica/metodológica sobre um problema específico, empírico qualiquantitativo, métodos de correlação cronológica dos fatos, entre outros.

Desta forma a proposta norteadora desta pesquisa é a correlação entre os aspectos geoquímicos com os geomorfológicos (formas e evolução do relevo), associados a métodos analíticos dos elementos que compõem as relação subaéreas permitindo proposições dedutivas a cerca da espacialização da geometria das formas.

Considera-se, pois que associado à evolução das formas também estão às mudanças que ocorrem na estrutura (química e consequentemente física) dos elementos que darão origem as formas e seu comportamento frente as variáveis transformadoras.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os recursos teóricos e metodológicos previstos para o desenvolvimento e elucidação do problema e corroboração das hipóteses da pesquisa consistem nas metodologias analíticas a serem adotadas para o encaminhamento das considerações finas deste trabalho.

Desta forma adotou-se organizar os procedimentos em etapas, porém com desenvolvimento integrado e inter-relacionado, ou seja, mais de uma atividade pode ser desenvolvida durante a realização das diferentes etapas.

A proposta para a realização da pesquisa está apoiada em quatro fases distintas, compreendendo o sistema metodológico adotado como padrão ao estudo intencionado. Este ordenamento pode ser verificado através do fluxograma representado na Figura 11, onde:

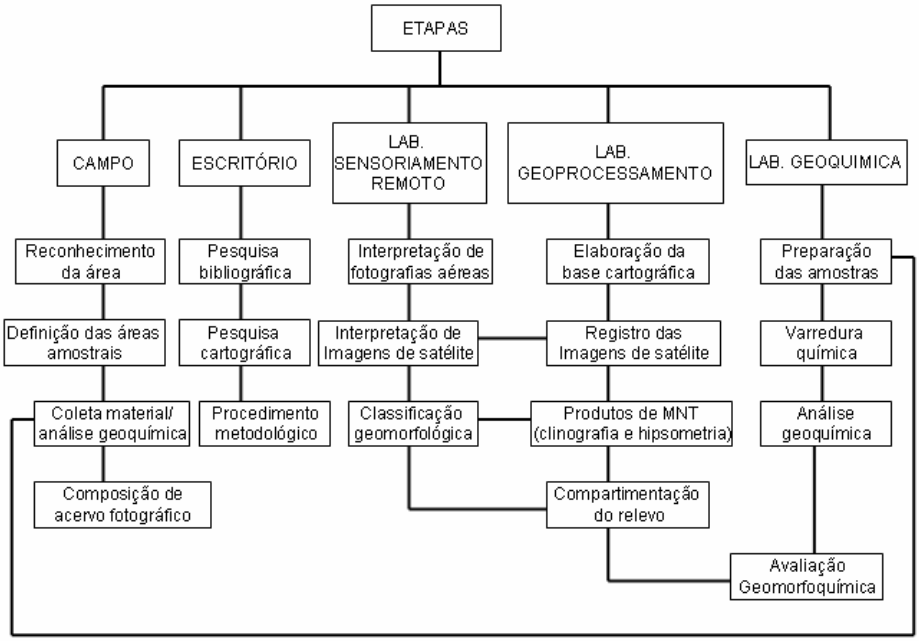


Figura 11 – Fluxograma das etapas de trabalho

- Na etapa campo foi realizado o reconhecimento da área, coleta de materiais para análises geoquímicas, e espacialização das informações pertinentes aos objetivos do estudo. Foram determinadas as áreas amostrais de monitoramento com os pontos específicos de coleta de material para análise geoquímica e a elaboração de acervo de registro fotográfico. Também se realizou as mensurações a respeito da forma geométrica das vertentes;
- Na etapa escritório foi realizado as pesquisas bibliográficas, cartográficas e de procedimentos metodológicos, além da compilação e análise das informações obtidas em campo e laboratórios;
- Na etapa de laboratório de sensoriamento remoto, foi realizada a interpretação das fotografias aéreas, e de imagens de radar e satélites como subsídios para a classificação geomorfológica e compartimentação do relevo da área de estudo;
- Na etapa de laboratório de geoprocessamento, realizou-se a construção de toda a base cartográfica digital, bem como o registro e classificação da imagem e elaboração dos produtos de Modelos Numéricos do Terreno (MNT), determinantes na averiguação e proposição do grau de dissecação do relevo para a correlação entre as formas do relevo com os aspectos geoquímicos dos materiais subaéreos;
- Na etapa de laboratório de geoquímica, foi averiguado através de análises químicas o comportamento geoquímico, que associado à classificação do grau de dissecação e formas geométricas das vertentes possibilita a determinação das possíveis relações entre as características geoquímicas das rochas do embasamento cristalino com as feições do relevo. Esperando contribuir com o avanço de novas aplicações de práticas metodológicas e conceituais referente à ciência Geomorfológica.

Todas estas etapas estão descritas detalhadamente na seqüência deste capítulo com o objetivo da demonstração e aplicação metodológica, com a intenção que o método possa ser reproduzido total ou parcialmente no desenvolvimento de outros trabalhos que se dispuser a investigações semelhantes.

Ressaltando-se toda via que o fator centralizador pela busca de resultados foi a investigação da geoquímica e suas possíveis relações com a morfometria das vertentes.

Primeiramente é necessário o esclarecimentos em relação aos princípios da geoquímica analítica, para escolha do método utilizado na determinação e quantificação química (varredura química) das amostras a serem analisadas. Sendo o método proposto o da espectrometria de fluorescência de raios X. Segundo Licht (1998, p. 50), “através deste método os elétrons de orbitais internos podem ser excitados por um feixe de raios X”, de maneira que possam emitir certa fluorescência com determinado comprimento de onda com distintas características para diferentes elementos químicos.

Justifica-se a opção por este método por seu baixo custo relativo a outros métodos, por ser aplicável em amostras aquosas e sólidas, e pela confiabilidade fundamentada no grau de precisão dos resultados.

Em relação aos métodos de prospecção do material analisado, optou-se por utilizar um método pouco convencional, com relações intermediárias entre os estudos litogeoquímicos orientativos e os estudos geoquímicos orientativos do solo, ou seja, o material de alteração.

Para a coleta das amostras realizou-se tratagens (trado de copo) na toposequência das vertentes (do topo à base das vertentes, seguindo direcionamento linear horizontal e vertical) desenvolvidas em rochas ígneas e metamórficas do embasamento cristalino. Selecionaram-se amostras do perfil edafogenético com interesses voltados as porções incompletamente alteradas da rocha *in situ* (solo saprolítico).

Para a compreensão ampla das características regionais do relevo e geologia tomou-se como área de abrangência o recorte espacial estabelecido pela bacia hidrográfica principal (bacia hidrográfica do rio Pequeno) e sub-bacias secundárias (bacias hidrográficas tributárias) objetos de estudo neste trabalho. Apropriou-se também das técnicas e práticas da cartografia geotécnica. Através destes procedimentos técnicos associados ao geoprocessamento e sensoriamento remoto foram elaborados os mapas temáticos apresentados na descrição regional da área de estudo, considerados importantes subsídios para a realização das discussões antecedentes as considerações conclusivas.

Além da representação cartográfica ampla através dos mapas temáticos, foi realizada também a interpretação de fotografias aéreas como subsídio aos produtos do modelo numérico do terreno (MNT) relacionadas às áreas amostrais de onde foi retirado o material para análise geoquímica. Através deste procedimento são demonstradas as características do comportamento do relevo através da compartimentação local das unidades de contribuição e de deposições.

Desta forma para atender aos objetivos propostos, no desenvolvimento da pesquisa, adotou-se como plano de investigação o tratamento de dados geoquímicos estatísticos e determinísticos como apoio às análises conclusivas da avaliação das possibilidades de interação e integração comportamental dos elementos químicos do material analisado com os aspectos morfométricos do relevo. Considerou-se como área representativa para confrontação dos resultados o recorte espacial estabelecido pela bacia hidrográfica.

Definiu-se o recorte espacial compreendido pela bacia hidrográfica do rio Pequeno com uma área de 136 Km^2, como unidade espacial experimental de estudo de caso. Justifica-se a escolha desta unidade espacial, pela relevância que esta representa para a região. Constitui-se em uma sub-bacia hidrográfica tributária da bacia hidrográfica do rio Iguaçu em seu curso superior denominada Altíssimo Iguaçu. Atualmente integra o conjunto de sub-bacias utilizada para atender o abastecimento público de água tratada do município de Curitiba e parte significativa de sua Região Metropolitana, estando geomorfológicamente inserida em dois compartimentos morfoestruturais diferenciados.

A área estabelecida para o estudo localiza-se ao norte do município de São José dos Pinhais (Figura 12) e ao extremo sul e parte sudoeste/sudeste do curso superior da bacia hidrográfica do rio Iguaçu. O município de São José dos Pinhais integra juntamente com outros 25 municípios a Região Metropolitana de Curitiba no Estado do Paraná. Dada a sua localização, a bacia hidrográfica escolhida como objeto de estudo, apresenta uma diversidade significativa das características litológicas, estando à mesma sobre domínios de diferentes unidades e estruturas geológicas e geomorfológicas. Oportunamente são apresentadas nos resultados deste trabalho atendendo as expectativas do estudo enquanto área laboratorial para os experimentos necessários à pesquisa.

Para atingir êxito na pesquisa foi necessário à utilização de materiais multivariados. Instrumentos eletrônicos e mecânicos para coleta de informações e

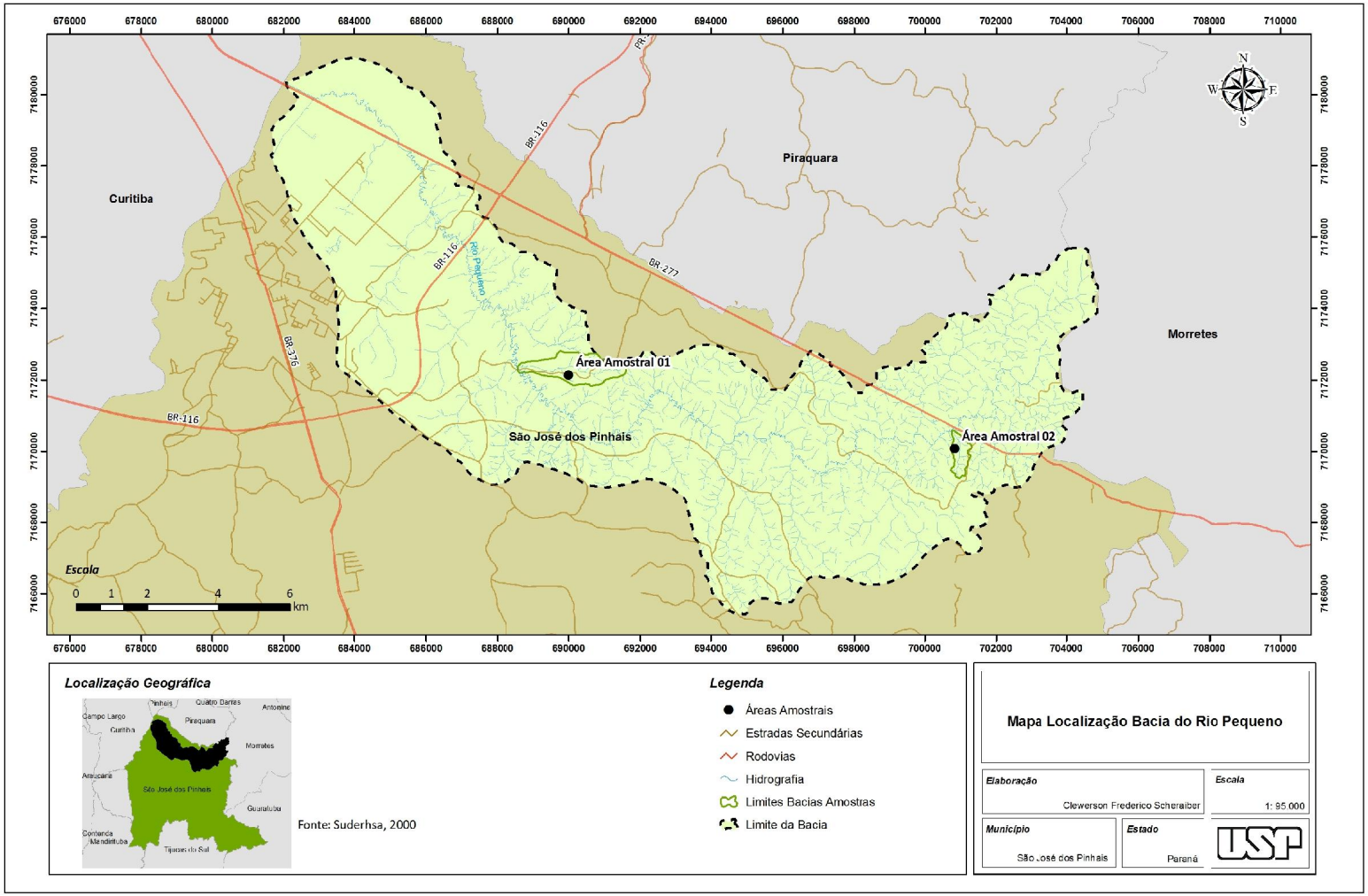


Figura 12 - Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Pequeno

amostras de campo e instrumentos tecnológicos laboratoriais de geoprocessamento e geoquímica para compilação e análise de dados. Além de referenciais bibliográficos e cartográficos específicos para a fundamentação conceitual e metodológica, fundamentais para a fase de desenvolvimento e conclusão da pesquisa.

3.1 Elaboração de material cartográfico através das geotecnologias

Para o desenvolvimento do trabalho, foram utilizados materiais, equipamentos e *softwares* adequados para a confecção dos produtos cartográficos e construção do banco de dados relacional, elaborados para análises e interpretações, com vistas à espacialização e interpretação dos elementos e fenômenos relacionados à área de estudo em especial as características do relevo. Destacando-se, os seguintes:

- Cartas topográficas do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) em escala 1:50.000, folha São José dos Pinhais - SG-18-K-IV-2 de 1961 e folha Piraquara – SG-22-K-II-4 de 1959, para delimitação da bacia hidrográfica objeto de estudo, utilizando para tanto as curvas de nível, sendo a bacia delimitada através dos divisores topográficos;
- Cartas Geológicas: carta em escala 1:50.000, elaborada por SALAMUNI *et al.*(1999), carta em escala 1:75.000 do ano de 1967, folha São José dos Pinhais e carta em escala 1:70.000, folha Serra da Igreja, ambas elaboradas pela Comissão da Carta Geológica (1969), para aquisição do ocorrência geológica e suas estruturas;
- Carta Planialtimétrica do ano de 2000, cedida pela SUDERHSA (Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), como base digital da hidrografia existente na área, malha viária e as curvas de nível para retratar o relevo. Este material foi restituído a partir das fotografias aéreas do ano de 2000 em escala 1:30.000;

Equipamentos:

a) Para aquisição de pontos de controle em campo, para georreferenciar as imagens de satélite e para auxiliar na escolha das áreas amostrais, foram utilizados receptores GPS (Sistema Global de Posicionamento), modelos Garmin ETREX e Garmin 48, para aquisição de coordenadas do Sistema de Projeção UTM, utilizando o datum SAD-69,

b) Para delimitação da bacia hidrografia e elaboração da carta de geologia, foi necessária a realização do procedimento de digitalização, utilizando para tanto mapas analógicos e mesa digitalizadora;

c) Para orientação em campo e para elaboração de croquis dos pontos de controle, utilizou-se bússola;

d) Máquina fotográfica para a composição do acervo fotográfico referente as áreas amostrais, definidas no recorte espacial (área da bacia hidrográfica do rio Pequeno);

Softwares:

a) Para digitalização e edição das cartas de solo e geologia, além da delimitação do recorte espacial, utilizou-se o AutoCad Release 14, elaborado pela Autodesk®, *software* de ambiente CAD (*Computer Aided design*).

b) Para elaboração dos produtos cartográficos, registro (georreferenciamento) das imagens de satélite, cruzamento entre os mapas, armazenamento e manipulação no banco de dados relacional, utilizou-se o SPRING versão 4.0, elaborado pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), *software* em ambiente SIG.

c) Posteriormente estas informações em formato digital foram exportadas para o *software* Arc Info 9.3, onde foram elaborados os seguintes produtos:

- Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Pequeno, utilizado como subsídio para a espacialização da área de estudo;
- Mapa geológico da bacia hidrográfica do rio Pequeno, para interpretação e localização espacial das classes litológicas, bem como subsidiar a elaboração dos mapas geológicos específicos das áreas amostrais;

- Mapas do relevo sombreado, clinográfico (variação das inclinações em graus) e hipsométrico (variação das classes de altitudes), utilizadas para realização da análise e compartimentação do relevo em relação a área total da bacia principal e das bacias hidrográficas tributárias referentes às áreas amostrais;

3.2 Compartimentação local do relevo através da análise de produtos de Sensoriamento Remoto

A utilização de técnicas e produtos obtidos através da aquisição de sensores remotos é fundamental na interpretação dos aspectos que compõem o arcabouço geográfico e essencialmente as características relacionadas ao relevo. Por tanto, trata-se de uma fase indispensável na confecção deste trabalho.

Desta forma, foram utilizados os seguintes produtos e técnicas relativas ao sensoriamento remoto:

- Dados orbitais para observação da organização espacial (espaço geográfico) da paisagem, utilizando imagem de satélite Landsat dos sensores TM5 (Thematic Mapper) e ETM+7 (Enhanced Thematic Mapper Plus), com resolução de 30 x 30 m, órbita/ponto 220/78, de 05/03/2009, onde através desta imagem pôde-se observar as formas do relevo bem como auxiliar na definição das áreas amostrais;
- Fotografias aéreas, também no intuito de realizar a observação espacial das áreas amostrais com utilização de estereoscopia auxiliando na interpretação do relevo. Utilizou-se as fotografias aéreas de 17/06/1980 em escala 1:25.0000 executadas pela Empresa Aerosul S. A. – Levantamentos Aeroespaciais e Consultoria.
- Ortofotos em escala de 1:10.000 do ano de 2000, confeccionadas pela SUDERHSA através de fotografias aéreas obtidas em vôo do mesmo ano. Produto utilizado para subsidiar a interpretação do relevo, além de auxiliar na confecção da carta imagem.

3.3 Análises geoquímicas e tratamento geoestatístico das informações da alterita (solos saprolíticos) em diferentes litologias no perfil topográfico de vertentes

O procedimento adotado para a realização das análises geoquímicas, inicia-se pela escolha das áreas amostrais de onde foram extraídos os materiais para a análise geoquímica, correspondendo a etapa de campo. A escolha se deu em função da litologia provável e das formas superficiais do relevo.

Uma vez determinada as áreas amostrais procedeu-se a coleta utilizando para tanto os seguintes materiais e procedimentos:

Trado de caneco (Figura13) para coleta do material em diferentes profundidades, estabelecidas dentro da toposequencia linear da inclinação do terreno. A profundidade adotada para coleta das amostras foi a cada 1 (um) metro, utilizando-se para a análise geoquímica, o material coletado a 4,30 metros (capacidade de profundidade máxima do trado), a última amostra das 5 retiradas de cada ponto de sondagem. A divisão horizontal estabelecida na toposequencia foi pela intermediação entre pontos de coleta, iniciando-se pelo topo da vertente. Após a coleta do topo, coletou-se material da base, sendo o terceiro ponto a relação mediana entre o topo e a base. Entre estes três pontos foram selecionados outros dois seguindo o mesmo método de intermediação entre pontos. Sendo este procedimento realizado em vertentes contrapostas para a primeira área amostral (área amostral 01 (um)).

Na segunda área amostral (área amostral 02 (dois) adotou-se o mesmo procedimento, porém com o estabelecimento de cinco pontos de coleta sendo o da base comum para as duas vertentes contrapostas. Decidiu-se pela adoção de outra forma de procedimento para o estabelecimento do pontos de coleta em função das formas diferenciadas das vertentes de uma área para outra, principalmente em relação ao fundo de vale e comprimento das rampas.

Figura 13 – Trato de caneco para coleta de material

Para a realização da coleta nesta etapa de campo além do trado de caneco, foram utilizadas outras ferramentas de apoio como enxadas, enxadecos, cortadeiras, pá de pequeno tamanho, martelos geológicos e pedológicos, trena e máquina fotográfica para registro dos procedimentos. Cada um destes instrumentos foi utilizado conforme a necessidade para realização da coleta favorecendo a agilidade e confiabilidade nesta fase do procedimento metodológico.

Além da coleta do material, também foram realizadas medições relacionadas a morfometria das vertentes. Para tanto, foi utilizado procedimentos técnicos de topografia, apoiados em teotolito digital (Figura 14), trena, baliza e mira. Desta forma foi realizada a leitura estadimétricas (fios superior, médio e inferior) e verificação da leitura do ângulo vertical do aparelho (Vº).

Figura 14 – Teodolito

Uma vez realizada a leitura das informações do equipamento, aplicou-se os modelos matemáticos para obtenção dos resultados desejados em relação a forma externa da vertente como: distância horizontal entre a base e o topo (D), altura vertical (ΔH) e o fator de inclinação (V%).

- Distância entre a base e o topo da vertente;

$$D = C \cdot S \cdot \cos^2 V$$

Onde: D = distância, C = constante de distanciamento (C = 100), S = leitura estadimétrica do fio superior menos a leitura do fio estadimétrico inferior (S = Ls – Li) e V = fator de inclinação relacionado a leitura do equipamento (Z), (V = 90º - Z).

- Altura vertical da vertente;

$$\Delta H = hi - Lm + 50 \cdot S \cdot \text{sen } 2 \cdot V$$

Onde: ΔH = altura vertical, hi = altura da instalação do equipamento em relação ao chão (cm), Lm leitura estadimétrica do fio mediano, S = Lm – Li e V = 90º - Z, onde Z = leitura vertical da luneta do equipamento.

- Distância inclinada da vertente

$$Di = \sqrt{\Delta H^2 + D^2}$$

Onde: Di = distância inclinada da vertente em metros, ΔH = altura vertical da vertente e D = distancia horizontal da vertente.

- Fator de inclinação da vertente em porcentagem (%)

$$V\% = \Delta H / D \cdot 100$$

Onde: V% = fator de inclinação da vertente, ΔH = altura vertical da vertente e D = distancia horizontal da vertente.

Tais informações são representativas na interpretação das formas das vertentes que constituem as áreas amostrais como subsidio para a classificação das unidades de relevo representativas para as áreas amostrais 1 e 2.

3.3.1 Laboratório de Mecânica de Solos

No Laboratório de Mecânica de Solos, da Universidade Tuiuti do Paraná (UTP), foi realizado o tratamento inicial das amostras a serem submetidas à leitura da varredura química através da difração de Raio “X”.

As amostras coletadas no campo foram levadas à estufa (Figura 15) para secagem a uma temperatura de 60 ºC por período de 48 horas. Após a secagem do material o mesmo foi submetido ao processo de homogeneização (desterroamento e

moagem grosseira do material) utilizando almofariz de porcelana e grau (pistilo) com luva de borracha (Figura 16).

A constatação do ponto de secagem ideal das amostras, foram obtidas através da diferença entre o peso úmido da amostra e seu peso seco verificados em balança de precisão. Também foram observadas as características do material ao tato, quanto à presença ou não de umidade. Uma vez realizado estes primeiros tratamentos laboratoriais as amostras foram encaminhadas para o laboratório de geoquímica da Universidade Federal do Paraná (UFPR) para realização da varredura geoquímica das amostras.

Figura 15 – Estufa para secagem de material

Figura 16 – Almofariz de porcelana e grau (pistilo) com luva de borracha

3.3.2 Laboratório de Análise de Geoquímica

Após o tratamento inicial de secagem as amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Análises de Minerais e Rochas (LAMIR) do Departamento de Geologia da UFPR. Na seqüência apresenta-se a transcrição das normatizações internas do LAMIR, padronizando a preparação das amostras para realização da varredura química semi-quantitativa dos óxidos maiores através de um conjunto de procedimentos. Descritos sequencialmente da seguinte forma:

Procedimento 01 – Quarteamento Jhones

a) Resultado esperado:

Obtenção de uma fração representativa de 30 gramas da amostra já britada, com tamanho inferior a 4 mm.

b) Recursos materiais necessários

- Quarteador Jhones (Figura 17);
- Máscara anti pó;
- Exaustor de poeira.

Figura 17 – Quarteador Jhones

c) Metodologia

Passar a amostra britada tantas vezes quanto necessário para redução da amostra no quarteador tipo Jhones até obter 30 gramas de material.

d) Cuidados especiais

- Limpeza do quarteador com ar comprimido;
- Manter o exaustor de poeira ligado e usar máscara anti pó;
- Evitar contaminação de uma amostra com outra;
- Dispor o material no quarteador de forma centralizada e uniforme.

e) O que fazer em caso de anomalia

Não utilizar o quarteador Jhones se a amostra estiver úmida (obstrui a passagem do material).

Obs: Antes de iniciar o quarteamento de amostras de solo, as mesmas devem passar na peneira de malha 4 mesh, a fim de separar possíveis fragmentos que não compõem a amostra (vidros, plásticos, etc) ou plantas (folhas e raízes).

Procedimento 02 – Pulverização

a) Resultado esperado:

Redução do tamanho da amostra já quarteada, a um pó fino e homogêneo inferior a 0,004 mm (325 mesh).

b) Recursos / materiais necessários:

- Moinho excêntrico de vibração (Figura 18);
- Balança de precisão 01 grama;
- Folhas de papel;
- Espátula.

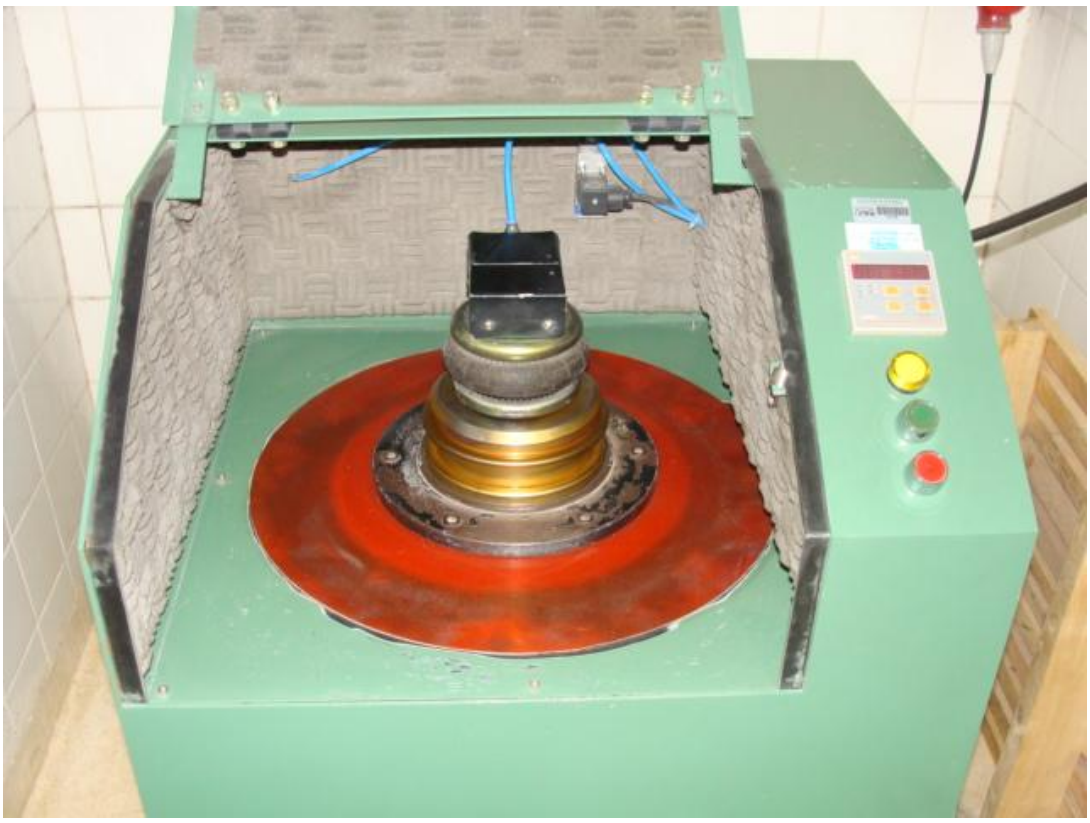


Figura 18 – Moinho Excêntrico de Vibração

c) Metodologia:

- Pesar 30 gramas de amostra e colocar na panela;
- Colocar a panela fechada no moinho, abaixar a caixa protetora e ligar por 60 segundos para rochas macias (calcários) e argilas ou 120 segundos para rochas duras ou areias quatzosas;
- Após a moagem retirar o pó fino, transferindo-o primeiro para uma folha de papel com auxilio de uma espátula e depois para a embalagem plástica devidamente identificada com o número LAMIR da amostra em questão;
- Para realizar a limpeza da panela: adicionar 1 medida de areia e 1 medida de álcool, e ligar o moinho por 30 segundos. Em seguida lavar normalmente com água e detergente líquido e secar com ar comprimido.

d) Cuidados especiais:

- Respeitar a quantidade de amostra estipulada (30 g);
- Verificar a carga de ar comprimido (7 a 8 Kg);
- Certificar-se que a tampa esteja corretamente fechada;
- Contaminação;
- Nunca deixar a panela molhada após o uso, evitando oxidação;

e) O que fazer em caso de anomalia:

Comunicar ao técnico responsável.

Procedimento 03 – Perda ao fogo (P. F.)

a) Resultado esperado:

- Quantificar a porcentagem em massa de substâncias voláteis (tais como: água absorvida, matéria orgânica, CO_2 e S) presentes na amostra;
- Quantificar a porcentagem de ganho de massa da amostra, no caso de elementos não oxidados.

b) Recursos necerssários:

- Cadinhos de porcelana;
- Mufla (1000 ºC); (Figura 19)
- Balança analítica (precisão de 0,0001 g);
- Dessecador;
- Pinça Tenaz;
- Forma de alumínio.

Figura 19 – Muflas (1.400 ºC) e (1100ºC)

c) Metodologia:

- Secar na estufa cerca de 15 g da amostra, pulverizada (< 325 mesh), à 70 ºC por no mínimo 12 horas;
- Deixar amostra no dessecador até atingir a temperatura ambiente;
- Tarar os cadinhos em mufla, por uma hora à 1000 ºC;
- Deixar os cadinhos no dessecador até atingirem a temperatura ambiente;
- Pesar o cadinho tarado e anotar o valor na planilha “Análise de Perda ao Fogo”;
- Adicionar cerca de 2 g da amostra, pesar e anotar o valor do peso total (cadinho tarado + amostra) na planilha “Análise de Perda ao Fogo”;
- Levar à mufla, a 1000 ºC, por 3 horas;
- Retirar os cadinhos com amostra da mufla utilizando luvas adequadas e pinça tenaz, e colocar no dessecador até atingir a temperatura ambiente;
- Pesar e anotar o valor do peso total (cadinho tarado + amostra _ após 1000 ºC);
- Calcular a % de Perda ao Fogo diretamente no Excel utilizando a planilha “Cálculo de Perda ao Fogo”.

d) Cuidados especiais:

- O cadinho deve estar tarado;
- No momento da pesagem , pegar o cadinho com as mãos limpas para não haver aumento de massa;
- Contaminação pode ocorrer por quebra de cadinho durante a queima ou por explosão da amostra;
- Retirar os cadinhos da mufla com tenaz, transferindo para uma forma de alumínio e em seguida colocar no dessecador com auxílio de pinça.

e) O que fazer em caso de anomalia:

Repetir todo o processo.

Procedimento 04 – Preparo de pastilha prensada para FRX

a) Resultado esperado:

Obtenção de pastilha de boa qualidade (homogênea, não riscada) e não contaminada;

b) Recursos / materiais necessários:

- Balança analítica de precisão;
- Espátula;
- Frasco de 50 mL;
- Amostra seca;
- Cera para confecção de pastilha;
- Grau de Ágata.

c) Metodologia:

1. Pesagem;

- Pesar amostra seca (7 g) com variação para mais de no máximo 0,0003 g, em frasco de 50 mL, adiocionar 1,4 g de cera, com variação para mais de no máximo 0,0003 g.

2. Confecção de pastilha;

- Homogeneizar bem, utilizando o grau, até que não apareçam pontos de cera;
- Colocar na prensa e selecionar o programa correspondente ao tipo de amostra; (Figura 20)
- Anotar o número LAMIR na parte de baixo da pastilha, colocar em embalagem plástica e encaminhar para análise no equipamento de Sistema de Fluorescência de Raios X. (Figura 21)

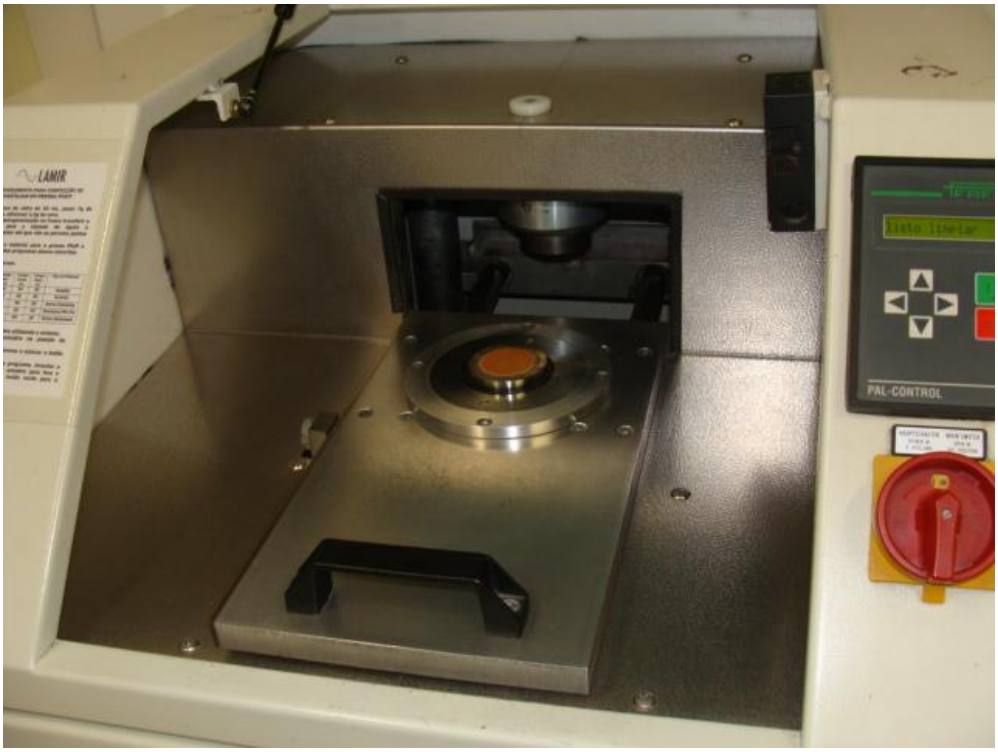


Figura 20 – Prensa para Confecção de Pastilha

Figura 21 – Sistema de Fluorescência de Raios X, modelo PW 2400/00, com Sampler changer 2510, marca PHILIPS ANALITICAL.

d) Cuidados especiais:

- A amostra deve estar bem homogeneizada;
- A superfície a ser lida deve estar lisa, sem alterações aparentes.

e) O que fazer em caso de anomalia:

Consultar o responsável técnico.

Salienta-se a importância do registro dos procedimentos metodológicos orientativos, para possibilitar sua reprodução total e ou parcial nas investigações sobre os aspectos geomorfológicos. É também importante ressaltar que a confiabilidade dos resultados de cada etapa consiste na aplicação das normatizações dos procedimentos adotados, e principalmente dos laboratórios de análises geoquímicas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em relação à caracterização geral da bacia hidrográfica, esta apresenta as cabeceiras dos rios formadores deste sistema, denominado historicamente de Mananciais da Serra. Tais rios, portanto, são formados inicialmente pelo corte topográfico dos lençóis freáticos das encostas dos altos topográficos e estruturais da serra, que por seu turno são alimentados pela alta pluviosidade local.

Encontra-se estruturada sobre os domínios geomorfológicos do Primeiro Planalto Paranaense (Bacia Sedimentar de Curitiba), limitada a leste pelas vertentes ocidentais da Serra do Mar (Cinturão Orogênico do Atlântico Sul) (Figura 22). Esta localização geográfica lhe confere características marcantes no que diz respeito aos seus aspectos geológicos, pedológicos e de cobertura vegetal que, associados e inter-relacionados aos aspectos climáticos, possibilitam a presença de um potencial hidrológico e hidrogeológico significativo. Estes representam importantes recursos naturais, utilizados de várias formas como, por exemplo, na agropecuária para irrigação agrícola e dessedentação animal, nos variados segmentos industriais e principalmente para o abastecimento público (em todas suas variáveis de uso).

Em relação aos aspectos geológicos apresenta unidades sedimentares agrupadas na Formação Guabirotuba, que data segundo Salamuni *et. al.* (1998) do Oligoceno ao Plio-Pleistoceno (Terciário e Quaternário). A partir do início do Holoceno, portanto há menos de um milhão de anos, grandes depósitos aluvionares de natureza arenosa a areno-argilosa passam a se formar nas várzeas ou nas calhas dos rios instalados na região. Na região do alto curso do rio Iguaçu, os depósitos aluvionares têm um papel fundamental na regulagem das cheias e vazões dos rios.

As estruturas geológicas maiores do terreno são representadas por falhas e fraturas que controlam grande parte da morfologia local tais como os principais cursos de água. Estas descontinuidades podem se estender por vários quilômetros ou então se apresentar de forma localizada, porém quase que invariavelmente controlam o início da morfogênese e, portanto seu entendimento é fundamental para a caracterização dos processos geomorfológicos regionais. Em relação às estruturas geológicas menores compreendendo a mesoescala segundo Salamuni *et. al.* (1999), estas apresentam natureza rúptil com dimensões que podem variar de alguns centímetros a vários metros.

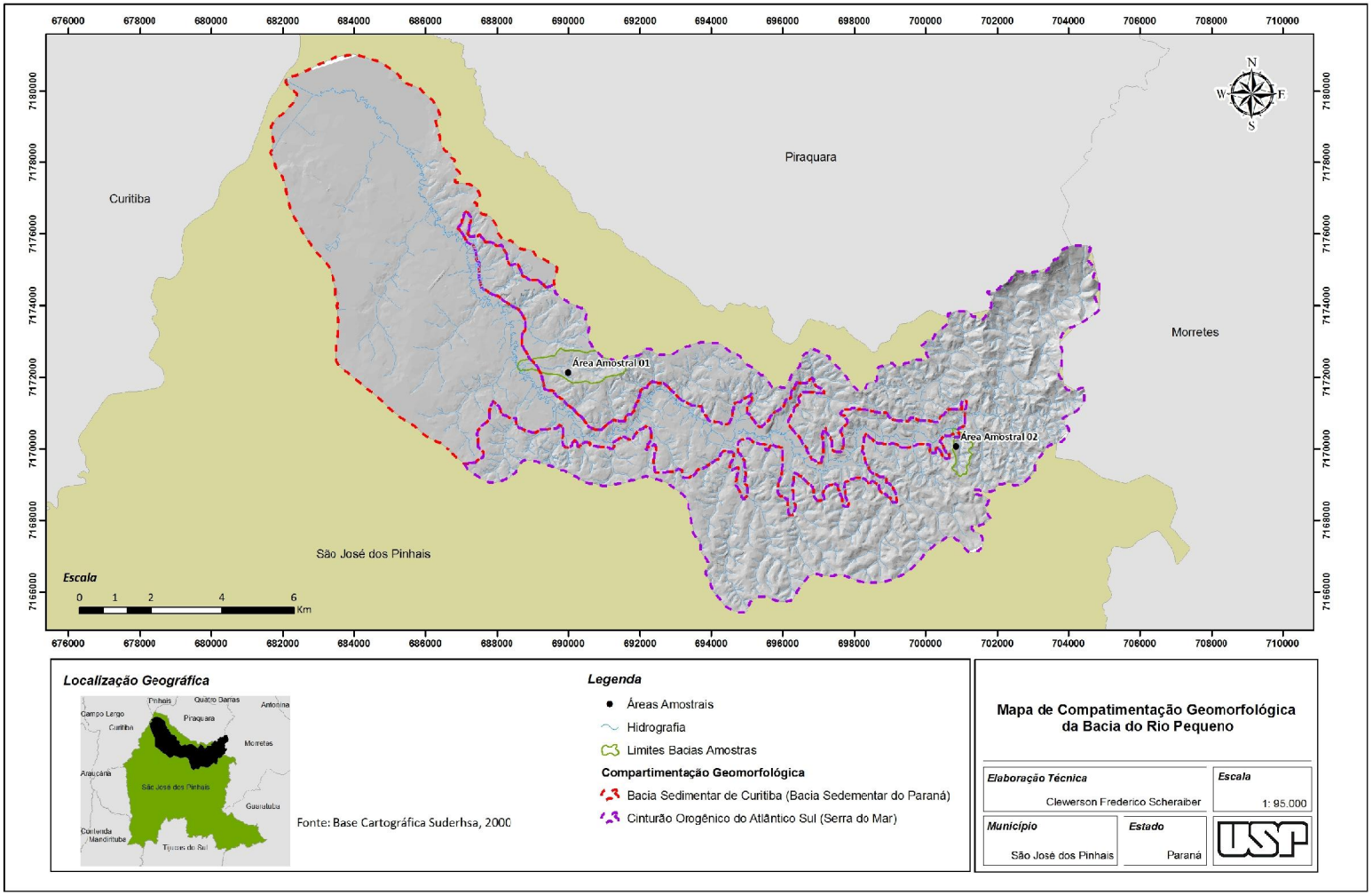


Figura 22 - Mapa de Compartimentação Geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Rio Pequeno

De um modo geral são fraturamentos homogêneos, retilíneos, planares a curviplanares, apresentando espaçamento variável entre si. As fraturas, conjugadas ou não, podem ser juntas ou falhas com rejeitos pequenos.

A determinação das falhas através de estrias (*slickensides*), aponta de forma geral para movimentação normal e, secundariamente, transcorrentes, podendo de forma rara ocorrer indícios de movimentação inversa.

Em sua maioria as fraturas apresentam planos empinados, com baixos ângulos de mergulho, sendo encontradas com maior freqüência as seguintes atitudes: N40-45E/70-80SE; N15-25E/80-90NW; N-S/80-90; NO5-15W/10-20NE; NO5-10W/65-70NE e N30-40W/20-30SW. No embasamento, as fraturas que se apresentam sub-verticais com direção NE-SW, geram rochas protocataclásticas com tectonitos cominuídos. As brechas são formadas pelo sistema de baixo ângulo, que apresentam mergulhos entre 10º e 30º, ora para NW ora para SE, resultando um padrão em forma de “X”. As fraturas nos sedimentos que se encontram principalmente nos contatos com o embasamento, apresentam preenchimento de quartzo, com espessuras que variam de centímetros a milímetros, com cristalização bipiramidal formando os silcretes.

Também são observadas camadas areno-argilosas e bancos centimétricos de caliche que se encontram ondulados e fraturados com pequenos deslocamentos. Estes podem ser atribuídos a fracas perturbações sísmicas sin a tardideposicionais. (SALAMUNI *et. al.,*1999)

Além do pacote sedimentar encontram-se também na área de estudo como base de sustentação dos domínios mais novos, rochas de natureza metamórficas e ígneas do embasamento cristalino. Possuem elevado grau de cristalinidade, representadas principalmente por gnaisses, granitos, migmatitos e anfibolitos. Tais rochas são bastante antigas, datadas do pré-Cambriano inferior a médio e, portanto, bem estruturadas através de foliações penetrativas dadas por diferentes eventos de cisalhamento simples de baixo e alto ângulo. (Figura 23)

Neste contexto, há que se considerar que as características físicas do terreno têm significativo papel na construção da paisagem, já que a resistência à erosão, o grau de susceptibilidade a intemperização, a agregação e composição química/mineralógica da rocha e os solos delas derivados fazem parte de sua construção.

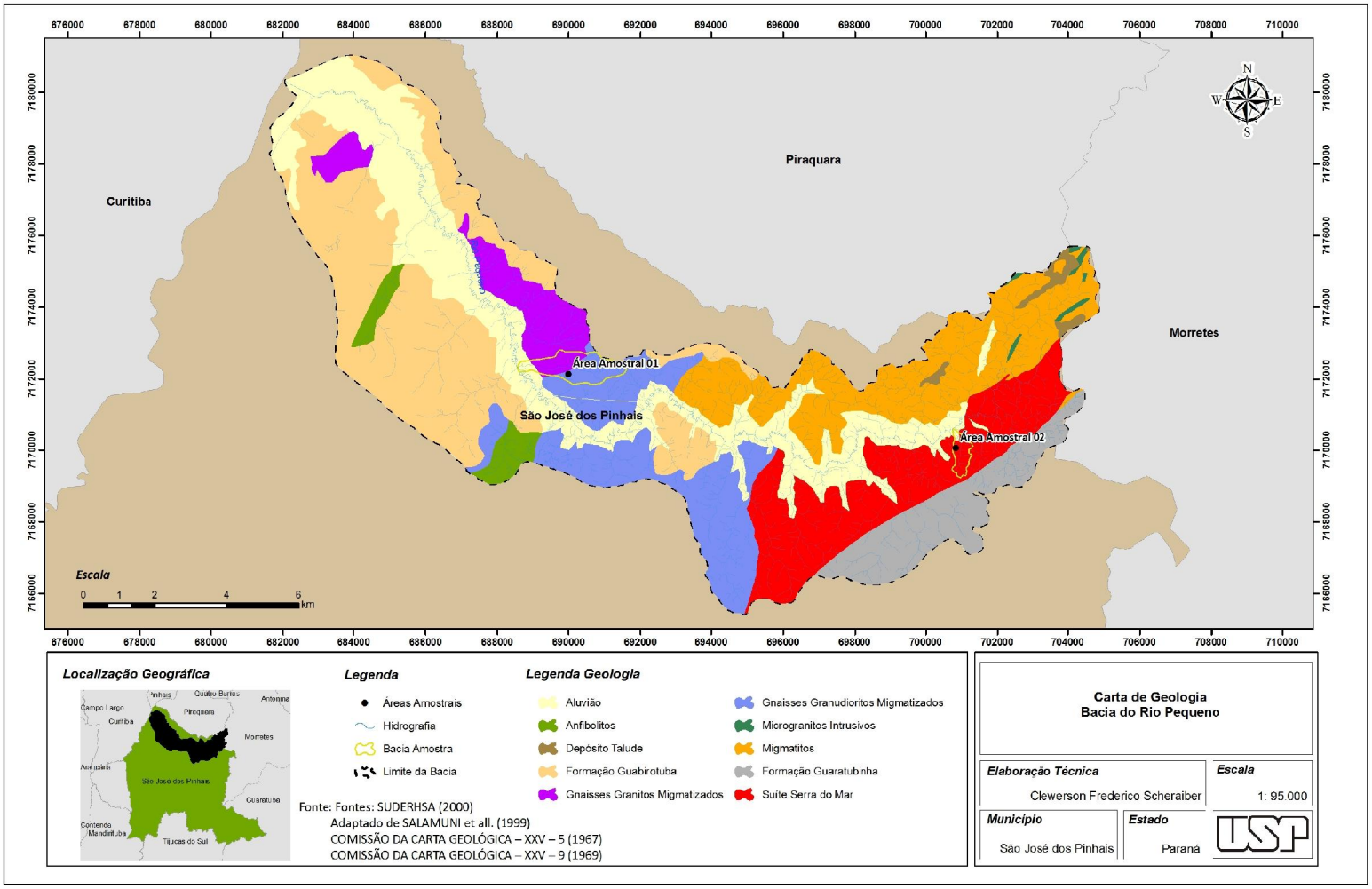


Figura 23 - Mapa de Geologia da Bacia Hidrográfica do Rio Pequeno

De qualquer modo é preciso considerar como agente preponderante da construção da paisagem a integração de todas as componentes que em conjunto atribuem a região características próprias e individualizadas constituindo um sistema único.

Em relação às características geomorfológicas, as vertentes ocidentais da Serra do Mar podem chegar a altitudes de até 1.200 metros em contraposição às porções mais baixas próximas ao exutório da bacia, que podem estar em uma altitude mínima de 880 metros, considerando o nível do mar. A Serrania Costeira, na sua vertente ocidental, é constituída por parte dos grandes maciços Granítico-granitóides montanhosos e escarpados. Os solos nos pontos mais altos são invariavelmente litólicos (neossolos), porém são predominantemente latossolos rejuvenescidos próximos à base. (Figura 24)

Seguindo-se na direção oeste, distanciando-se das encostas do relevo montanhoso, onde ocorrem extensos depósitos coluvionares, estão posicionados os diversos terrenos que compõem o Planalto de Curitiba, integrante do Primeiro Planalto Paranaense. O Planalto de Curitiba, grosso modo, pode ser subdividido, ainda, nos planaltos “cristalino” e “sedimentar”, além das planícies aluvionais.

O planalto sedimentar é caracterizado por um conjunto de colinas suaves, de vertentes pouco inclinadas, sustentadas pelos sedimentos pouco consolidados da Formação Guabirotuba. Os solos álicos são predominantes, mas ocorrendo, de forma restrita, os distróficos. Há, em grande parte dos sedimentos argilo-siltosos, uma laterização disseminada.

As planícies aluvionais, por seu turno, são superfícies de agradação, horizontalizadas, espraiadas ao longo da maioria dos vales onde estão os rios maiores, incluídas aí as áreas de várzea propriamente ditas. Ocorrem solos hidromórficos gleyzados e solos orgânicos.

Ainda em relação aos aspectos geomorfológicos locais, as drenagens formam padrões mistos, geralmente arborescentes, ou dendrítico. Há, no contexto local, pelo menos três grandes domínios geomorfológicos: a leste, as vertentes da Serra do Mar mostram terrenos mais escarpados e íngremes, com vales entalhados e mais profundos onde os rios apresentam-se com mais energia.

Já a oeste, próximo das zonas urbanas, o relevo é mais dissecado, planáltico, com cristas arredondadas, vertentes pouco inclinadas, vales pouco profundo e mais espraiado com índices de inclinação menores (Figura 25).

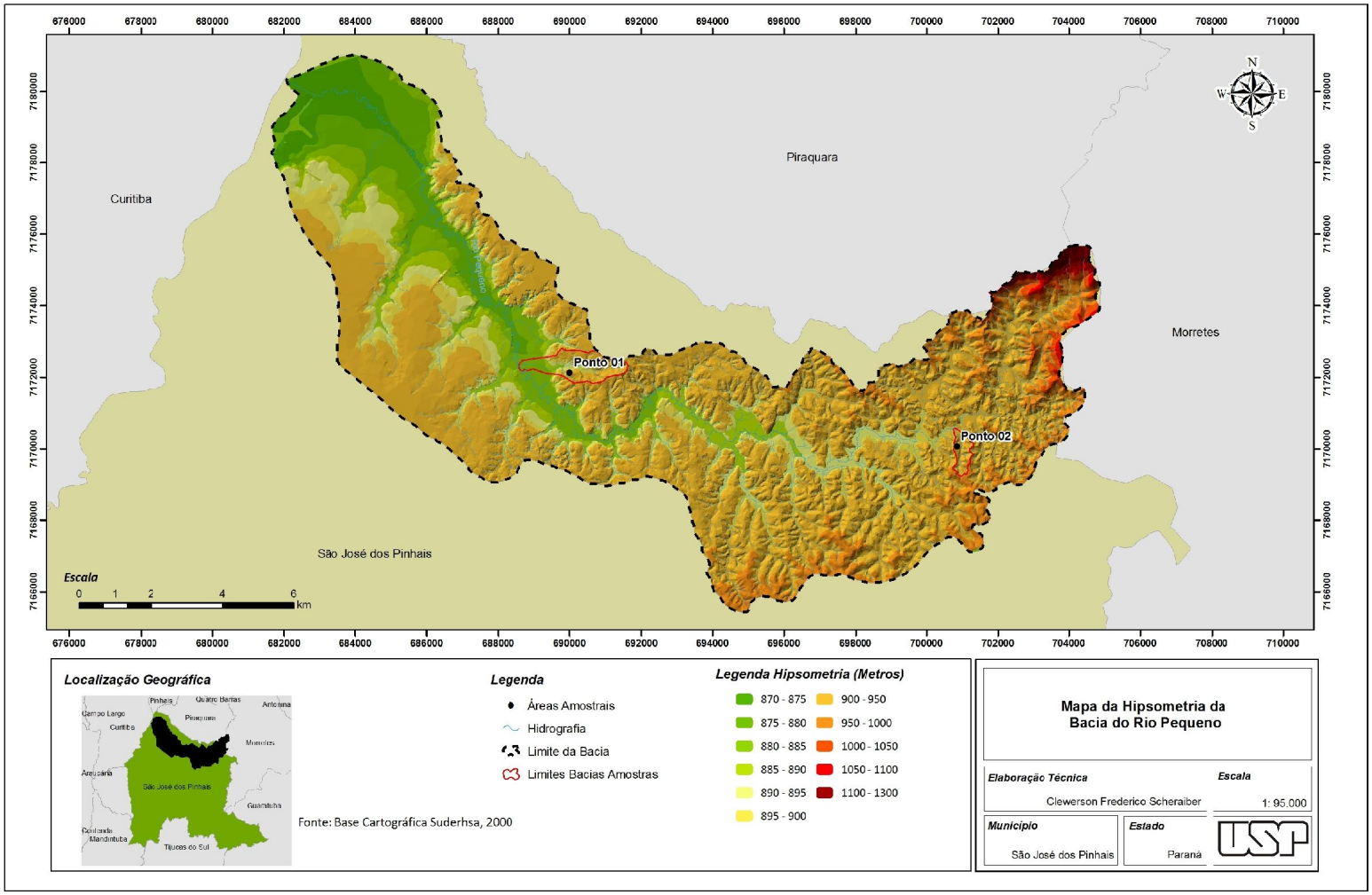


Figura 24 - Mapa da Hipsometria da Bacia Hidrográfica do Rio Pequeno

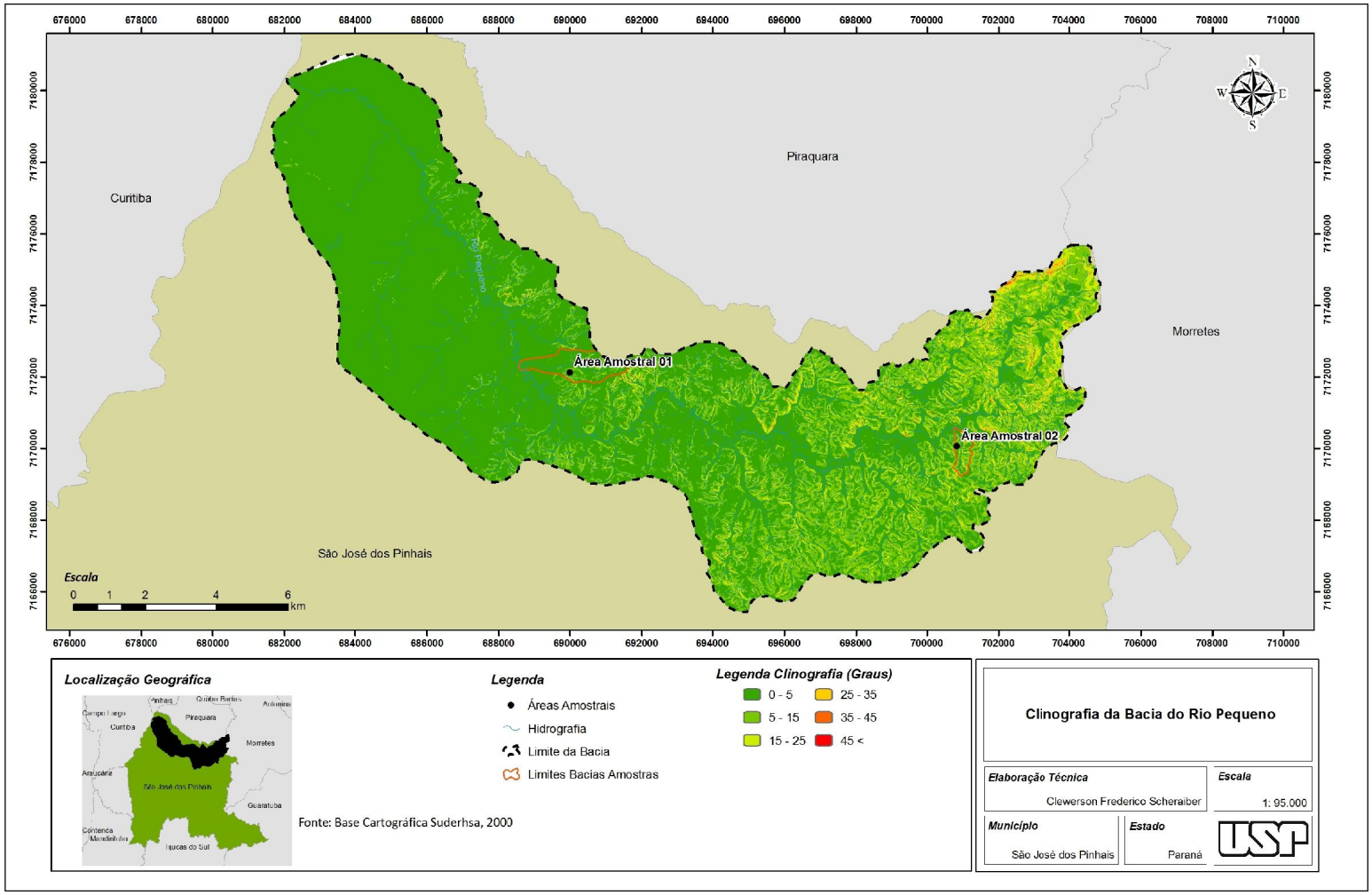


Figura 25 - Mapa da Clinografia da Bacia Hidrográfica do Rio Pequeno

Tais aspectos favorecem a ocorrência de rios com pouca energia hidráulica facilitando, portanto, a deposição de sedimentos em suas planícies aluvionais favorecendo a formação dos terrenos aluvionares. Estes compreendem as áreas mais rebaixadas da região planáltica.

O clima predominante na região é o temperado chuvoso e quente, segundo a classificação climática genérica modificada de W. Köppen[1], classificando com mais detalhes em tipo climático Cfb, tendo como principais características os meses mais frios com temperatura média entre – 3º e 18º C. Não apresenta nenhuma estação seca, caracterizando-se por ser úmida o ano todo. Este tipo de caracterização climática, associada a outros fatores de ordem física da região, favorece um índice pluviométrico significativo, importante para a manutenção do potencial hídrico da bacia além de acelerar e intensificar os processos de intemperismo químico.

Observa-se assim que a área apresenta clima regional característico onde, às combinações dos elementos que definem o modelo climático associados aos aspectos de ordem física, que compõem o recorte espacial analisado, formam um ambiente ideal de retroalimentação das cabeceiras e dos cursos médios dos rios. Elementos estes que estão associados a vários fatores, mas principalmente pelos seguintes: a localização geográfica, a proximidade da área com o oceano Atlântico, a transição das feições geomorfológicas do Primeiro Planalto com a Serra do Mar e pela cobertura vegetal.

Entre estes elementos sem dúvida o mais vulnerável às modificações estabelecidas pela ocupação e apropriação do espaço num primeiro momento é a cobertura vegetal. Esta uma vez descaracterizada ou extinta desencadeia vários processos de degradação como erosão pela denudação do solo, assoreamento dos rios, interferências na qualidade do ar e, consequentemente, modificações significativas nos aspectos climáticos e morfoesculturais. Esta situação transformadora é observada na área de estudo (bacia hidrográfica do rio Pequeno) onde observa-se intensa ocupação terço inferior (exutório da bacia - NW) diminuindo no terço médio (W), além das modificações significativas ao longo da planície de inundação do rio principal (rio Pequeno) e suas proximidades. (Figura 26)

---

[3] KÖPPEN, W. **Klimakunde. I. Algemeine Klimalehre.** Leipzig, Sammlung Göschen, 1906.

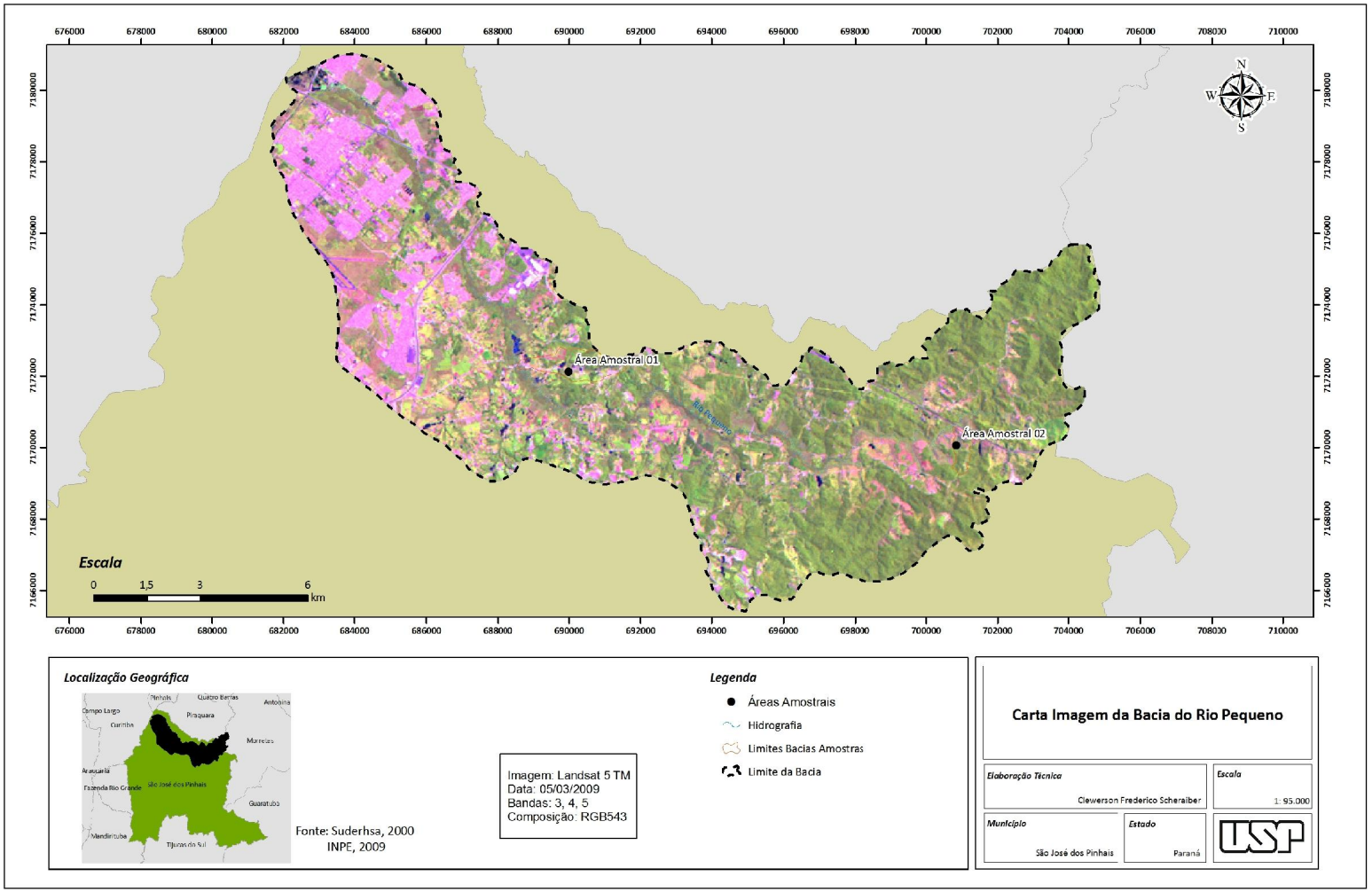


Figura 26 - Carta Imagem da Bacia Hidrográfica do Rio Pequeno

As mudanças que podem ocorrer no micro clima regional em função dos processos transformadores já relacionados são sentidos através do aumento da temperatura em função da exposição do solo às radiações solares intensificando a irradiação do solo, desequilíbrio dos índices pluviométricos com possíveis diminuições causados, sobretudo pela ausência da evapotranspiração desenvolvida pela cobertura vegetal, modificações da dinâmica dos ventos próximos ao solo desprotegido, entre outras.

Todas estas modificações que possam vir a ocorrer terão efeitos diretos sobre a dinâmica hídrica da região considerando as águas superficiais e subsuperficiais, acarretando baixos índices de qualidade das águas e numa projeção mais catastrófica a diminuição dos recursos hídricos onde os rios e o nível freático poderão literalmente alterar suas dinâmicas de circulação. Estas alterações invariavelmente agem direta e indiretamente na esculturação superficial do relevo, que por sua vez está relacionado com a dinâmica subsuperficial geoquímica.

Em função dos fatores geológicos, geomorfológicos e climáticos locais, a região possuí características singulares no que diz respeito ao número das nascentes de cursos d'água. A condição excepcional de grande umidade possibilita que o nível freático local, na maioria das vezes, esteja próximo à superfície e seja drenado para níveis de base locais.

As características ambientais acima citadas são fundamentais para a manutenção da natural exuberância vegetal que, ao longo do Quaternário (mais precisamente do Holoceno), serviu à manutenção de um ecossistema riquíssimo, inclusive no que tange a fauna. Além disso, a existência da floresta Ombrófila Densa e Ombrófila Mista, mesmo secundária em áreas já desmatadas, serviu como garantia para a retroalimentação do ciclo da água e consequentemente da manutenção das áreas de mananciais. Qualquer delimitação de áreas de proteção ambiental, ou de zonas que necessitam ser preservadas ou atendidas por programas de planejamento e gestão territorial, deve levar em consideração os aspectos ambientais acima mencionados, que envolvem a forte interação entre os aspectos geológicos-geomorfológicos, pedológicos, climáticos, bióticos e também geoquímicos. Reforçando assim a justificativa para a escolha desta área como laboratório experimental para a realização da aplicação metodológica desta pesquisa.

Em relação à contribuição da ***geomorfoquímica*** (denominação utilizada neste trabalho procurando estreitar as relações entre os aspectos geoquímicos com os geomorfológicos) apresentada neste trabalho, esta se concentra nas áreas onde predomina a ocorrência de rochas do embasamento cristalino, que por sua vez mostram-se com relevos mais dissecados e, portanto com amplitude de gradientes altimétricos mais expressivos.

As áreas amostrais estabelecidas para a investigação das análises químicas do material litológico encontram-se situadas no terço médio e terço superior da bacia hidrográfica onde predominam rochas ígneas e metamórficas alvo deste estudo.

Especificamente foram estabelecidas duas áreas amostrais, das quais uma encontra-se no terço médio da bacia, onde predomina a ocorrência de gnaisses granodioritos migamatizados e gnaisses granitos migmatizados.

Outra área encontra-se no terço superior da bacia onde a ocorrência litológica predominante é do granito suíte Serra do Mar. (Figuras 27 e 28)

Justifica-se a escolha destas áreas considerando essencialmente dois aspectos principais, a ocorrência litológica e as formas atuais do relevo. Quanto as litologias, estas estão relacionadas a presença de rochas metamórficas (área amostral 1) e rochas ígneas intrusivas (área amostral 2). Apesar de serem rochas com uma provável constituição química similar, estas apresentam a organização dos minerais constituintes variando segundo sua organização e agrupamentos conferindo-lhes graus de diferentes coesões. Situação esta que pode interferir no comportamento geoquímico (quantidades e mobilidades dos elementos) e consequentemente na dinâmica evolutiva das formas externas das vertentes.

Além do tipo de material litológico também foi levou-se em consideração o relevo predominante das áreas amostrais, onde predomina uma repetição de formas semelhantes entre, porém diferentes de uma área amostral para outra. Estas diferenças podem ser observadas pela forma geométrica das vertentes e pelos padrões de drenagem a elas associados onde na área amostral 1 os rios afluentes apresentam-se mais longos (comprimento) designando relevos com gradientes altimétricos mais baixos prevalecendo a dissecação horizontal em relação a área amostral 2. Já na área amostral 2 a drenagem superficial com comprimentos mais curtos indicam gradientes altimétricos mais elevados e predominância da dissecação vertical se comparados a área amostral 1. (Figuras 29 e30)

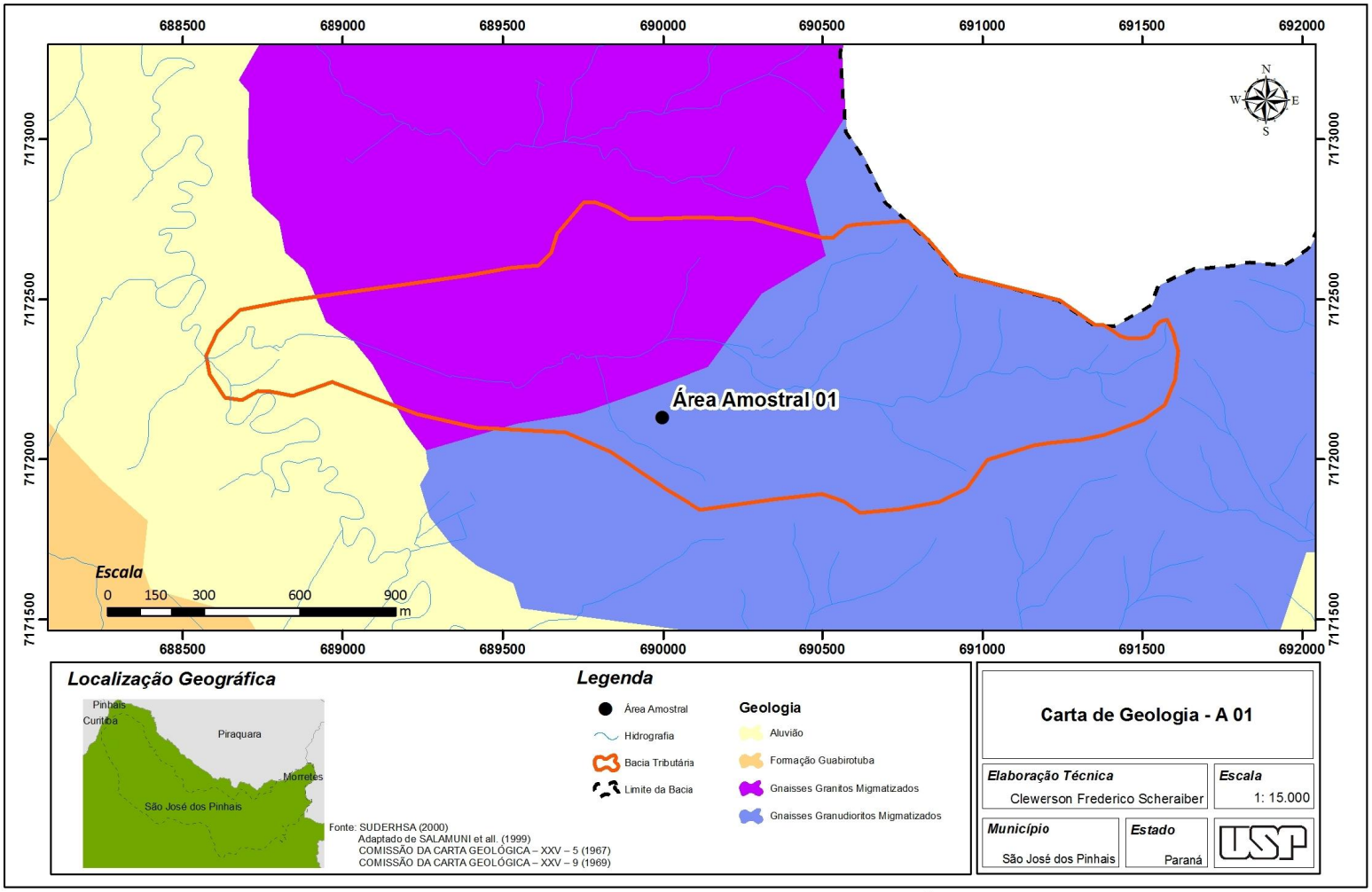


Figura 27 - Mapa de Geologia da Bacia Hidrográfica Tributária do Rio Pequeno do seu Terço Médio - Área Amostral - 01

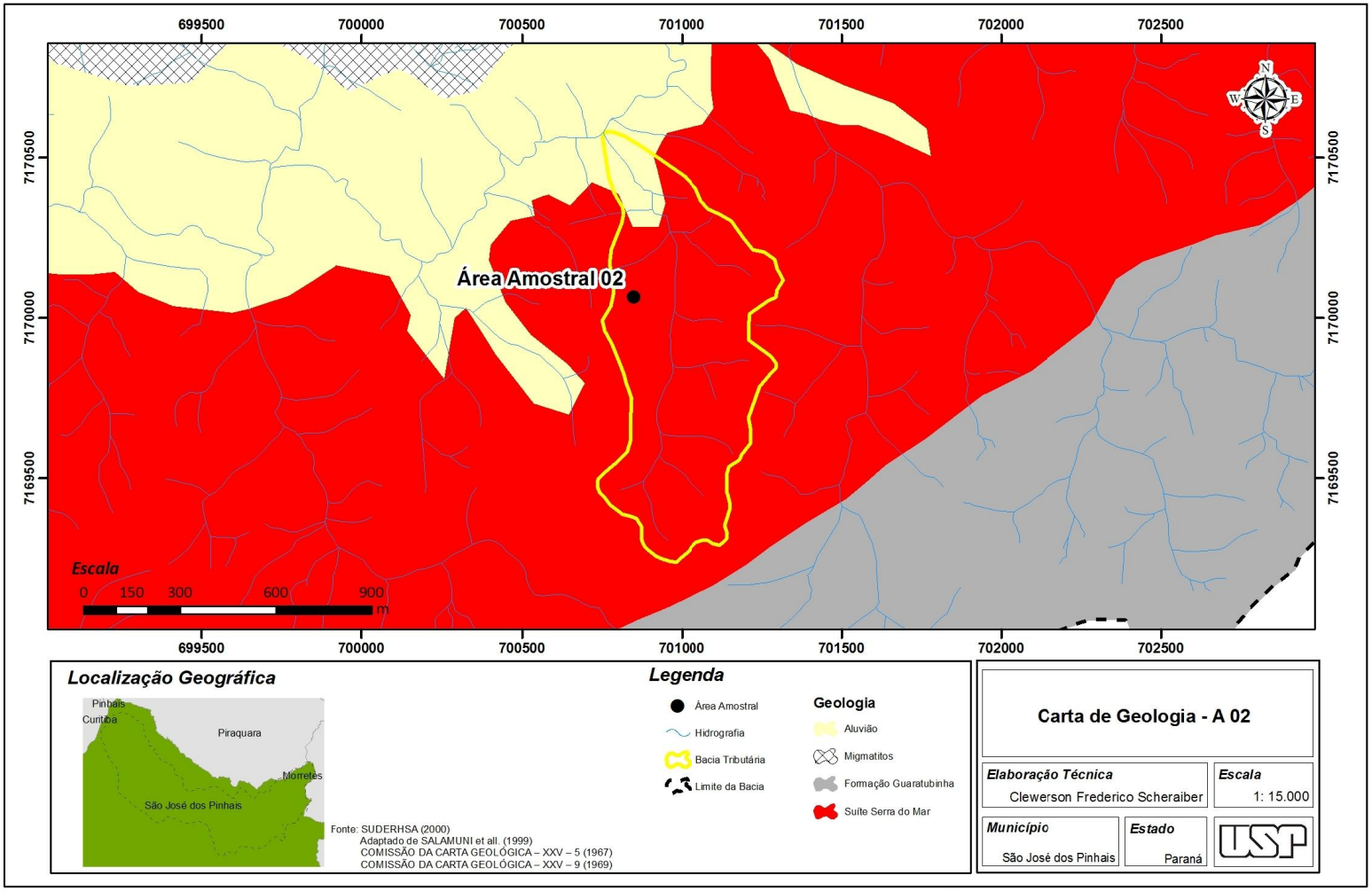


Figura 28 - Mapa de Geologia da Bacia Hidrográfica Tributária do Rio Pequeno em seu Terço Superior - Área Amostral 02

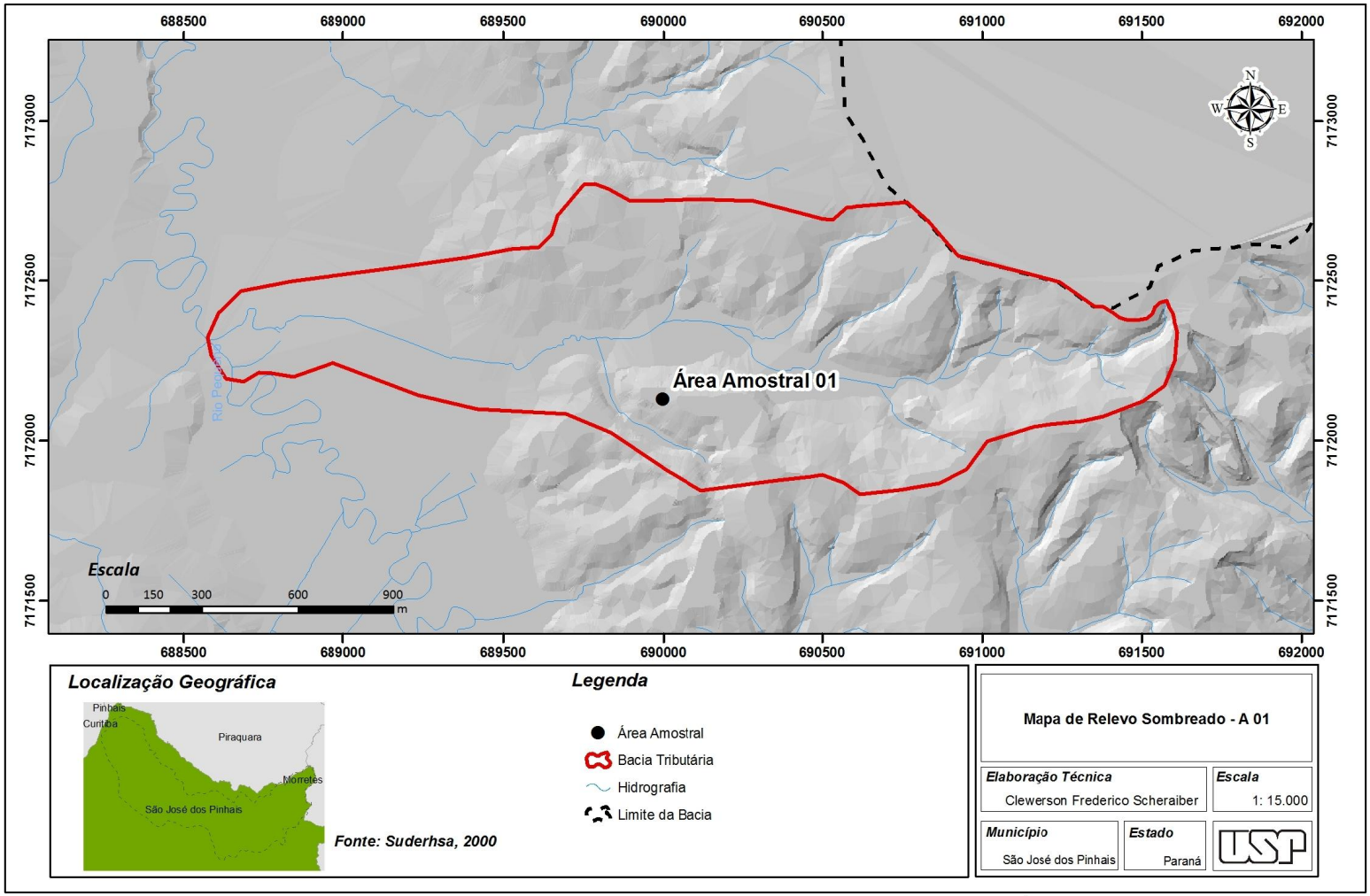


Figura 29 - Mapa de Relevo Sombreado da Bacia Hidrográfica Tributária do Rio Pequeno em seu Terço Médio - Área Amostral 01

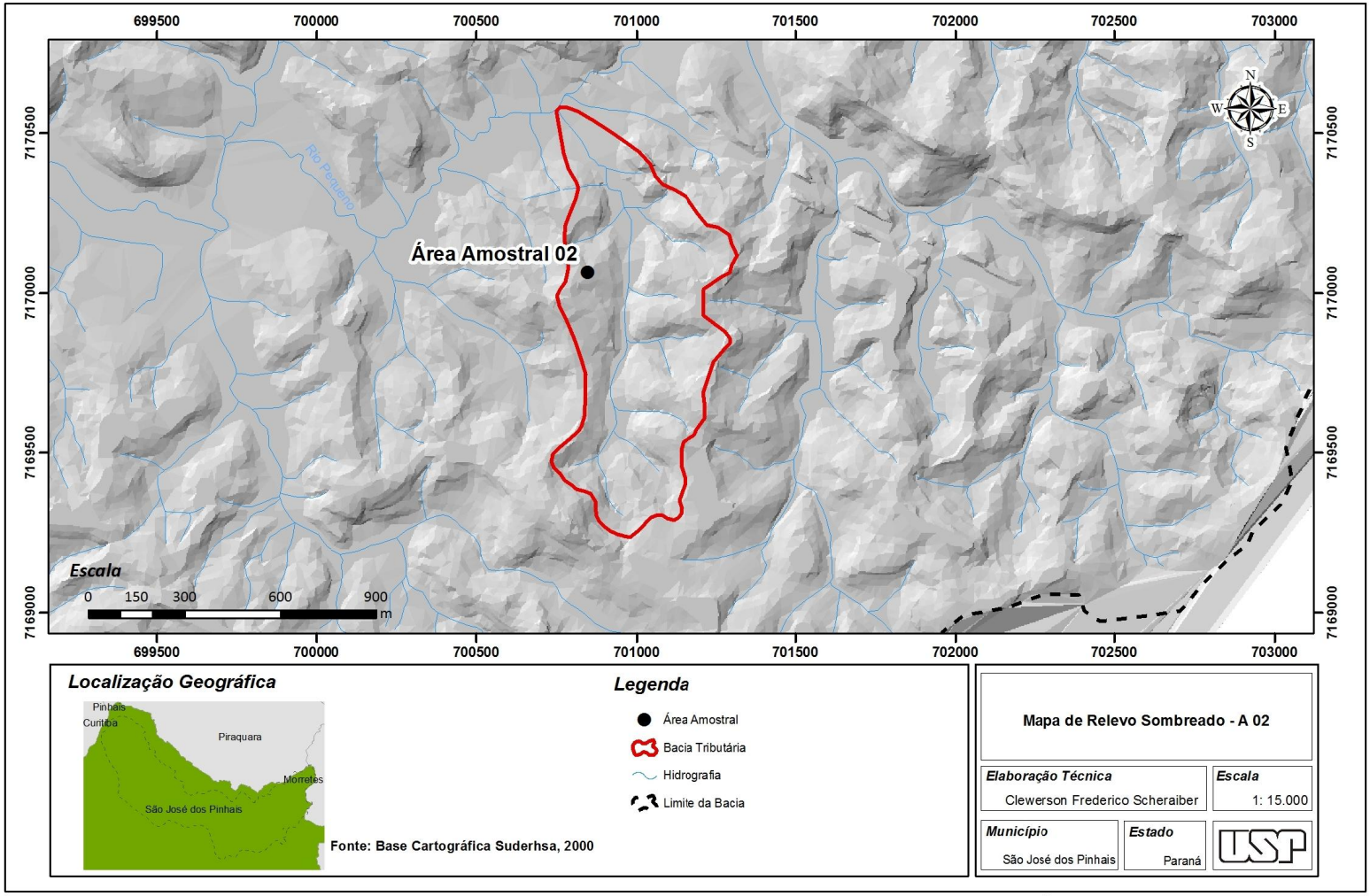


Figura 30 - Mapa de Relevo Sombreado da Bacia Hidrográfica Tributária do Rio Pequeno em seu Terço Superior - Área Amostral 02

A localização geográfica das áreas amostrais, bem como o uso e cobertura do solo associados à suas características naturais do sistema ambiental, foram também critérios usados para escolha das mesmas.

Observa-se assim que nas áreas predomina a vocação para uso rural composto por pequenas propriedades onde destaca-se a agricultura familiar. Também se observa que, mesmo em estado secundário é possível encontrar fragmentos de cobertura vegetal que na área 1 relaciona-se com o ecótono entre as Florestas Ombrófila Mista com a Densa. No recorte espacial representado pela área amostral 2 há o predomínio também da transição, porém com mais destaque para a Floresta Ombrófila Densa.

Destaca-se que na área 1 é possível notar que há maior intensidade de plantações como grãos (essencialmente o milho) e hortifrutigranjeiros; atividades estas favorecidas em partes pela forma menos dissecada do relevo, e pela proximidade maior com os núcleos urbanos principais consumidores dos produtos ali produzidos.

A área amostral 2, que apresenta relevo mais dissecado apresenta como vocações principais a criação de animais, as atividades agroflorestais com plantações principalmente de *pinus* e pequenas explorações minerarias.

Ressalta-se, entretanto que as áreas amostrais escolhidas, foram alvo de pesquisas para a constatação de que as mesmas não tinham passado por transformações significativas podendo comprometer ou falsear os resultados das análises geoquímicas.

Desta forma procurou-se realizar uma pesquisa informal com os atuais proprietários sobre as atividades desenvolvidas na propriedade atualmente e no passado. Também se recorreu à interpretação de fotografias aéreas do ano de 1980, constatando-se que as áreas amostrais (particularmente as vertentes onde se realizou a coleta do material em toposseqüência) se encontravam da mesma forma observada nos dias atuais. Esta descrição de uso e cobertura do solo pode ser observada através da confecção e análise das cartas imagens de ambas as áreas com imagens referentes ao ano de 2009 e, portanto atuais. (Figuras 31 e 32)

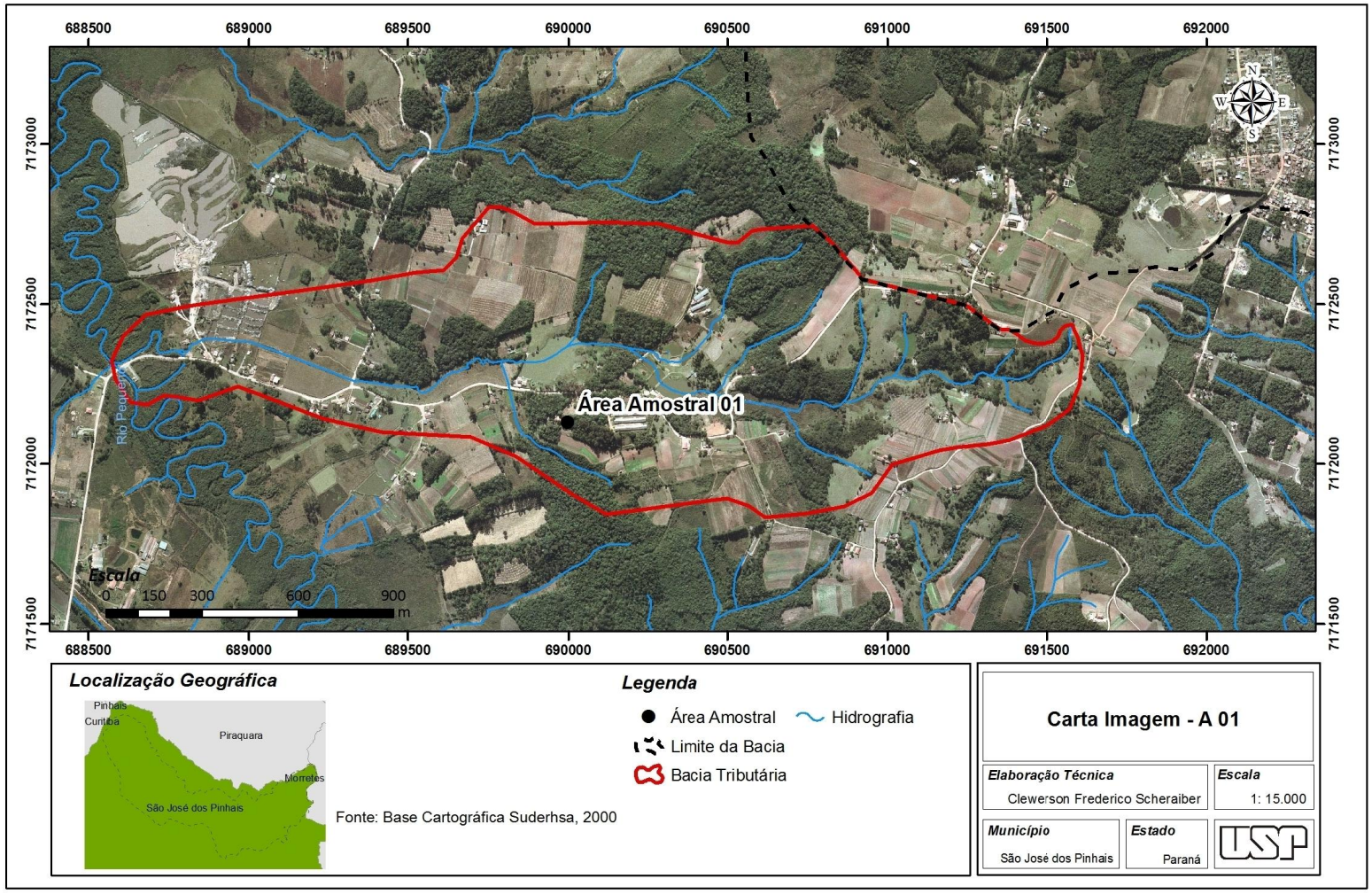


Figura 31 - Carta Imagem da Bacia Hidrográfica Tributária do Rio Pequeno em seu Terço Médio - Área Amostral - 01

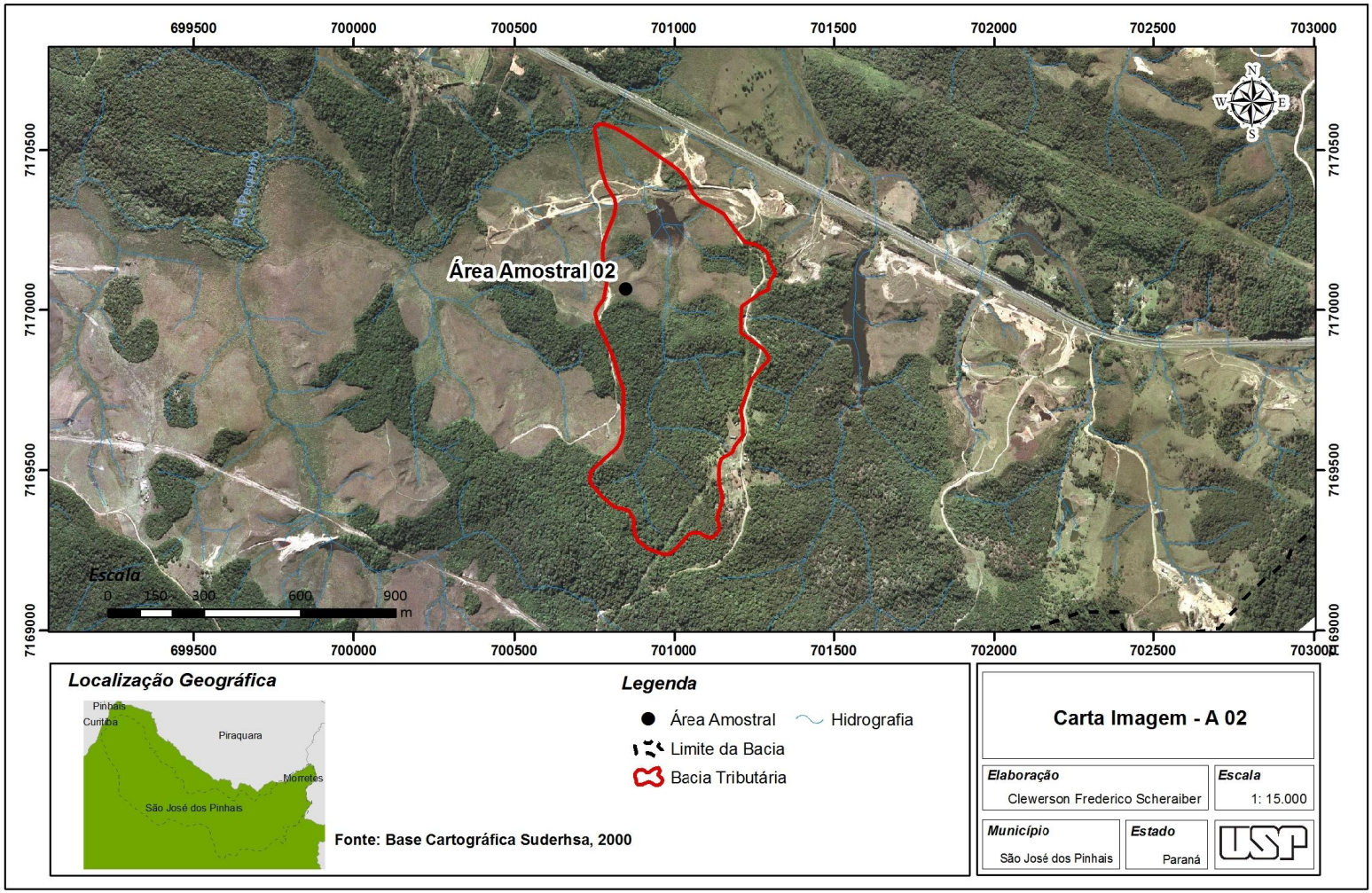


Figura 32 - Carta Imagem da Bacia Hidrográfica Tributária do Rio Pequeno em seu Terço Superior - Área Amostral 02

Inúmeras são as variáveis que se inter-relacionam e condicionam a dinâmica do sistema ambiental considerando seu grau de equilíbrio, funcionalidade e evolução dos processos e formas. Esta certeza se dá em todas as geoesferas planetárias bem como nas mais diversas escalas, considerando variáveis espaciais (espaço geográfico) e também temporais (cronologia dos fatos).

Desta forma ressalta-se que a intenção deste trabalho não é resolver nem apresentar uma lógica acabada para correlacionar e responder por todas estas variáveis que tratam do sistema ambiental e essencialmente do sistema geomorfológico, ou seja, a evolução e gênese do relevo da superfície terrestre.

Porém, pretende-se neste momento apresentar como proposta uma seqüência de procedimentos metodológicos concebendo a hipótese de se utilizar mais uma variável (geoquímica) que se encontra abaixo das formas geométricas encontradas nas camadas mais superficiais representada pelas formas das vertentes. Contudo para que se possa realizar algumas análises preliminares considerando a escala local foi necessário uma compreensão mais ampla da área a ser utilizada como laboratório de estudos, apoiando-se nas informações anteriormente expostas neste capítulo sobre a bacia hidrográfica principal (bacia hidrográfica do rio Pequeno), e as bacias hidrográficas tributárias referentes às áreas amostrais 1 e 2.

Salienta-se assim a importância da etapa metodológica referente ao uso das geotecnologias. Fundamentadas essencialmente no geoprocessamento e sensoriamento remoto, proporcionando a confecção dos produtos cartográficos bem como auxiliando em interpretações multitemporais sobre os aspectos de uso e cobertura do solo.

Entretanto enfatiza-se que a proposta norteadora central desta pesquisa é a aplicação de procedimentos para investigação da possível correlação entre os aspectos geoquímicos com os geomoerfológicos (forma e evolução das unidades de relevo), designado neste trabalho pelo termo geomorfoquimico.

Para tanto foram associados nestes procedimentos métodos analíticos dos elementos químicos (óxidos em %) que compõem as relações subaéreas em toposseqüência permitindo proposições neste momento dedutivas e conjeturais a cerca da espacialização e ocorrência geométrica das formas superficiais.

Assim, como já mencionado foram estabelecidas duas áreas amostrais onde na, área amostral 1, predomina a ocorrência de rochas metamórficas do embasamento cristalino representadas por ganisses granudioritos migmatizados e gnaisses granitos migmatizados (Figura 27, pg. 69). A outra área denominada área amostral 2, observa-se a predominância do granito (Figura 29, pg. 70), também compondo o embasamento cristalino. Em ambas as áreas amostrais escolheu-se dois locais com vertentes opostas, ou seja, uma confrontando-se a outra, constituindo um total de quatro vertentes com quinze pontos de coletas de materiais submetidos à análise geoquímica, em litologias diferenciadas por área amostral.

Em relação ao material coletado para a realização da varredura geoquímica, definiu-se que o mesmo seria extraído das porções intermediárias. Ou seja, entre os materiais litogeoquímicos orientativos e os materiais geoquímicos orientativos do solo, composto desta forma pelo horizonte de alteração (alterita) representado pelo saprólito. Optou-se utilizar este material para a realização das análises por ser um método pouco convencional, em se tratando das possíveis correlações em um ensaio preliminar com as formas básicas do relevo; às vertentes e o grau de dissecação local. Desta forma as coletas foram realizadas a quatro metros e trinta centímetros (4,30m) de profundidade para todos os furos de sondagens.

Nas vertentes estudadas na área amostral 1 foram realizadas dez perfurações de sondagens (cinco em cada vertente) para coleta de material para ser analisado geoquimicamente (Figuras 33 e 34). Esta análise foi feita através do método da varredura de espectrometria de fluorescência de raios “X”, compondo a presença dos óxidos encontrados nas amostras conforme observado nas tabelas apresentadas na seqüência. (Figuras 35 e 36)

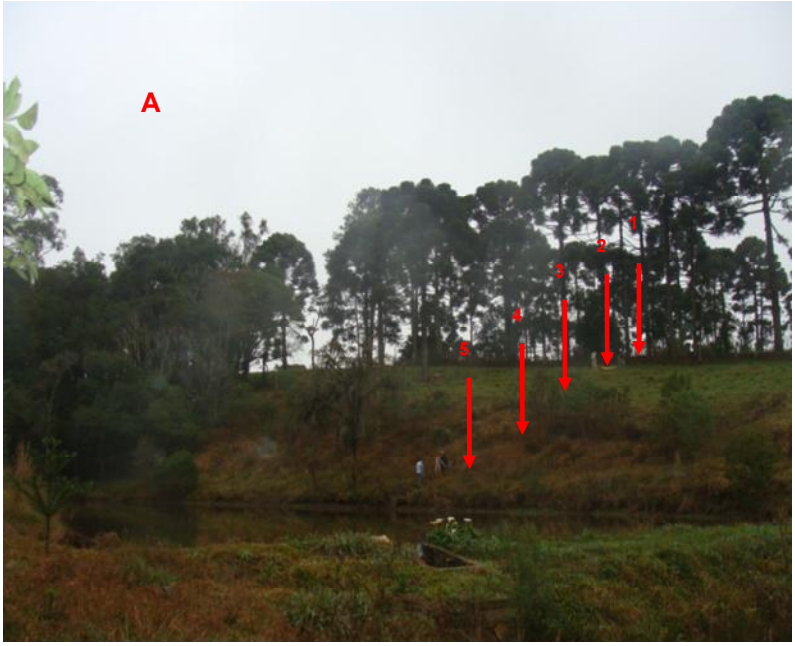


Figura 33 – Área Amostral 1 – Vertente A – Pontos de Coleta

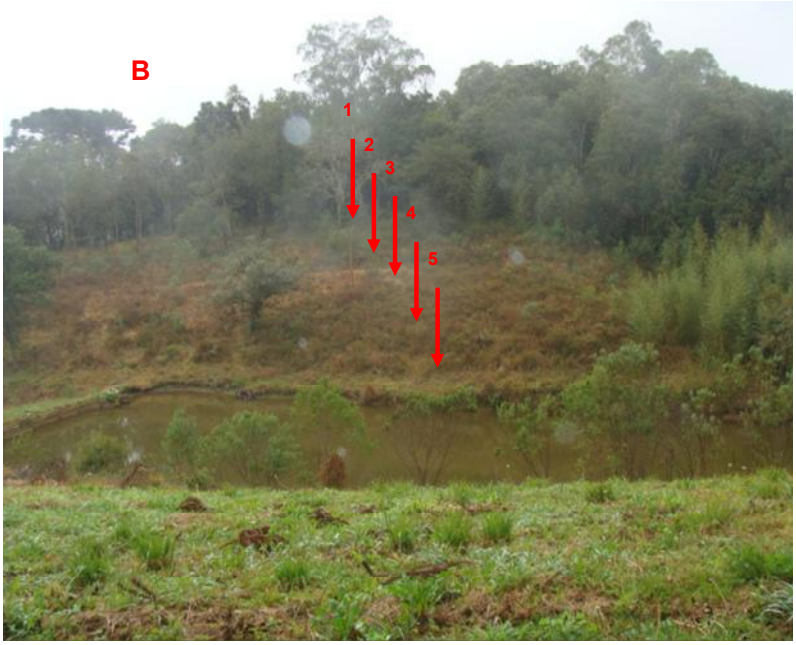


Figura 34 – Área Amostral 1 – Vertente B – Pontos de Coleta

Área Amostral 1 – Vertente A - Gnaisse															
	Ponto 01			Ponto 02			Ponto 03			Ponto 04			Ponto 05		
	1	SiO_2	48,6	1	SiO_2	36,9	1	SiO_2	47,0	1	SiO_2	40,7	1	SiO_2	52,1
	2	Al_2O_3	28,6	2	Fe_2O_3	24,6	2	Al_2O_3	25,4	2	Al_2O_3	23,3	2	Al_2O_3	26,3
	3	CO_2	! 11,3	3	Al_2O_3	23,2	3	Fe_2O_3	15,3	3	Fe_2O_3	22,7	3	CO_2	! 10,2
	4	Fe_2O_3	9,4	4	CO_2	! 11,6	4	CO_2	! 10,6	4	CO_2	! 10,9	4	Fe_2O_3	8,8
Ó	5	TiO_2	1,2	5	TiO_2	2,9	5	TiO_2	0,7	5	TiO_2	1,4	5	TiO_2	1,3
x	6	K_2O	0,3	6	P_2O_5	0,3	6	K_2O	0,4	6	P_2O_5	0,4	6	K_2O	0,7
i	7	MgO	0,2	7	K_2O	0,2	7	P_2O_5	0,3	7	K_2O	0,3	7	MgO	0,4
d	8	P_2O_5	0,1	8	MgO	0,1	8	MgO	0,1	8	MgO	0,3	8	P_2O_5	0,1
o	9	MnO	0,1	9	SO_3	0,1	9	CeO_2	0,1	9	ZrO_2	0,1	9	BaO	0,0
s	10	ZrO_2	0,1	10	MnO	0,1	10	BaO	0,0	10	SO_3	0,0	10	ZrO_2	0,0
	11	CeO_2	0,1	11	ZrO_2	0,1	11	SO_3	0,0	11	ZnO	0,0	11	MnO	0,0
	12	SO_3	0,1	12	Nb_2O_5	0,0	12	MnO	0,0	12	Rb_2O	0,0	12	SO_3	0,0
	13	CuO	0,0	13	CuO	0,0	13	ZrO_2	0,0	13	Y_2O_3	0,0	13	Cr_2O_3	0,0
%	14	ZnO	0,0	14	ZnO	0,0	14	Cr_2O_3	0,0				14	SrO	0,0
	15	Nb_2O_5	0,0				15	ZnO	0,0				15	Rb2O	0,0
	16	Rb_2O	0,0				16	SrO	0,0				16	Nb_2O_5	0,0

Figura 35 – Tabela com listagem semi-quantitativa dos óxidos da área amostral 1, vertente "A" em litologia Gnaissica

Área Amostral 1 – Vertente B - Gnaisse															
	Ponto 01			Ponto 02			Ponto 03			Ponto 04			Ponto 05		
	1	SiO_2	47,6	1	SiO_2	51,9	1	SiO_2	45,7	1	SiO_2	59,7	1	SiO_2	52,3
	2	Al_2O_3	27,5	2	Al_2O_3	24,9	2	Al_2O_3	25,7	2	Al_2O_3	23,4	2	Al_2O_3	24,9
	3	Fe_2O_3	12,6	3	Fe_2O_3	12,2	3	Fe_2O_3	15,9	3	Fe_2O_3	7,7	3	Fe_2O_3	10,9
	4	CO_2	! 10,6	4	CO_2	! 9,5	4	CO_2	! 10,9	4	CO_2	! 7,6	4	CO_2	! 10,3
Ó	5	TiO_2	1,2	5	TiO_2	1,0	5	TiO_2	0,9	5	TiO_2	1,1	5	TiO_2	1,2
x	6	K_2O	0,2	6	K_2O	0,2	6	MnO	0,3	6	K_2O	0,3	6	K_2O	0,2
i	7	P_2O_5	0,1	7	MnO	0,1	7	K2O	0,3	7	ZrO_2	0,1	7	P_2O_5	0,1
d	8	MnO	0,1	8	MgO	0,1	8	P_2O_5	0,0	8	MgO	0,1	8	ZrO_2	0,0
o	9	MgO	0,1	9	P_2O_5	0,1	9	SO_3	0,0	9	P_2O_5	0,1	9	SO_3	0,0
s	10	ZrO	0,0	10	Cr_2O_3	0,0	10	Cr_2O_3	0,0	10	SO_3	0,0	10	MnO	0,0
	11	Cr_2O_3	0,0	11	SO_3	0,0	11	BaO	0,0	11	MnO	0,0	11	Cr_2O_3	0,0
	12	SO_3	0,0	12	ZrO_2	0,0	12	ZrO_2	0,0				12	CaO	0,0
	13	NiO	0,0	13	NiO	0,0	13	Co_3O_4	0,0				13	Co_3O_4	0,0
%	14	ZnO	0,0	14	ZnO	0,0	14	NiO	0,0				14	SrO	0,0
	15	SrO	0,0	15	CuO	0,0	15	ZnO	0,0						

Figura 36 – Tabela com listagem semi-quantitativa dos óxidos da área amostral 1, vertente "B" em litologia Gnaissica

Em relação à ocorrência e distribuição dos óxidos encontrados em cada ponto de sondagem onde há predominância de gnaisse, nota-se variações quanto ao grupo de elementos e suas quantidades em ambas as vertentes. Constata-se, porém que, com exceção dos óxidos de silício (SiO_2), dos óxidos de alumínio (Al_2O_3) e dos óxidos de ferro (Fe_2O_3), os demais óxidos presentes nas amostras aparecem em quantidades percentuais pouco expressivas. Contudo sugere-se a importância de uma investigação mais detalhada a respeito da ocorrência e distribuição dos mesmos, pois se tratando de material de alteração ou saprólito, predominam os minerais secundários ou de alteração. Esta predominância pode apresentar uma maior mobilidade química dos elementos por disponibilização no momento das alterações mineralógicas. Tais condições sugere-se que possa ter relações com o grau de dissecação apresentado na área amostral 1.

Pode-se observar que na área amostral 1 os índices de inclinação do relevo apresentam-se menores que os encontrados na área amostral 2, com variações predominando entre 0 a 5 e 5 a 15 graus, com repetições para toda área onde predomina a ocorrência dos gnaisses (Figura 37).

Na área amostral 2 foram obtidas cinco amostras para a realização da espectrometria de fluorescência de raios “X”, e constatação da ocorrência e quantidade dos óxidos presentes no saprólito oriundo de litologia granítica.

A distribuição dos pontos de sondagens foi definida considerando o comprimento de rampa das vertentes contra postas, sendo que o ponto do fundo de vale foi comum a ambas, por estas convergirem a uma área em comum. Os outros quatro pontos foram distribuídos dois em cada uma das vertentes, considerando o topo e a parte intermediária entre o topo e a base (fundo de vale). (Figuras 38 e 39)

Observa-se também uma diversidade significativa quando a ocorrência e distribuição dos óxidos ao longo da toposseqüência, porém em sua maioria com quantidades também pouco expressivas. Para tal situação sugere-se como anteriormente se tratando da área amostral 1, investigações mais detalhadas, considerando que estes óxidos foram detectados também em materiais de alteração com presença praticamente exclusiva de minerais secundários, ou seja, já alterados.

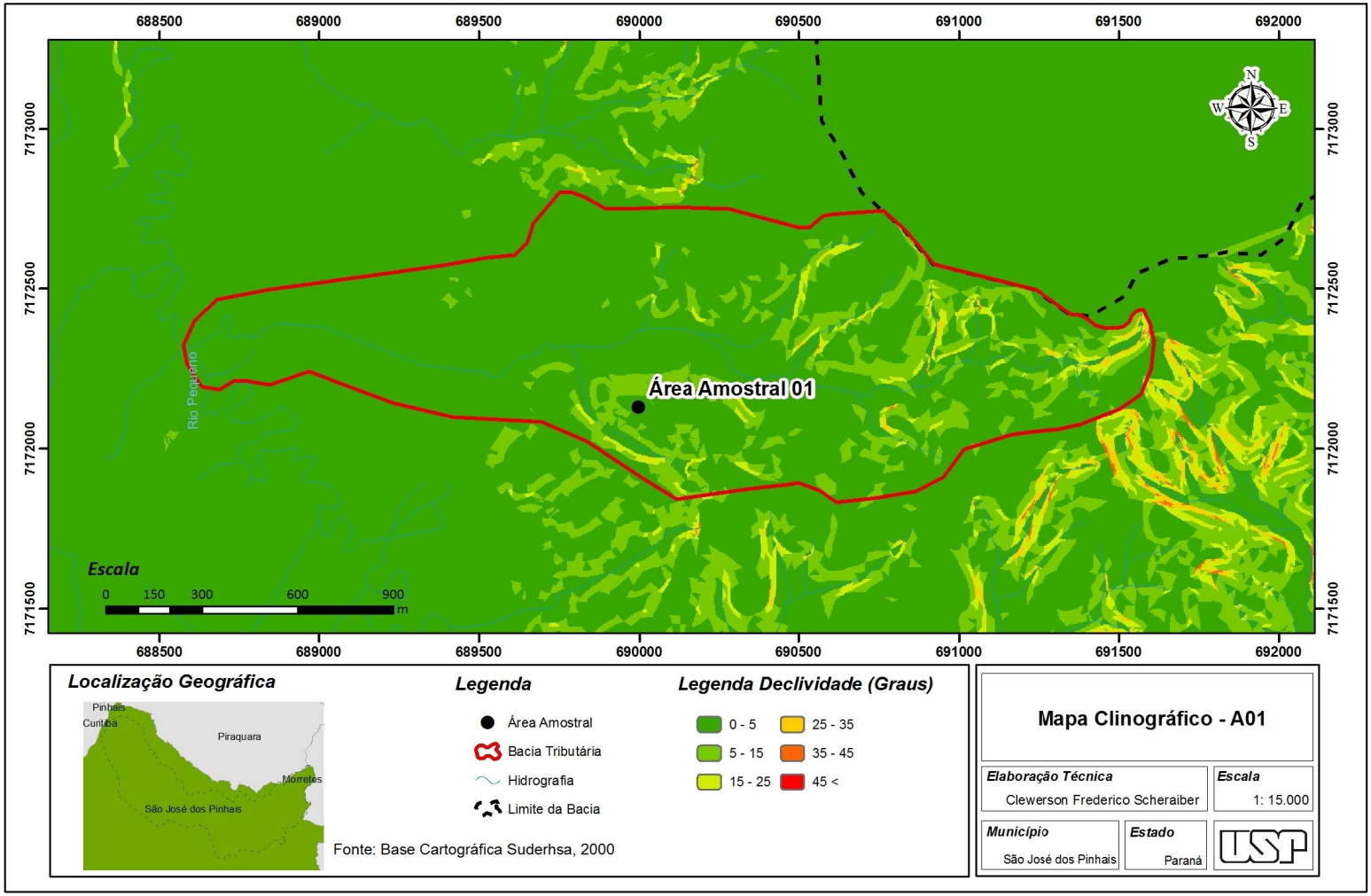


Figura 37 - Mapa Clinográfico da Bacia Hidrográfica Tributária do Rio Pequeno em seu Terço Médio - Área Amostral - 01

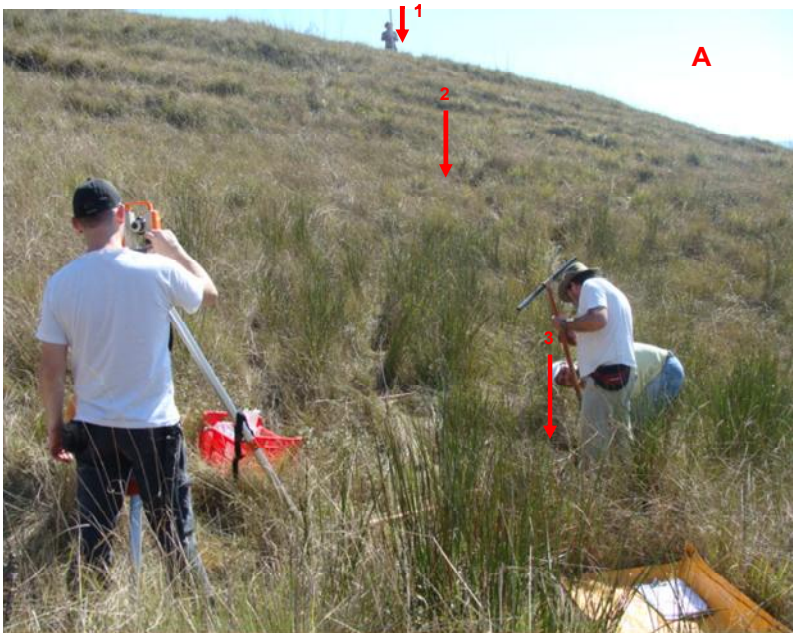


Figura 38 – Área Amostral 2 – Vertente A – Pontos de Coleta

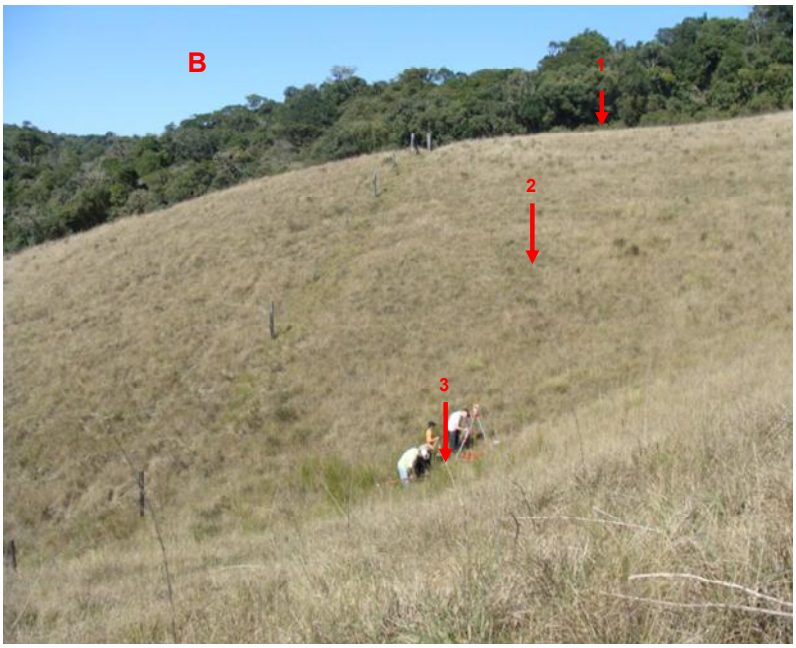


Figura 39 – Área Amostral 2 – Vertente B – Pontos de Coleta

Dentro desta condição de alteração, como nos gnaisses predominantes na área amostral 1, nos granitos material parental da área amostral 2, também permanecem em quantidades expressivas os óxidos de silício (SiO_2), os óxidos de alumínio (Al_2O_3) e os óxidos de ferro (Fe_2O_3). Tais ocorrências e distribuições podem ser observadas nas tabelas apresentadas nas figuras 40 e 41.

Apesar desta similitude entre a predominância dos óxidos de silício, alumínio e ferro, as formas do relevo se diferem entre as áreas amostrais 1 e 2. Contudo ressalta-se que estas diferenças quanto a classificação das unidades de relevo, praticamente não se expressam em classes diferenciadas porém cada uma das áreas amostrais guarda em si suas particularidades, e essencialmente quanto ao grau de dissecação. Na área 2 nota-se de modo geral o relevo com graus de dissecação mais elevado, quando correlacionado também de modo geral a área amostral 1, com inclinações predominando entre 5 a 15 e 15 a 25 graus de inclinação (Figura 42).

Porém, para obter resultados mais detalhados e comparativos entre as áreas especificamente relacionadas para escolha das vertentes contra postas, objetos de investigação geoquímica, com as áreas amostrais 1 e 2, que compõem o recorte espacial definido pelas bacias tributárias; realizou-se a mensuração individual de cada vertente em particular.

Adotou-se este procedimento para a corroboração dos resultados obtidos na confecção cartográfica temática, fundamentalmente no que diz respeito à clinografia, ou seja, aos intervalos de inclinação em graus predominantes nas áreas amostrais, considerando as bacias tributárias.

Desta forma para ser possível mesmo que preliminarmente relacionar a condição geoquímica com a interpretação das unidades de relevo foi verificado a declividade de cada uma das quatro vertentes de onde se extraiu o material para análise geoquímica.

Obtendo-se os seguintes resultados:

Área Amostral 2 – Vertente A - Granito			
	Ponto 01	Ponto 02	Ponto 03
Óxidos %	1 SiO_2 55,0	1 SiO_2 38,1	1 SiO_2 43,3
	2 Al_2O_3 28,7	2 Al_2O_3 28,2	2 Al_2O_3 28,5
	3 CO_2 ! 8,7	3 Fe_2O_3 16,8	3 Fe_2O_3 13,9
	4 Fe_2O_3 5,0	4 CO_2 ! 14,6	4 CO_2 ! 11,9
	5 K_2O 1,5	5 TiO_2 1,3	5 TiO_2 1,2
	6 TiO_2 0,6	6 MgO 0,4	6 K_2O 0,6
	7 MgO 0,2	7 P_2O_5 0,2	7 MgO 0,2
	8 ZrO_2 0,1	8 MnO 0,1	8 SO_3 0,1
	9 SO_3 0,0	9 SO_3 0,1	9 P_2O_5 0,1
	10 P_2O_5 0,0	10 K_2O 0,1	10 MnO 0,0
	11 MnO 0,0	11 ZrO_2 0,0	11 ZrO_2 0,0
	12 Rb_2O 0,0	12 Cr_2O_3 0,0	12 Cr_2O_3 0,0
	13 Nb_2O_5 0,0	13 NiO 0,0	13 Rb_2O 0,0
		14 SrO 0,0	

Figura 40 – Tabela com listagem semi-quantitativa dos óxidos da área amostral 2, vertente “A” em litologia Granítica

Área Amostral 2 – Vertente B- Granito			
	Ponto 01	Ponto 02	Ponto 03
Óxidos %	1 SiO_2 60,3	1 SiO_2 50,9	1 SiO_2 43,3
	2 Al_2O_3 26,9	2 Al_2O_3 32,2	2 Al_2O_3 28,5
	3 CO_2 ! 9,0	3 CO_2 ! 12,0	3 Fe_2O_3 13,9
	4 Fe_2O_3 2,0	4 Fe_2O_3 3,9	4 CO_2 ! 11,9
	5 K_2O 1,2	5 TiO_2 0,5	5 TiO_2 1,2
	6 MnO 0,1	6 K_2O 0,2	6 K_2O 0,6
	7 TiO_2 0,1	7 P_2O_5 0,1	7 MgO 0,2
	8 MgO 0,1	8 MnO 0,1	8 SO_3 0,1
	9 P_2O_5 0,1	9 SO_3 0,1	9 P_2O_5 0,1
	10 SO_3 0,0	10 ZrO_2 0,0	10 MnO 0,0
	11 ZrO_2 0,0	11 PbO 0,0	11 ZrO_2 0,0
	12 NiO 0,0	12 SrO 0,0	12 Cr_2O_3 0,0
	13 SrO 0,0	13 ZnO 0,0	13 Rb_2O 0,0
	14 Rb_2O 0,0	14 Ga_2O_3 0,0	
		15 Nb_2O 0,0	

Figura 41 – Tabela com listagem semi-quantitativa dos óxidos da área amostral 2, vertente “B” em litologia Granítica

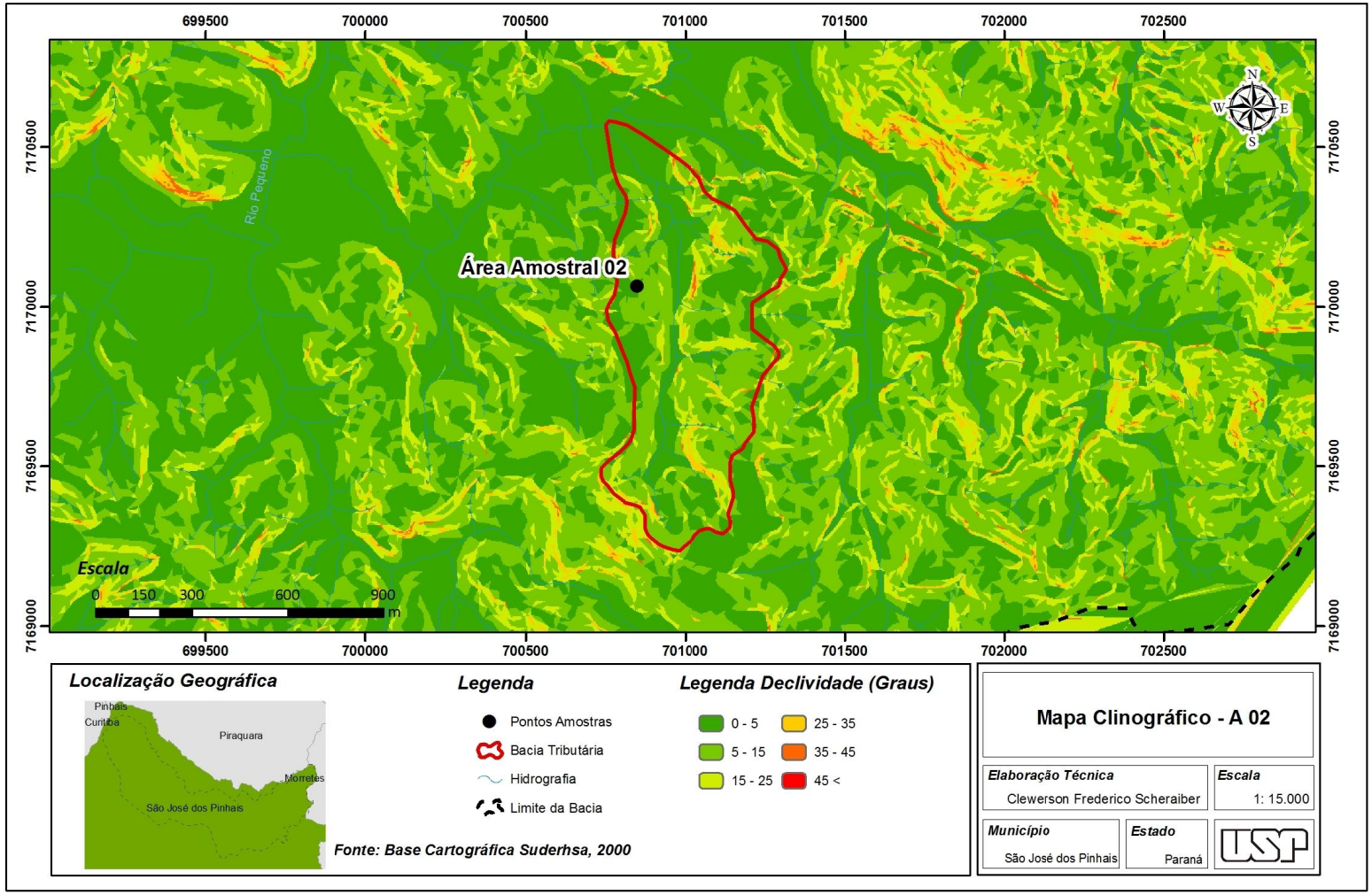
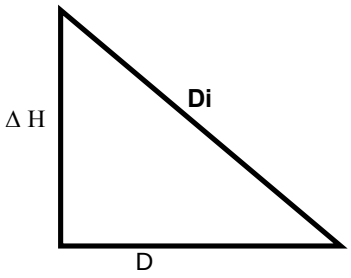


Figura 42 - Mapa Clinográfico da Bacia Hidrográfica Tributária do Rio Pequeno em seu Terço Superior - Área Amostral 02

VERTENTE - A / ÁREA AMOSTRAL 01

hi = 1,575 V= 71º 39’ 30” = Z
Ls = 1,862 V%= 33,15 (leitura direta do teodolito)
Lm = 1,708 Comprimento da vertente (trena) = 31,25m
Li = 1,549

V = 90º - Z
V = 90º - 71º 39’ 30”
V = 18º 20’ 30”



C = 100
S = Ls – Li = 1,862 – 1,549 = 0,313
cos2 V = 0,900974726

D = C . S . $\cos^2$ V
D = 100 . 0,313 . 0,900974726
D = 28,20m

$$Di = \sqrt{\Delta H^2 + D^2}$$

ΔH = hi – Lm + 50 . S . sen 2 . V
ΔH = 1,575 – 1,708 + 50 . 0,313 . 0,597391894
ΔH = 9,21m

$$Di = \sqrt{84{,}8241 + 795{,}24}$$

V % = ΔH / D . 100
V% = 9,21 / 28,20 . 100
V% = 32,66

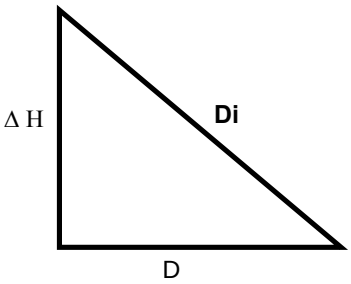
$$Di = \sqrt{880{,}0641}$$

Di = 29m

VERTENTE – B / ÁREA AMOSTRAL 01

hi = 1,490 V= 74º 35’ 00” = Z
Ls = 3,922 V%= 27,57 (leitura direta do teodolito)
Lm = 3,702 Comprimento da vertente (trena) = 41m
Li = 3,488

V = 90º - Z
V = 90º - 74º 35’ 00”
V = 15º 25’ 00”



C = 100
S = Ls – Li = 3,922 – 3,488 = 0,434
$\cos^2 V = 0{,}929330928$

D = C . S . $\cos^2 V$
D = 100 . 0,434 . 0, 929330928
D = 40,33m

$\Delta H = hi – Lm + 50 . S . sen 2 . V$
$\Delta H = 1{,}490 – 3{,}702 + 50 . 0{,}434 . 0{,}5125425$
ΔH = 8,91m

V % = ΔH / D . 100
V% = 8,91 / 40,33 . 100
V% = 22,09

$Di = \sqrt{\Delta H^2 + D^2}$

$Di = \sqrt{79{,}3881 + 1626{,}5089}$

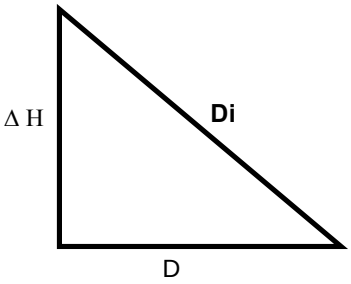
$Di = \sqrt{1705{,}897}$

Di = 41m

VERTENTE – A/ ÁREA AMOSTRAL 02

hi = 1,230 V= 77º 42’ 20” = Z
Ls = 1,220 V%= 21,79 (leitura direta do teodolito)
Lm = 1,082 Comprimento da vertente (trena) = 26,25m
Li = 0,950

V = 90º - Z
V = 90º - 77º 42’ 20”
V = 12º 17’ 40”



C = 100
S = Ls – Li = 1,220 – 0,950 = 0,27
$\cos^2 V = 0,954658409$

$$Di = \sqrt{\Delta H^2 + D^2}$$

D = C . S . $\cos^2 V$
D = 100 . 0,27 . 0, 954658409
D = 25,77m

$$Di = \sqrt{33,1776 + 664,0929}$$

ΔH = hi – Lm + 50 . S . sen 2 . V
ΔH = 1,230 – 1,082 + 50 . 0,27. 0,41610446
ΔH = 5,76m

$$Di = \sqrt{697,2705}$$

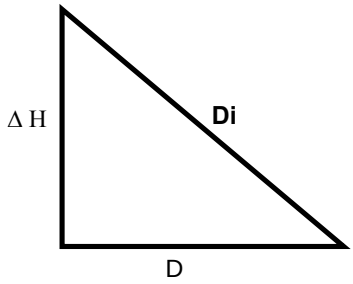
V % = ΔH / D . 100
V% = 5,76 / 25,77 . 100
V% = 22,35

Di = 26m

VERTENTE – B / ÁREA AMOSTRAL 02

hi = 1,230 V= 74º 33’ 40” = Z
Ls = 1,925 V%= 27,61 (leitura direta do teodolito)
Lm = 1,701 Comprimento da vertente (trena) = 42,90m
Li = 1,483

V = 90º - Z
V = 90º - 74º 33’ 40”
V = 15º 26’ 20”



C = 100
S = Ls – Li = 1,925 – 1,483 = 0,442
$\cos^2 V = 0,929132009$

D = C . S . $\cos^2 V$
D = 100 . 0,442 . 0, 929132009
D = 41,06m

$$Di = \sqrt{\Delta H^2 + D^2}$$

$$Di = \sqrt{118,1569 + 1685,9236}$$

$$Di = \sqrt{1804,0805}$$

Di = 42m

ΔH = hi – Lm + 50 . S . sen 2 . V
ΔH = 1,230 – 1,701 + 50 . 0,442. 0,513208412
ΔH = 10,87m

V % = ΔH / D . 100
V% = 10,87 / 41,06 . 100
V% = 26,47

Em relação aos resultados obtidos quanto às mensurações realizadas nas características geométricas externas das vertentes, é possível classificar ambas as áreas em relação à declividade dominante da unidade de relevo como **alta** que é representada pela classe com variações de inclinação entre 20% a 50%. Pois as inclinações em percentuais das áreas de estudo são de 32,06% a 22,09% para as vertentes “A” e “B” respectivamente da área amostral 1 e 22,35% a 26,47% para as vertentes “A” e “B” respectivamente da área amostral 2.

Entretanto, considerando a representação cartográfica dos mapas de planimetria e hipsometria de ambas as bacias hidrográficas tributárias (Figuras 43 e 44; 45 e 46) a amplitude altimétrica da unidade de relevo apresenta-se como **média** (variações entre 40m a 100m). Sendo que; na bacia tributária da área amostral 1 a amplitude altimétrica é de 70m e na bacia tributária da área amostral 2 é de 55m.

Seguindo estes procedimentos metodológicos para a interpretação e classificação das unidades de relevo, sugere-se a classificação **média/alta**, para ambas as áreas amostrais como uma classe que apresenta características gerais de uma (média quanto a amplitude altimétrica) e singulares de outra (alta quanto aos fatores de inclinação das vertentes).

Ambas as áreas classificam-se **altas** em relação à altitude absoluta, pois na área amostral 1 observa-se a altitude máxima entre 900m e 950m, e na área amostral 2 entre 950m e 1000m. Sendo que a determinação da classificação alta em relação à altitude absoluta estabelece-se entre 600m a 1000m.

As formas dominantes das vertentes quanto a curvatura vertical, de certa forma predomina a **convexidade** tanto na área amostral 1 como para área amostral 2. Tal condição de predominância de forma em ambas as áreas pode estar relacionado às semelhanças de isotropia dos materiais litológicos ocorrentes nas áreas amostrais, com respostas semelhantes quanto a resistência dos materiais aos processos de intemperismo.

Em ambas as áreas pode-se observar que em relação à predominância dos processos morfodinâmicos que estes ocorrem entre o ***creep*** (movimento de massa) e a **erosão laminar**, fatores que estão relacionados a inúmeras variáveis, sendo que as principais são: o clima (essencialmente precipitações e temperatura), a cobertura vegetal, a inclinação das vertentes e o material movimentado (tipo parental do material e espessura do mato de alteração).

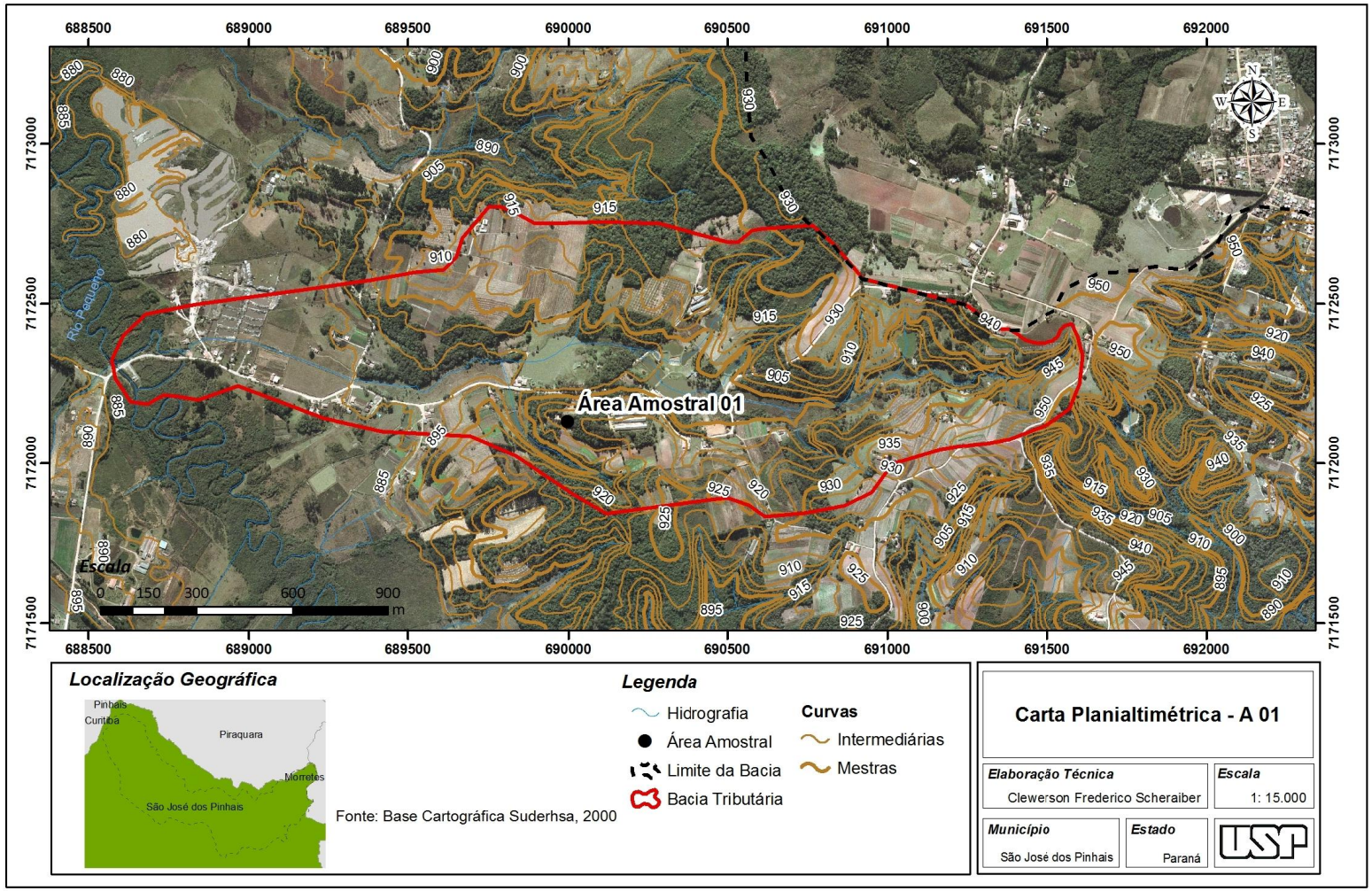


Figura 43 - Carta Planialtimétrica da Bacia Hidrográfica Tributária do Rio Pequeno em seu Terço Médio - Área Amostral - 01

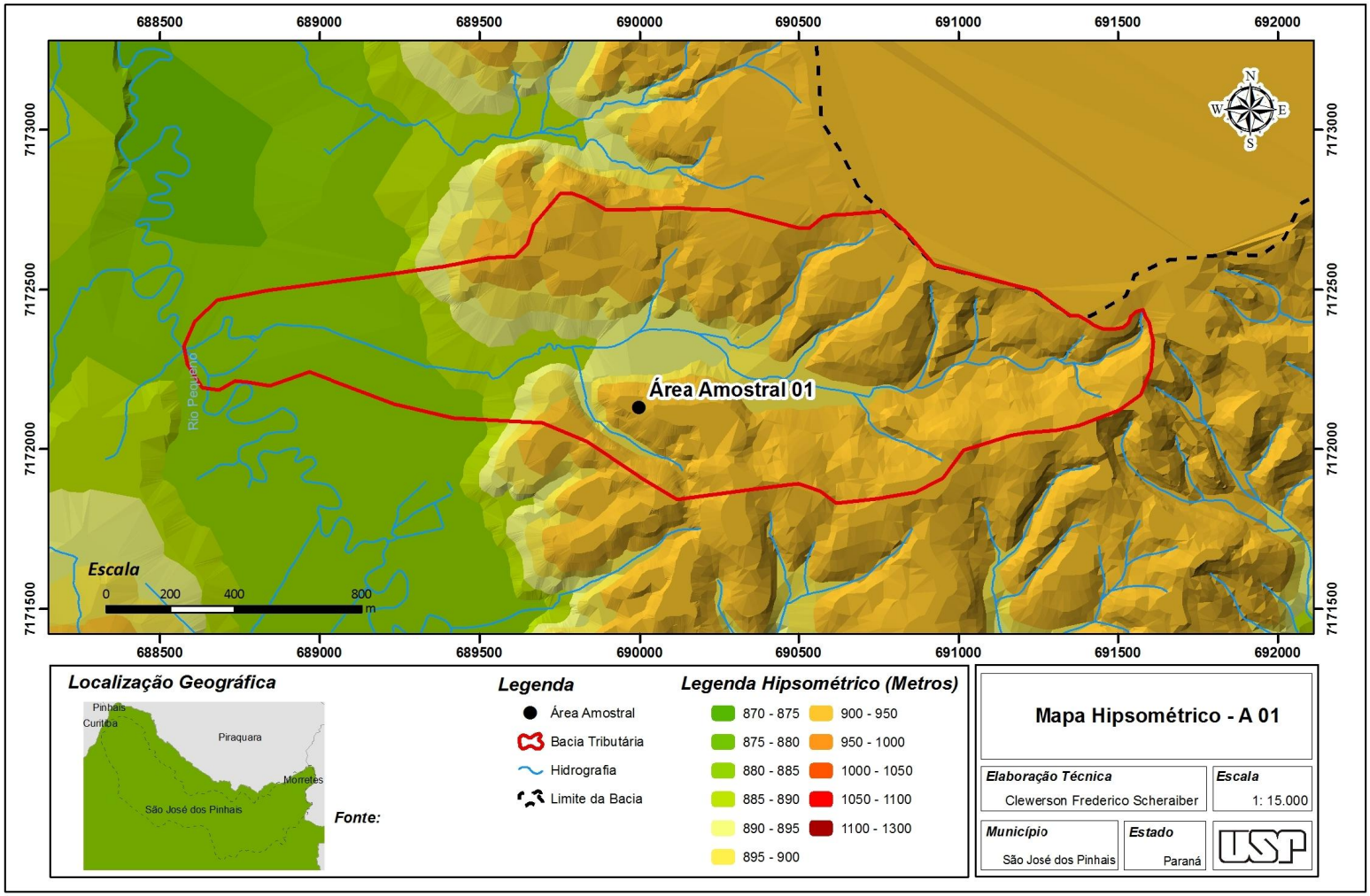


Figura 44 - Mapa de Hipsometria da Bacia Hidrográfica Tributária do Rio Pequeno em seu Terço Médio - Área Amostral 01

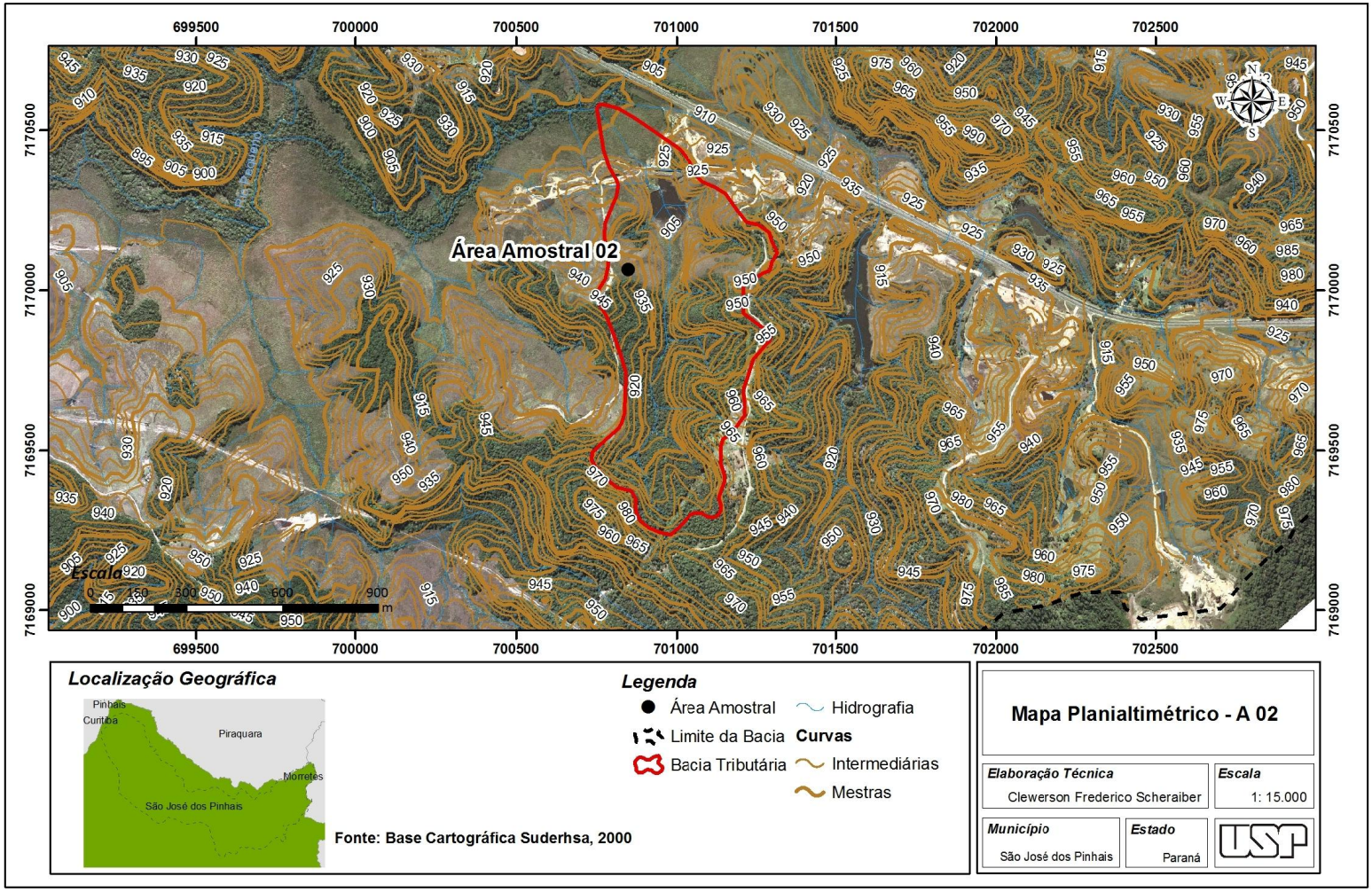


Figura 45 - Mapa Planialtimétrico da Bacia Hidrográfica Tributária do Rio Pequeno em seu Terço Superior - Área Amostral 02

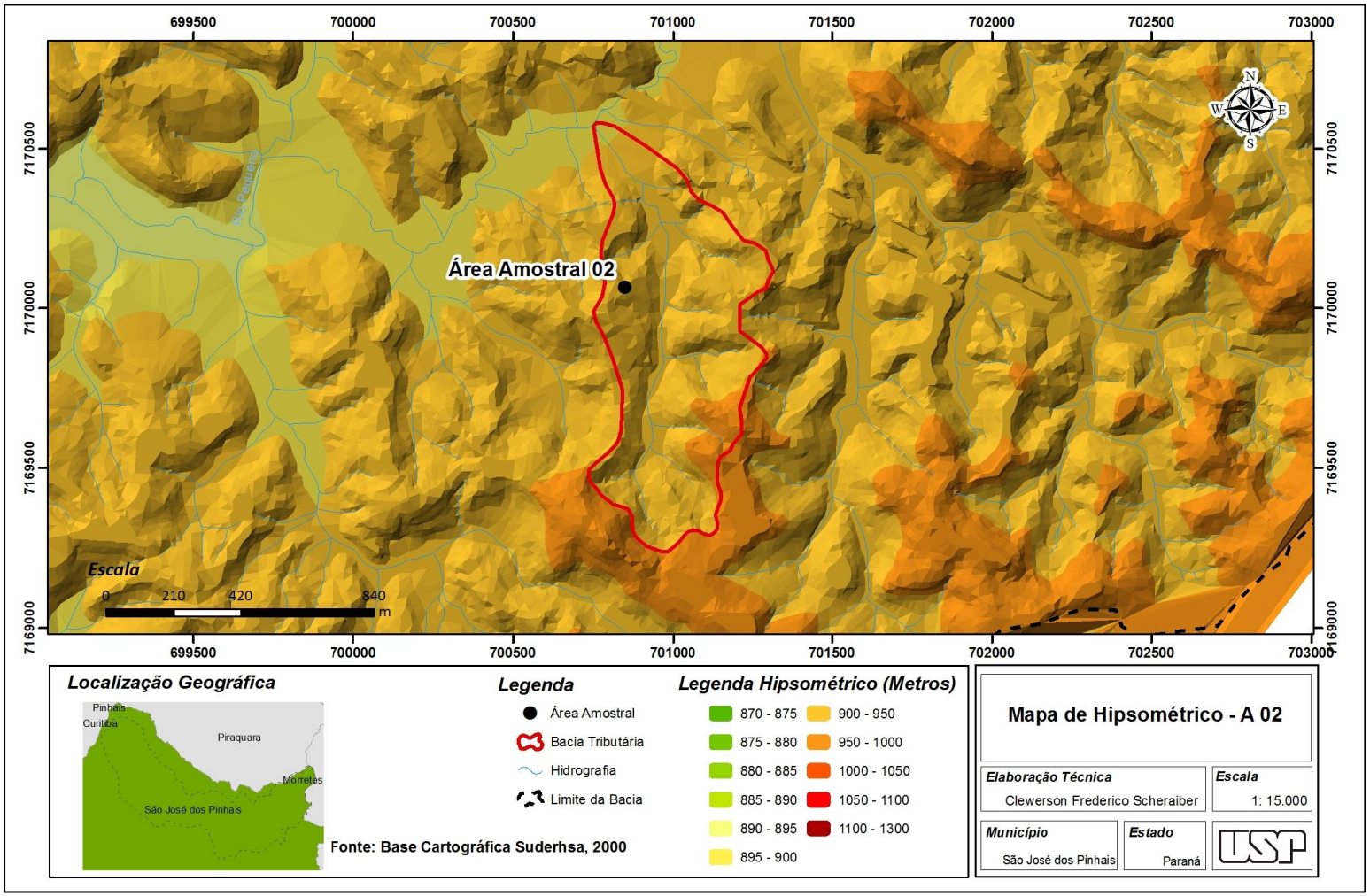


Figura 46 - Mapa da Hipsometria da Bacia Hidrográfica Tributária do Rio Pequeno em seu Terço Superior - Área Amostral 02

Para a determinação da classificação das unidades de relevo foram utilizados parâmetros correlativos a partir das propostas do IPT (1981), Meijerink (1988) e Ross (1996).

De certa forma os resultados encontrados através destes ensaios preliminares a respeito do comportamento geoquímico corroboram com os fundamentos da teria bio-resistática formulada por Erhart (1966).

Pois esta teoria basicamente é fundamentada na ação geoquímica associada à cobertura vegetal das florestas, as quais invariavelmente estão correlacionadas às condições de clima úmido.

Segundo os pressupostos geoquímicos desta teoria há uma tendência no decorrer da evolução pedogenética de perdas significativas de bases alcalinas e alcalinas terrosas das rochas bem como a maior parte da sílica, e uma fixação expressiva do ferro, alumínio e argilas residuais. Distinguisse através deste comportamento duas fases nitidamente distintas a fase migratória onde há mobilização dos bicarbonatos de potássio, magnésio, cálcio, sódio e silica hidratada, e a fase residual onde permanecem o ferro, o alumínio e as argilas do tipo caolinita.

Através das análises geoquímicas realizadas nas amostras coletadas nas vertentes da área amostral 1 apresentadas nas tabelas relacionadas as figuras 35 e 36 (pg. 79), é possível através da distribuição quantitativa dos óxidos observar estas correlações, onde predomina a fixação dos óxidos de silício, óxidos de alumínio e óxidos de ferro.

Fato também observado em relação ao material analisado geoquimicamente relacionado à área amostral 2, no qual a fixação residual dos óxidos também se sobressai entre os óxidos de silício, óxidos de alumínio e óxidos de ferro. (Figuras 40 e 41 pg. 84)

Todas as condições reinantes na área de estudo considerando as postulações desta teoria levam a este comportamento geoquímico, que invariavelmente pode estar relacionado com as características predominantes das unidades de relevo específicas para as áreas amostrais 1 e 2. Condições reinantes estas relacionadas principalmente a cobertura vegetal ao domínio climático que se estabeleceu no último período geológico e a disponibilização do material parental (aspectos geológicos).

Apesar da influência que possa representar o material mobilizado na fase migratória quanto ás possíveis relações com a arquitetura atual das unidades de relevo em materiais do embasamento cristalino nas regiões de clima tropical e sub-tropical, sugere-se uma importância maior para o material residual. Pois se entende que estes pacotes imensos de saprólito (material de alteração) formados a partir rochas ígneas intrusivas (granitos) e ou rochas metamorfizadas de material granítico (gnaisses), apesar de vastas coleções e variações destes materiais, são responsáveis de modo geral por manter a estrutura atual das formas de relevo predominantes nestas áreas.

Quanto aos resultados obtidos através das análises geoquímicas estes se mostram coerentes com estudos exaustivos realizados por vários pesquisadores para estabelecer a composição da crosta terrestre entre eles Clarke e Washington (1924), Goldschmidt (1954) e Poldervaart (1955), com a utilização de procedimentos diferenciados. Segundo a metodologia de Podervaart está média reduzida a uma base isenta de água (perda ao fogo) apresenta-se em média (em %) da seguinte forma: (*apud* Mason 1971, pg. 57)

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	P_2O_5
55,2	15,3	2,8	5,8	0,2	5,2	8,8	2,9	1,9	1,6	0,3

Já Levi e Melfi (1972) *apud* LICHT (1998), realizaram estudos dos óxidos em doleritos (rocha magmática) no Brasil em rocha sã e alterada chegando aos seguintes resultados quando a concentração dos óxidos mais expressivos:

óxidos	Rocha sã %	Alteração %
SiO_2	47,30	42,90
Al_2O_3	14,20	20,50
Fe_2O_3	3,36	9,72

Comprovando a proximidade com os resultados encontrados no material analisado nos gnaisses situados na área amostral 1, (Figura 35 e 36, p. 79) bem como os resultados obtidos nos granitos formadores do substrato geológico da área amostral 2 (Figura 40 e 41, p. 84).

No entanto estes estudos, não procuram correlacionar a geoquímica com as formas atuais das unidades de relevo, que pressupõem-se ser fundamental, pois as formas externas são resultados dos substratos que lhes dão sustentação e forma.

Desta forma sugere-se através da organização e aplicação de procedimentos metodológicos encontrar subsídios que possam levar a uma abordagem investigativa, que neste trabalho resumem-se a ensaios iniciais.

Considerando que as formas de relevo encontradas atualmente estão invariavelmente associadas a uma determinada massa física (materiais diversos: solo, saprólito, sedimentos inconsolidados e rochas) e que continuamente passam por modificações quanto a sua forma (evolução morfométrica), sugere-se ressaltar a importância do material residual.

Material residual este já discutido anteriormente representado pelos óxidos de silício (SiO_2), óxidos alumínio (Al_2O_3) e óxidos de ferro (Fe_2O_3). Em relação às áreas de estudo, e especificamente nas vertentes de onde foram retirados os matérias para análise observa-se que na média geral os resultados se equivalem aos estudos já realizados. Porém percebe-se também que em relação ao perfil vertical (a uma profundidade de 4,30m) seguindo uma toposseqüência horizontal de distribuição de pontos de coleta sobre superfície da vertente, ocorrem variações na concentração dos óxidos do mesmo grupo. Concentrações estas que para a média geral podem não ser significativas, mas, no entanto para uma correlação local podem ser indicativos possíveis de serem usados na interpretação e compreensão das formas das unidades de relevo e de sua evolução no tempo cronológico.

Na área amostral 1 com presença de gnaisses (Figura 47), observa-se que os óxidos de silício apresentam-se em maiores quantidades em ambas as vertentes (A e B). Percebe-se também que há uma tendência de maiores oscilações na toposseqüência, ou seja, em relação do topo com a base, passando pelos pontos intermediários. Ao analisar o comportamento de (SiO_2) na vertente “A” nota-se que no topo (ponto1) a concentração é menor que na base (ponto 5), com oscilações para maiores concentrações nos pontos de sondagem 2 e 4, e uma queda na concentração no ponto intermediário 3, formando praticamente uma gangorra química. A mesma situação de oscilações em relação ao óxido de silício são observados na vertente “B”, apresentando também concentrações menores no topo (ponto 1) e maiores na base (ponto 5), com variações na concentração para menos nos pontos 2 e 3 e aumentando no ponto intermediário 3 da toposseqüência.

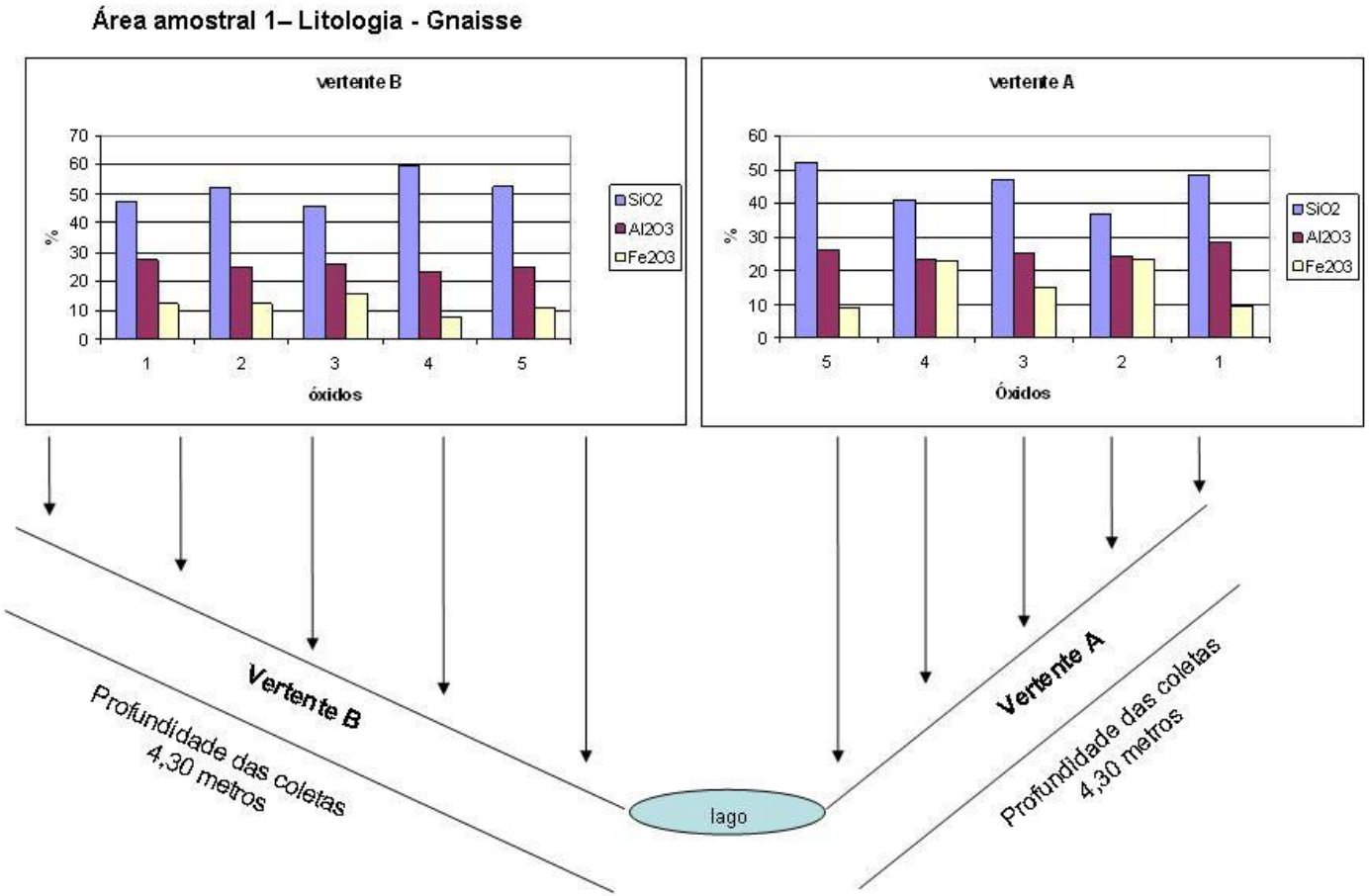


Figura 47 – Representação gráfica da distribuição das maiores concentrações de óxidos ao longo do perfil das vertentes Área Amostral 1 - Gnaisses

Diante deste comportamento em relação às taxas de concentração parece haver uma tendência de mobilização oscilatória do óxido de silício, mas com prioridades de mobilização para a base.

Quanto ao alumínio, este se apresenta mais estável em termos de oscilação nas taxas de concentração. Apesar destes níveis de oscilação serem menores também se observa uma tendência das maiores concentrações estarem no topo de ambas as vertentes “A” e “B” (ponto 1), com diminuições nos pontos 2 e 4, um pequeno aumento de concentração no ponto intermediário 3, voltando a aumentar na base, porém ambos os pontos intermediário e de base menor que no topo.

Observa-se que para os óxidos de ferro (Fe_2O_3), estes diminuem suas taxas de concentração em relação do topo (ponto1) com a base (ponto 5) com tendências a aumentar nos pontos intermediários. Nota-se também uma tendência contrária aos óxidos de silício, pois quando estes aumentam sua taxa de concentração, os óxidos de ferro diminuem. Isto é possível observar em ambas as vertentes “A” e “B”.

É possível perceber que mesmo estando sob o mesmo domínio geológico, estas vertentes apresentam distinções em termos de morfometria, onde, por exemplo, na vertente “A” a distância de inclinação é de 29m, a inclinação relativa é de 32% e sua convexidade é mais pronunciada. Por sua vez a vertente “B” apresenta a distância inclinada de 41m, inclinação relativa de 22,09% e convexidade menos pronunciada comparando-se com a vertente “A”. Sugere-se mesmo que preliminarmente que há uma correlação mutua entre as formas aéreas e as condições subáreas com relação à concentração e comportamento da mobilidade dos elementos geoquímicos. Onde os elementos migratórios estão presentes nos momentos iniciais de transformações pedogenéticas com pouca influência na forma atual, e os elementos residuais mantêm a sustentação atual destas formas e sua evolução ao longo do tempo, guardando em si as particularidades geoquímicas dos elementos em função da forma existente.

Em relação a área amostral 2, esta encontra-se sob a ocorrência do granito (Figura 48), onde é possível realizar algumas observações acerca do comportamento geoquímico dos elementos residuais ao longo da inclinação horizontal e vertical das vertentes “A” e “B” contra postas.

Área amostral 2 – Litologia - Granito

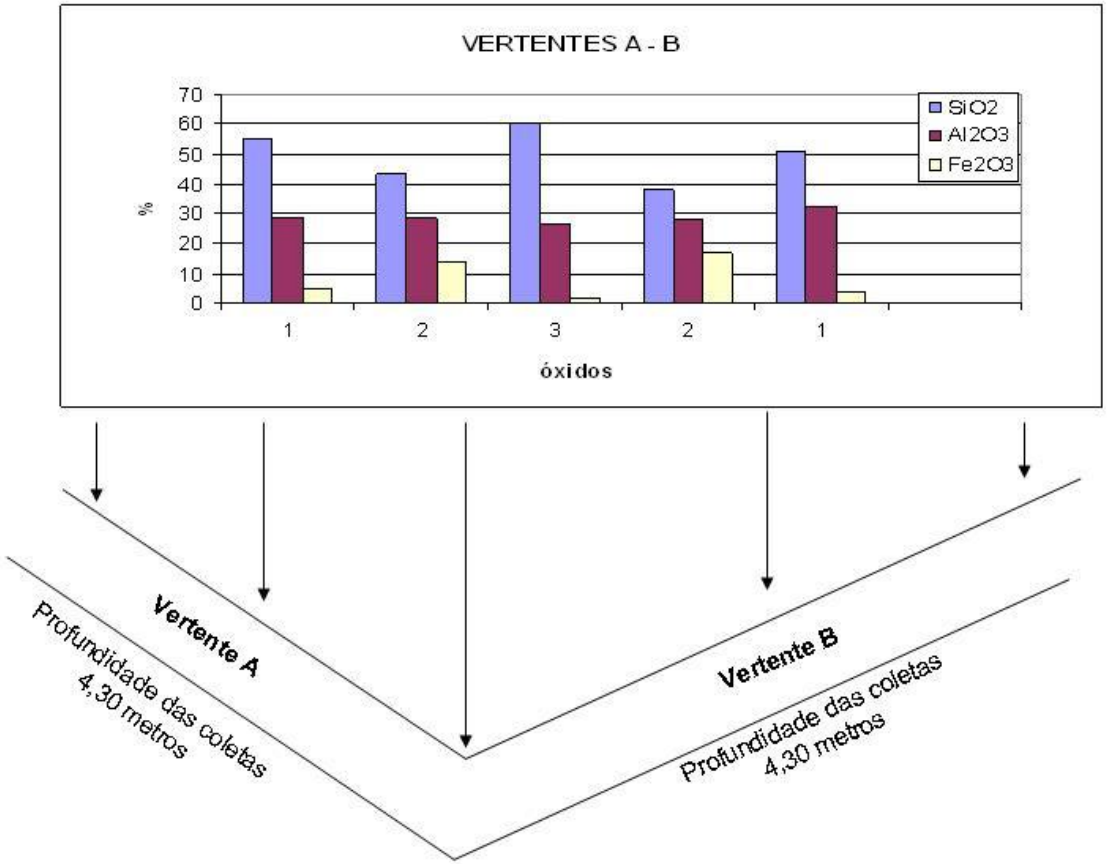


Figura 48 – Representação gráfica da distribuição das maiores concentrações de óxidos ao longo do perfil das vertentes Área Amostral 2 - Granito

Nota-se que o comportamento dos óxidos de silício são semelhantes aos observados nas vertentes da área amostral 1 em termos de taxas de concentração e comportamento de distribuição ao longo das vertentes, apesar de estarem sob influências geológicas diferenciadas. Assim nas vertentes localizadas na área amostral 2, há uma tendência de concentrações mais elevadas no topo (pontos 1 em ambas as vertentes), com diminuições na parte intermediária (pontos 2 em ambas as vertentes). Observando-se concentrações maiores na base em relação ao topo e aos pontos intermediários onde se encontra o ponto de coleta 3, o qual é comum a ambas as vertentes pois trata-se da confluência do fundo de vale.

Em relação aos óxidos de alumínio, estes também a exemplo da área amostral 1, mostram-se também mais estáveis na área amostral 2 quando comparados aos óxidos de silício e óxidos de ferro. Porém nota-se que há uma leve tendência a uma diminuição de sua concentração na base (ponto 3), em relação ao topo (pontos 1) e aos pontos 2 de coleta na parte intermediária das vertentes. Indicando uma possível resistência maior às taxas de mobilidade ao longo do perfil topográfico.

O comportamento dos óxidos de ferro demonstram concentrações maiores nos pontos intermediários de coleta (pontos 2) em ambas as vertentes “A” e “B”. Em relação ao topo (pontos de coleta 1) estas concentrações são menores se comparadas as amostras analisadas da parte intermediária, e maiores se comparadas a base (ponto 3). Entretanto, também na área amostral 2 nota-se uma aparente correlação entre os óxidos de silício com os óxidos de ferro, sendo que ao aumentar as concentrações do primeiro baixas as do segundo.

Considerando a morfometria das vertentes escolhidas para coleta de material da área amostral 2, percebe-se uma assimetria entre ambas. Como exemplo disto a vertente “A” apresenta uma distância de inclinação de 26m, inclinação relativa de 22,35% e curvatura vertical (forma da vertente) convexa mais pronunciada.

Quanto a vertente “B”, esta apresenta uma distância inclinada de 42m, a inclinação relativa de 26,47% e a forma também convexa, porém menos pronunciada quando comparada a vertente “A”.

Demonstrando também que deva haver correlações entre as condições aéreas com a composição do material subaéreo das regiões úmidas (trópicos e subtrópicos), com coberturas vegetais expressivas, composto por materiais de alteração (saprólito).

Sugere-se que tais condições geoquímicas estejam relacionadas com as condições atuais do relevo e com seu grau de estabilidade, porém com relações interconectadas formando um sistema complexo onde os elementos químicos e suas possíveis composições mineralógicas estão influenciando as unidades de relevo. Bem como as condições atuais do relevo exercem influências sobre o comportamento geoquímico dos elementos tanto para as fases migratórias como para as fases residuais.

Ressalta-se que estes resultados são parciais, uma vez que a pretensão fundamental orientativa deste trabalho foi à aplicação dos procedimentos metodológicos.

Evidencia-se também a importância em se considerar toda a dinâmica ambiental relacionada aos elementos e processos geomorfológicos resultando como produto final a arquitetura das formas da superfície terrestre, porém inacabadas, pois estão as mesmas em constantes transformações.

Relacionam-se a esta dinâmica ambiental as variáveis climáticas com interesses voltados principalmente às taxas de pluviosidade, temperatura, radiação e circulação da atmosfera. As variáveis geológicas considerando as litoestruturas e seu comportamento frente aos processos de intemperismos químicos, físicos, biológicos ou conjugados entre si. As condições atuais do relevo responsáveis pela remoção, transporte e deposição dos materiais resultando em novos padrões geométricos do próprio relevo. As características da cobertura superficial considerando os horizontes superficiais do solo e todo material incorporado a ele através da biomassa correlacionando-se com as taxas de escoamento e infiltração, bem como a disponibilidade diferenciada de materiais a serem transportados. As condições de drenagem através dos sistemas interfluviais e sistemas fluviais considerando o escoamento das águas superficiais, sub-superficiais e subterrâneas atuando diretamente sobre os materiais. E o biocoletivo através da cobertura vegetal e dinâmica da vida animal relacionados com os fatores de intemperismo, e remodelação das formas potencializando em alguns casos as taxas de disponibilidade, remoção, transporte e deposição de materiais.

Nota-se, entretanto, que invariavelmente todas estas condições ambientais estão de alguma forma associadas ao sistema geoquímico de forma mais ou menos intensa. Sistema este que se encontra numa posição não perceptível quando se

aborda sobre o sistema geomorfológico de maneira descritiva, despertando muitas vezes pouco interesse no aprofundamento da abordagem investigativa.

Cabe, no entanto ressaltar que são inúmeras as metodologias que podem ser aplicadas com o objetivo de seguir uma linha investigativa e que a mesma deve inevitavelmente estar associada aos trabalhos descritivos. Pois partem deles a possibilidade das pressuposições e ou elucidações sobre a gênese, evolução e comportamento do relevo frente às condições naturais ou modificações impostas direta e indiretamente pelas ações antrópicas. Salienta-se desta forma a importância de metodologias que integrem ambas as formas de abordagem sobre esclarecimento da ciência geomorfológica.

5 CONCLUSÃO

A busca pela compreensão dos fatos que envolvem a dinâmica dos sistemas ambientais torna-se sob diversos aspectos cada dia mais importante. Pois a partir destes conhecimentos aumentam as possibilidades de utilização dos recursos naturais, bem como podem contribuir com orientações sobre qual a melhor forma ou maneira mais harmônica de se apropriar dos mesmos, sugerindo meios de se evitar a desestabilização exagerada dos geossistemas.

Atualmente a gama de recursos naturais deve ser tratada sob a perspectiva dos recursos atmosféricos, minerais, pedológicos, hidrológicos, biológicos e também espaciais. Considera-se o recurso do espaço geográfico como vital para a manutenção e perpetuação das espécies, dentro do dinamismo de seus ciclos evolutivos incluindo neste aspecto a sociedade humana.

Pois se considera que associado diretamente ao espaço geográfico, estão todos os outros recursos. Assim a apropriação e forma de utilização dos mesmos vêm trazendo profundas modificações no próprio espaço geográfico.

Estas modificações e necessidades cada vez maiores por recursos naturais justificam em partes os avanços significativos na área das geociências que tratam do estrato geográfico terrestre em suas varias esferas sistêmicas.

Em especial estes avanços estão ocorrendo também na ciência da geomorfologia, tornando-se cada vez mais relevantes e expressivos os estudos que procuram explicar sobre a gênese, formas (atuais e pretéritas), graus de estabilização e maiores e melhores maneiras de uso do estrato superficial do Planeta.

Em geral no início, os trabalhos envolvendo estudos sobre as características do relevo empregavam métodos mais descritivos que explicativos. Porém com o passar do tempo, com os avanços do conhecimento e possibilidade de empregar novas técnicas e novos procedimentos metodológicos já não bastava mais apenas à abordagem descritiva. A partir de então as questões relacionadas ao relevo, suas potencialidades e suas restrições, passam a ser descritas e explicadas enquanto sistema integrado a outros subsistemas terrestres, visto que há uma conexão indissociável entre os mesmos.

Contudo ressalta-se a importância fundamental de se aplicar metodologias que integrem a descrição à explicação, uma vez que representam fatores intervenientes onde a abordagem descritiva subsidia a explicativa e vise versa.

Diante destes fatos buscou-se neste trabalho integrar os fatos descritivos da composição das unidades de relevo, associados a um ensaio investigativo a respeito das condições geoquímicas e suas possíveis relações com as formas atuais dos aspectos superficiais que compõem o relevo.

Para que fosse possível corroborar com o objetivo proposto, houve a necessidade da adoção de um conjunto integrado de procedimentos metodológicos.

Desta forma além das pesquisas documentais, também utilizou-se dos procedimentos e técnicas envolvendo às geotecnologias. Através das quais com auxilio do sensoriamento remoto aliado ao geoprocessamento possibilitou-se a confecção do material cartográfico, fundamentais na interpretação das formas relacionadas às unidades de relevo estabelecidas a partir das áreas amostrais definidas como alvo do estudo. Além da possibilidade da análise descritiva do relevo alguns produtos subsidiaram a interpretação de outros aspectos geoambientais como uso e cobertura do solo, por exemplo, e ocorrência da distribuição das litologias encontradas na área de estudo.

Uma vez definidas às áreas amostrais e em posse do material cartográfico foi possível realizar a fase dos ensaios investigativos. Tais investigações ocorreram através da varredura geoquímica de materiais extraídos de rochas do embasamento cristalino, com amostras de gnaisses e granitos, ambas provenientes de áreas amostrais diferenciadas quanto à ocorrência litológica.

Realizadas as análises geoquímicas do material, detectou-se a ocorrência e distribuição dos principais óxidos encontrados em vertentes opostas entre si, totalizando duas vertentes desenvolvidas na presença de gnaisses e outras duas também opostas entre si, relacionadas à ocorrência de granitos.

Em posse dos resultados encontrados, através da aplicação do conjunto de procedimento metodológicos adotados, foi possível tecer algumas pressuposições preliminares sobre as prováveis relações que se estabelecem entre as condições geoquímicas com as formas observadas nas unidades de relevo. Em particular voltou-se as atenções para as formas das vertentes das quais foram retidas as amostras para realização da análise geoquímica.

Em ambas as situações observou-se algumas tendências em relação ao comportamento dos óxidos ao longo do perfil horizontal (comprimento de rampa) e vertical (profundidade das coletas) das vertentes, porém pouco elucidativas. O que pode-se perceber que mesmo estando em litologias diferenciadas porém sobre o mesmo domínio geológico do embasamento cristalino as formas apresentam uma tendência de evolução e distribuição de formas muito semelhantes entre si.

Outro fato constatado foi à situação de assimetria observada em ambas as áreas em relação as vertentes contra postas, com repetição assimétrica muito semelhante entre a área amostral 1 com a área amostral 2.

No conjunto geral dos padrões observados nas unidades de relevo também foi possível detectar uma dissecação vertical maior na área presença de granito em relação à área com presença do gnaisse, apesar de pouco pronunciada uma em relação à outra.

Ressalta-se, entretanto que estes estudos geoquímicos consistem em ensaios preliminares, havendo, portanto a necessidade, da alocação de uma quantidade maior de áreas a serem analisadas geoquimicamente. Observando também que pode ser expressiva quanto a possibilidades elucidativas associar as análises químicas com análises mineralógicas.

Porém cabe ressaltar também que o objetivo maior deste trabalho consistiu na organização e aplicação de um conjunto de procedimentos metodológicos integrados para gerar novas propostas associando estudos descritivos a abordagens investigativas. Tendo como premissa encontrar explicações para determinados tipos de padrões de formas de relevo nas unidades básicas e suas respostas frente aos processos de alteração e evolução que possam ocorrer entre a interface das camadas aéreas com as camadas mais profundas subaéreas.

Considera-se como contribuição deste trabalho a integração dos métodos descritivos com os métodos investigativos associando a utilização das geotecnologias através do sensoriamento remoto e geoprocessamento, com abordagens investigativas do sistema geoquímico. Tendo em vista estudos geomorfológicos explicativos.

Assim, apesar dos ensaios geoquímicos serem preliminares considera-se valida este tipo de abordagem metodológica, pois se abre novas perspectivas de estudos que podem contribuir para novas formas de estudos geomorfológicos.

Cabe salientar também as diversas possibilidades de ser integradas a esta forma de estudo outras variáveis ou técnicas, deste que a organização e descrição do método possa ser reproduzido de forma integral ou parcial, adaptando-o a outras regiões com formações geoambientais diferenciadas ou incluindo novas linhas de abordagens investigativas relacionadas à geoquímica e suas correlações com a geomorfologia.

APÊNDICE

Fichário de acompanhamento de atividade de campo

FICHÁRIO DE ATIVIDADE DE CAMPO

Área amostral: _____ Localidade: _____

Município: _____ Estado: _____

Coordenadas Geográficas : Lat. _____ _____ _____ Long. _____ _____ _____

Coordenadas no sistema UTM: X _____ Y _____

Altitude : _____ Data da Coleta: _____/_____/_____.

LITOLOGIA PROVÁVEL: _____

COBERTURA DO SOLO: _____

CARACTERÍSTICAS METEOROLÓGICAS: _____

_____

HORA DA COLETA DO MATERIAL: início _____:_____; término _____:_____

CLASSIFICAÇÃO TAXONOMICA DO SOLO: _____

BACIA HIDROGRÁFICA: _____

VERTENTE

_____

FORMA _____

COMPRIMENTO _____

INCLINAÇÃO _____

GRADIENTE _____

Croqui (distribuição das sondagens):

Quantidade de sondagens:	Análise mineralógica:
Profundidade inicial do perfil de alteração:	
Profundidade relacional no perfil de inclinação:	Análise química:
Profundidade da amostra para análise:	

Profundidade dos horizontes:

Características gerais: