

Universidade Federal de Minas Gerais
Departamento de Geografia

Cecília Félix Andrade

RELEVO ANTROPOGÊNICO ASSOCIADO À MINERAÇÃO DE FERRO
NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO: UMA ANÁLISE ESPAÇO-
TEMPORAL DO COMPLEXO ITABIRA (MUNICÍPIO DE ITABIRA – MG)

Minas Gerais – Brasil
2012

Cecília Félix Andrade

RELEVO ANTROPOGÊNICO ASSOCIADO À MINERAÇÃO DE FERRO
NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO: UMA ANÁLISE ESPAÇO-
TEMPORAL DO COMPLEXO ITABIRA (MUNICÍPIO DE ITABIRA – MG)

Tese apresentada ao programa de Pós-Graduação
do Departamento de Geografia da Universidade
Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para
a obtenção do título de Doutor em Geografia.

Área de concentração: Análise Ambiental
Orientador: Prof. Dr. Roberto Célio Valadão

Belo Horizonte
Departamento de Geografia da UFMG
2012

Tese intitulada *RELEVO ANTROPOGÊNICO ASSOCIADO À MINERAÇÃO DE FERRO NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO: uma análise espaço-temporal do Complexo Itabira (município de Itabira – MG)*, de autoria da doutoranda Cecília Félix Andrade, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências da UFMG como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Geografia.

Área de Concentração: Análise Ambiental.

Aprovada pela banca examinadora constituída pelos seguintes professores:

Prof. Dr. Roberto Célio Valadão IGC/UFMG

Orientador

Profa. Dra. Cristiane Valéria de Oliveira - IGC/UFMG

Profa. Dra. Maria Giovana Parizzi - IGC/UFMG

Profa. Dra. Ambrosina Helena Ferreira Gontijo Pascutti – Departamento de Geociências - UFRRJ

Profa. Dra. Maria José Marinho do Rego - Instituto de Geociências – UFBA

Belo Horizonte, 15 de agosto de 2012

Dedico a Deus por todas as oportunidades alcançadas.

À minha *Maria*, meu pai, a meu amado e
companheiro Jairo e aos meus irmãos.

À minha filha Maria, todo meu amor.

Aos meus mestres e orientador, responsáveis pelo meu
crescimento pessoal e acadêmico.

Aos meus amigos pela força e fraternidade

AGRADECIMENTOS

A meu orientador, Prof. Dr. Roberto Célio Valadão, pela orientação segura e atenciosa que permitiu o desenvolvimento deste trabalho. Pela amizade, apoio, paciência e confiança demonstrada, meus sinceros agradecimentos.

À Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM e ao Instituto de Geociências Aplicadas – IGA, pelas contribuições e materiais cedidos.

À Cláudia Saraiva e Maria Antonieta minha eterna gratidão.

Aos companheiros de trabalho, professores Bruno, Flávio, Fernando, Maria da Glória e Venilson pela convivência e crescimento profissional.

Aos amigos: Elizêne, Fábio e Wallace, pelo convívio harmonioso durante esta fase da vida, apoio e união demonstrada.

Aos funcionários do Instituto de Geociências da UFMG, pela atenção e colaborações recebidas durante o curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pelo financiamento do Doutorado.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para esta pesquisa.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 TEMA	15
1.2 ÁREA DE ESTUDO	17
1.3 AS QUESTÕES DISCUTIDAS.....	19
1.4 OBJETIVOS	19
2 CARACTERIZAÇÃO DO QUADRO AMBIENTAL ATUAL DA ÁREA INVESTIGADA	21
2.1 ARCABOUÇO GEOLÓGICO	21
2.2 CONFIGURAÇÃO GEOMORFOLÓGICA.....	24
2.3 CARACTERIZAÇÃO PEDOLÓGICA	29
2.4 ORGANIZAÇÃO DA REDE HIDROGRÁFICA	29
2.5 CONDIÇÕES CLIMÁTICAS.....	32
2.6 COBERTURA VEGETAL ORIGINAL.....	33
2.7 USO E OCUPAÇÃO DA TERRA	33
3 ATIVIDADE MINERÁRIA, IMPACTOS, DANOS AMBIENTAIS E LEGISLAÇÃO	39
3.1 PROCESSO DE EXPLOTAÇÃO DO MINÉRIO.....	39
3.1.1 A mineração de ferro a céu aberto	40
3.1.2 Exploração do minério de ferro no Quadrilátero Ferrífero	42
3.2 IMPACTOS E DANOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS À ATIVIDADE MINERÁRIA	43
3.3 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL E MINERÁRIA.....	48
4 O TECNÓGENO E O RELEVO DE DERIVAÇÃO ANTROPOGÊNICA	58
4.1 O TECNÓGENO: UM NOVO PERÍODO OU ÉPOCA?	58
4.2 O RELEVO ANTROPOGÊNICO: A AÇÃO HUMANA EM PERSPECTIVA	59
4.2.1 Interferência da ação humana na dinâmica de encostas e taludes	62
4.2.2 Interferência da ação humana na organização espacial da rede de drenagem e na dinâmica das calhas fluviais.....	77
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	86
5.1. DOCUMENTAÇÃO	86

5.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	87
5.2.1. Revisão bibliográfica	87
5.2.2. Interpretação da carta topográfica de Itabira.....	88
5.2.3. Interpretação de produtos de sensores remotos.....	89
5.2.4. Investigação de campo.....	93
5.2.5. Análise do sistema fluvial	94
6 RECONHECIMENTO, CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO RELEVO ANTROPOGÊNICO DECORRENTE DA ATIVIDADE DE MINERAÇÃO DE FERRO NO COMPLEXO ITABIRA.....	96
6.1. ATIVIDADE DA MINERAÇÃO DE FERRO NO COMPLEXO ITABIRA NA GÊNESE DO RELEVO ANTROPOGÊNICO	96
6.2. INTERFERÊNCIA DA AÇÃO HUMANA NAS VERTENTES	101
7 INTERFERÊNCIA DA ATIVIDADE MINERÁRIA DO COMPLEXO ITABIRA NA ORGANIZAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DA REDE DE DRENAGEM E NA DINÂMICA DE CALHAS FLUVIAIS	108
7.1 ORGANIZAÇÃO DA REDE DE DRENAGEM E HIERARQUIAS DOS CANAIS FLUVIAIS.....	108
7.2 IMPACTOS DAS OBRAS DE ENGENHARIA: EXPLOTAÇÃO MINERÁRIA E ALTERAÇÕES NO SISTEMA FLUVIAL NA ÁREA DE ESTUDO	108
8 CONCLUSÃO.....	115
8.1 DINÂMICA DAS ENCOSTAS E TALUDES NA ATIVIDADE MINERÁRIA A CÉU ABERTO	115
8.2 A AÇÃO ANTRÓPICA NOS PROCESSOS GEOMORFOLÓGICOS	115
8.3 CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA FLUVIAL MEDIANTE A EXTRAÇÃO DO MINÉRIO DE FERRO NO COMPLEXO ITABIRA.....	115
8.4 REAÇÃO DO SISTEMA FLUVIAL COM A CARGA DE SEDIMENTO MATERIAL PÓS-EXTRAÇÃO DO MINÉRIO DE FERRO	116
8.5 LEGISLAÇÃO MINERÁRIA E AMBIENTAL NA EXPLOTAÇÃO DO MINÉRIO DE FERRO COMO INSTRUMENTO PARA MITIGAR OS IMPACTOS/DANOS AMBIENTAIS INSTALADOS	116
REFERÊNCIAS	118

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1.1 – Localização da área investigada. **A:** Localização do município no Estado de Minas Gerais. **B:** Localização do município de Itabira e do Complexo Itabira na microrregião de Itabira – MG, geologicamente situados na extremidade nordeste do Quadrilátero Ferrífero. **C:** Imagem orbital da região do Complexo Itabira; a linha contínua, nessa figura, delimita minas onde são extraídos o minério de ferro; observe a proximidade do complexo a malha urbana de Itabira..... 18
- FIGURA 2.1 – **A:** Quadrilátero Ferrífero. **B:** Esboço geológico simplificado do Grupo Itabira de 1967, na região do Complexo Itabira (MG). Nota-se que a presença da formação ferrífera encontra-se nos sinclinais existentes na região. Fonte: CPRM – Projeto de Geologia do Quadrilátero Ferrífero, REIS (2005). Elaboração: ANDRADE, C.F. **C:** Perfil geológico do distrito de Itabira. 22
- FIGURA 2.2 – Hipsometria da região do Complexo Itabira, mediante as curvas de nível da carta topográfica de 1946. Verifica-se que na linha de crista residual, compreendida pelos picos, iniciou-se a exploração minerária na região..... 27
- FIGURA 2.3 – Classes de declividade da região do Complexo Itabira, calculadas a partir de carta topográfica de 1946. Observe na região predomínio das médias declividades. 28
- FIGURA 2.4 – Organização espacial da rede de drenagem na região do Complexo Itabira a partir da digitalização da carta topográfica de 1946. 31
- FIGURA 2.5 – Mapa de uso e ocupação do solo da região do Complexo Itabira, obtido por meio de classificação automática da imagem *RapidEye* 2010. A linha contínua retrata a localização do empreendimento com as principais as cavas; observe que a exploração do minério pelo empreendimento, nos últimos 62 anos, desencadeou alterações significantes na superfície..... 35
- FIGURA 2.6 – Visão parcial da cava final do Cauê com o lago relacionado à disposição de rejeito e a pilha de estéril (em amarelo). 36
- FIGURA 2.7 – Fotografia aérea de 1989, cedida pelo IGA, da mina do Cauê. Observe que há acumulação de rejeito no interior da cava (**A**); ao norte da mina tem-se a recomposição topográfica caracterizada pela imagem como solo exposto (**B**). 37
- FIGURA 2.8 – Imagem *RapidEye* 2010 do trecho da bacia do rio do Peixe. Observe que esse rio foi, em parte, barrado com vistas à contenção de rejeitos sólidos e líquidos advindos do beneficiamento do minério (**A:** Barragem de Itabiruçu; **B:** Barragem do Rio do Peixe; **C:** Barragem de Conceição; **V:** Cava de Dois Córregos; **VI:** Cava de Periquito e **VII:** Cava de Conceição)..... 38
- FIGURA 4.1 – Alterações do relevo de derivação antropogênica efetivadas em região de mina a céu aberto destinado à extração de minério de ferro (Adaptado de Abrão e Oliveira, 1998). Observe que, nesse caso, duas categorias de alterações de encostas e taludes são implementadas: aquelas que derivam da própria extração do minério em uma cava; e as que derivam do acúmulo de material estéril, transferidos para taludes de aterro ou barragens de rejeito..... 62

FIGURA 4.2. – Construção de uma pilha de estéril pelo método ascendente.	65
FIGURA 4.3. – Localização das pilhas de estéril existentes no Complexo Itabira.	66
FIGURA 4.4 – Rompimento do equilíbrio natural do rio, em virtude da construção de um reservatório. A montante do reservatório ocorre a agradação do vale, e, a jusante, o aprofundamento da calha fluvial.	78
FIGURA 4.5 – Alterações da rede de drenagem e da calha fluvial em resposta à instalação de uma barragem, segundo Brierley e Fryirs (2006). Observe no perfil longitudinal o acúmulo de material próximo à barragem (A) e após a mesma a incisão do leito do rio (B).	79
FIGURA 4.6 – Impactos decorrentes no processo de canalização e retificação de canais fluviais, segundo Brierley e Fryirs (2006). Observe com a canalização do rio tem-se a redução da matéria orgânica e vida aquática.	81
FIGURA 4.7 – Configuração da calha fluvial mediante a extração de cascalho, segundo Brierley e Fryirs (2006). Observe que com a extração ocorre um aumento de sedimento a jusante do rio.	83
FIGURA 5.1 – Fluxogramas Metodológicos	95
FIGURA 6.1 – Transectos dos flancos leste Cauê, Dois Corrégos e Conceição, conjuntamente com a visualização tridimensional (3D) nas temporalidades de 1946, 1989 e 2000. Observe pela análise espaço-temporal da ação do homem no relevo na exploração do minério de ferro a céu aberto.	98
FIGURA 6.2 – Classes de declividade da região do Complexo Itabira, calculadas a partir de carta topográfica de 1946 e da imagem Aster de 2000. Observa-se na região as alterações na declividade em virtude da atividade minerária.	100
FIGURA 6.3 – Esboços geomorfológicos da região do Complexo Itabira em 1946 e 2008. Observe o traçado das linhas dos principais interflúvios, a localização das principais nascentes, a extensão das planícies de inundação, bem como a localização das minas, em 1946, e as feições do relevo antropogênico em 2008.	103
FIGURA 6.4 – Foto ilustrativa do livro da CVRD demonstrando a prospecção mineral nas proximidades do Pico do Cauê, 1920-1930. Observe em primeiro plano a perfuratriz utilizada na exploração do minério.	104
FIGURA 6.5 – Nota-se no entorno da cava a reconstituição topográfica da Mina do Cauê através de material estéril.	104
FIGURA 6.6 – Fotografias registradas no trabalho de campo em 2011 referentes a cava da mina de Conceição. Observe a parte mais escura no corte, que corresponde ao minério de ferro, rico em hematita, a parte mais clara, ao estéril.	105
FIGURA 7.1 – Mapa das doze barragens de rejeito (em azul) existentes com seus respectivos diques (em laranja) e em laranja hachurado as pilhas de estéril.	109

FIGURA 7.2 – Imagem orbital do *Google Earth* em 2011. Verifica-se a extensão da barragem do Pontal. 110

FIGURA 7.3 – Imagem orbital do *Google Earth* ano 2011 das barragens Cambucal I (**A**) e II (**B**). Nota-se a presença de processos erosivos a jusante das barragens, podendo contribuir para a instabilidade dos barramentos..... 111

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 CRITÉRIOS PARA CLASSIFICAÇÃO DAS BARRAGENS.....	46
TABELA 4.1. CARACTERIZAÇÃO DAS PILHAS DE ESTÉRIL, ANO DE 2004, DA ÁREA DE ESTUDO.....	70
TABELA 5.1. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO ASTER.....	92
TABELA 6.1 – ALTERAÇÕES DOS ELEMENTOS CONSTITUÍDAS NOS ESBOÇOS GEOMORFOLÓGICOS	106
TABELA 7.1 – CÁLCULO DO VOLUME ENTRE 1946 E 1989, VOLUME POR ANO E QUANTIDADE DE MINÉRIO E ESTÉRIL. FOI CONSIDERADO O SOMATÓRIO DAS CINCO CAVAS EXISTENTES NAS MINAS DO MEIO.	113
TABELA 7.2 – Cálculo do volume entre 1989 e 2000, volume por ano e quantidade de minério e estéril foi considerado o somatório das cinco cavas existentes nas minas do Meio.	113

LISTA DE SIGLAS

Área Diretamente Afetada – ADA
Área Indiretamente Afetada – AIA
Áreas de Proteção Permanente – APP
Ciclo Básico de Produção – CBP
Comissão Internacional de Grandes Barragens – ICOLD
Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA
Deliberação Normativa – DN
Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM
Estudo de Impacto Ambiental – EIA
Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM
Impacto Ambiental – EIA
Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE
Instituto de Geociências Aplicadas – IGA
Instituto Estadual de Florestas – IEF
Instituto Federal de Minas Gerais – IFMG
Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM
Licença de Operação de Natureza Corretiva- LOC
Licenciamento de Instalação – LI
Licenciamento de Operação – LO
Licenciamento Prévio – LP
Modelo Digital de Elevação - MDE
Modelo Digital do Terreno – MDT
Nível de água – Na
Normas Reguladoras de Mineração – NRM
Núcleos de Gestão Ambiental – NGA
Pilha de Estéril – PDE
Plano de Aproveitamento Econômico – PAE
Plano de Controle Ambiental – PCA
Plano de Controle de Impacto Ambiental Mineral – PCIAM
Plano de Recuperação de Áreas Degradadas – PRAD
Política Nacional do Meio Ambiente – PNMA
Produto Interno Bruto – PIB
Relatório de Controle Ambiental – RCA
Relatório de Impacto Ambiental – RIMA

Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – SEMAD
SISEMA - Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
United States Geological Survey – USGS

RESUMO

As atividades antrópicas voltadas para a exploração de recursos minerais têm resultado em alterações significativas na paisagem e, conseqüentemente, na dinâmica do meio em que se verificam. No caso da exploração do minério de ferro no Complexo Itabira, localizado na porção nordeste do Quadrilátero Ferrífero (MG), testemunhamos um longo histórico da atuação humana, marcado por profundas alterações no relevo. É nesse contexto que se insere este trabalho, uma vez que seu objetivo principal está voltado para o reconhecimento, mapeamento e caracterização de feições do relevo de natureza antropogênica, estejam elas localizadas nas encostas ou nos fundos de vale. Constitui meta fundamental deste trabalho investigar o relevo antropogênico sob o enfoque da temporalidade, mediante estabelecimento de cenários em que se busca reconstituir condições ambientais presentes na região minerada tanto na fase inicial de sua exploração como em tempos recentes, confrontando-as. Metodologicamente, esta pesquisa se apoiou na investigação de feições cuja dinâmica foi fortemente acelerada pela intervenção humana, a qual chegou, inclusive, a produzir significativas inversões de relevo. A interpretação de carta topográfica – escala de 1:25.000 – e de produtos de sensores remotos foi fundamental para o reconhecimento de feições do relevo em diferentes temporalidades do processo de exploração mineral. Verificou-se que, ao longo de 62 anos de exploração do minério de ferro, além do rebaixamento da superfície em algumas áreas, houve concomitante elevação – soterramento – em outras. O processo de reposição topográfica produziu, localmente, um conjunto significativo de morrotes artificiais. Inversões de relevo se fizeram presente, na medida em que porções do relevo esculpidas em saliências e, hidrológicamente, dispersoras do escoamento superficial pluvial, foram antropicamente remodeladas em reentrâncias, alterando sua funcionalidade hidrológica. Demais feições antropogênicas foram identificadas, tais como taludes artificiais ascendentes (os morrotes artificiais) e descendentes (as cavas), barragens de rejeitos. Dentre as principais alterações impostas ao sistema fluvial se destacam as mudanças no padrão de drenagem, a redução do número de canais de primeira ordem e a instalação de barragens de rejeitos transformando o sistema até então lótico em lântico. O volume de material extraído – tanto o minério propriamente dito como o estéril – registrou uma quantidade expressiva de carga de material gerado mediante a exploração do minério de ferro. Nos primeiros 43 anos de exploração, a mina do Cauê gerou uma média de 6.120.869 m³ por ano. Entre 1989 a 2000 esse valor atingiu uma média de 12.215.115 m³. A mina de Conceição, também começou a sua exploração no mesmo ano que a mina do Cauê, nos primeiros 43 anos o valor é menor nessa mina, em torno de 2.275.505 m³. No entanto, esse valor atingiu uma média de 9.252.515 m³ por ano entre 1989 a 2000. Já as minas do Meio apresentam uma média de 66.683 m³ por ano. Isso ocorre porque estas minas foram exploradas a partir da década de 1960, porém nessa década a mina de Esmeril ainda não era explorada. No entanto, esse valor é acentuado entre 1989 a 2000 apresentando uma média de 8.194.236 m³ por ano.

Palavras-chave: exploração do minério de ferro, geomorfologia antropogênica, fisiografia fluvial.

ABSTRACT

Anthropic activities directed to the exploitation of mineral resources have been resulting in significant changes on the landscape and, consequently, on the dynamics of the environment in which they are found. In the case of iron ore exploitation in the Itabira Complex, located in the northeast portion of the Iron Square (Minas Gerais, Brazil), one witnesses a long history of human activity, marked by deep terrain changes. The present work belongs to this context, since its main objective is aimed at recognizing, mapping and characterizing the terrain features that share an anthropogenic nature, be they located on hillsides or in the deeps of valleys. The fundamental goal of this work is the investigation of the anthropogenic terrain through the temporality approach, by means of establishing scenarios in which we attempt to reconstitute the mined region's environmental conditions from its initial phase up to the present, proceeding to their confrontation. Methodologically, this research was based on the investigation of features whose dynamics was strongly accelerated by human intervention, which managed even to produce significant terrain inversions. The interpretation of the topographic map – 1:25.000 scale – and of remote sensorial products was fundamental for the recognition of the terrain's features in different temporalities of the process of ore exploration. It was noticed that, through 62 years of iron ore exploration, in addition to the surface lowering that occurred in certain areas, there was concomitant elevation – landfill – in others. The process of topographic reposition produced, locally, a significant ensemble of artificial hillocks. Terrain inversions were present, as portions of the terrain, which were sculpted in saliences and hydrologically dispersive of the pluvial surface flowage, were anthropically remodeled in reentrances, changing its hydrologic functionality. Other anthropogenic features were identified, such as ascending artificial grades (the artificial hillocks) and also descending (the furrows), waste dams. Among the main changes imposed upon the fluvial system, one highlights the changes on the drainage pattern, the reduction on the number of first-order channel and the installation of waste dams, transforming the so far lotic system into a lentic one. The volume of extracted material – both actual and sterile ore – registered an expressive quantity as for the load of material generated by means of iron ore exploitation. During its first 43 years of exploitation, Cauê mine generated an average of 6.120.869 m³ of it per year. From 1989 to 2000 this sum reached an average of 12.215.115 m³. Conceição mine had its exploitation started in the same year as Cauê mine. During its first 43 years its sum is inferior: around 2.275.505 m³. However, it reached an average of 9.252.515 m³ per year from 1989 to 2000. On the other hand, the mines of the Meio presented an average of 66.683 m³ per year. This occurs mainly because those mines started to be explored in the 1960s, but in this decade Esmeril mine was not yet explored. Nevertheless, this value increased from 1989 to 2000, presenting an average of 8.194.236 m³ per year.

Keywords: iron ore exploitation, anthropogenic geomorphology, fluvial physiography.

1 INTRODUÇÃO

1.1 TEMA

A exploração do minério de ferro em Minas Gerais remonta ao século 18 na região denominada, geologicamente, Quadrilátero Ferrífero, cujos vértices estão localizados em Belo Horizonte, Santa Bárbara, Mariana e Congonhas do Campo. Essa unidade da federação se caracteriza por agregar vantagens geográficas e econômicas frente à prospecção desse minério, uma vez que os depósitos mineralizados, além de extensos e de possibilitarem sua fácil extração, apresentam ótima qualidade. Essas características favoreceram a instalação da primeira fábrica a produzir barra de ferro no país, em Congonhas do Campo, Minas Gerais, por Von Eschwege, em 1811 (GONSALVES, 1937; CVRD, 1992; SCLIAR, 1996).

No decorrer dos anos seguintes, houve um declínio da siderurgia no país, e sua ascensão veio com a divulgação de estudos realizados pelos primeiros engenheiros formados pela Escola de Minas de Ouro Preto, incentivando industriais e capitalistas mediante a abertura do mercado para o capital estrangeiro. Destacase, nesse período, a Usina Esperança, construída em 1888 no sopé do pico de Itabira, em Itabira (MG), e, dentre os grupos estrangeiros, a *Itabira Iron Ore Company*, de capital inglês, proprietária das jazidas Cauê, Conceição, Santa'Ana e Girões (GONSALVES, 1937; CVRD, 1992; SCLIAR, 1996).

No século 20, em meados da década de 1930, a indústria siderúrgica ganhou novo impulso, quando houve aumento significativo da capacidade de produção e investimentos na construção de novas usinas, visando à exportação do produto. Outro fator relevante foi a nacionalização das siderúrgicas existentes, a exemplo da *Itabira Iron Ore Company* adquirida pela Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), em 1942.

Atualmente, a CVRD, hoje denominada Vale, é detentora das explorações de minério no Complexo Itabira, uma unidade geológica localizada na extremidade nordeste do Quadrilátero Ferrífero que alcança, em superfície, aproximadamente 180 km², cujo destaque principal, do ponto de vista de seu acervo mineralógico, é a presença do minério de ferro.

A apropriação pelo homem do espaço territorial em que se localiza o Complexo Itabira foi, antes da descoberta do minério de ferro e do início de sua extração, aquela voltada para o tradicional uso dos recursos naturais situados mais

propriamente junto à superfície. Nesse contexto, destacavam-se a extração da cobertura vegetal original e a substituição dessa cobertura por usos antrópicos pouco diversificados – mais propriamente aqueles ligados às atividades rudimentares de criação de gado. Todavia, por mais diversificados que tenham sido esses usos, as alterações antrópicas da paisagem nesse complexo e, mais ainda, os danos ambientais delas resultantes, foram de relevância modesta frente àqueles danos que, mais tarde, foram e vêm sendo causados pela extração do minério de ferro. O avanço das frentes de lavra e, sobretudo, a abertura de novas localidades de extração alterou significativamente a paisagem na região do Complexo Itabira em decorrência da atividade minerária. Essa atividade, que hoje agrega considerável emprego tecnológico, ainda envolve, além da abertura de cavas, o processo de beneficiamento, armazenagem e transporte do minério, o que implica na geração de rejeitos acumulados em pilhas de material estéril e em barragens de contenção.

Ao longo do tempo, notadamente desde o início da extração do minério de ferro no Complexo Itabira, no município de Itabira – MG, a sua paisagem passa a se expressar por meio de um mosaico cada vez mais complexo de elementos que denotam intensa transformação de derivação antropogênica. Essas transformações revelam-se, prontamente, no arranjo espacial das formas de relevo – ou seja, no cenário geomorfológico da região –, agora rico em modelados produzidos pelo homem. A ação do homem vai além da mera alteração desse cenário geomorfológico, ela também dita, rege e impõe à paisagem novo regime de fluxo de matéria e energia que passa a condicionar parcela considerável dos processos geomorfológicos até então vigentes. Essa transformação de derivação antropogênica impressa na paisagem, como também nas formas de relevo dela resultante, na literatura especializada tem sido denominado como relevo antropogênico; essa expressão se vincula ao Tecnógeno, período geológico marcado pelas transformações ambientais historicamente produzidas pelo homem mediante emprego de recursos tecnológicos diversos (OLIVEIRA *et al.*, 2005; PELOGGIA, 1998, 2005).

O relevo antropogênico em ambientes minerados resulta, de modo geral, na combinação de duas categorias de processos geomorfológicos que são intensificados pela ação antrópica. De um lado, a retirada de solo e rocha, responsável pela abertura de grandes reentrâncias no relevo – as cavas. De outro, o acúmulo de materiais derivados do processo minerário – os rejeitos e pilhas de

material estéril. Esses processos são intensos, mas na maioria das vezes pontuais, e temporalmente curtos (tempo histórico) quando comparados à velocidade das mudanças que se processam em condições naturais (tempo geológico).

1.2 ÁREA DE ESTUDO

O Complexo Itabira localiza-se entre as coordenadas 43°11'10" e 43°18'38" W e 19°34'00" e 19°41'30" S, ocupando superfície aproximada de 180 km² inserida no município de Itabira, Minas Gerais (Figura 1.1)

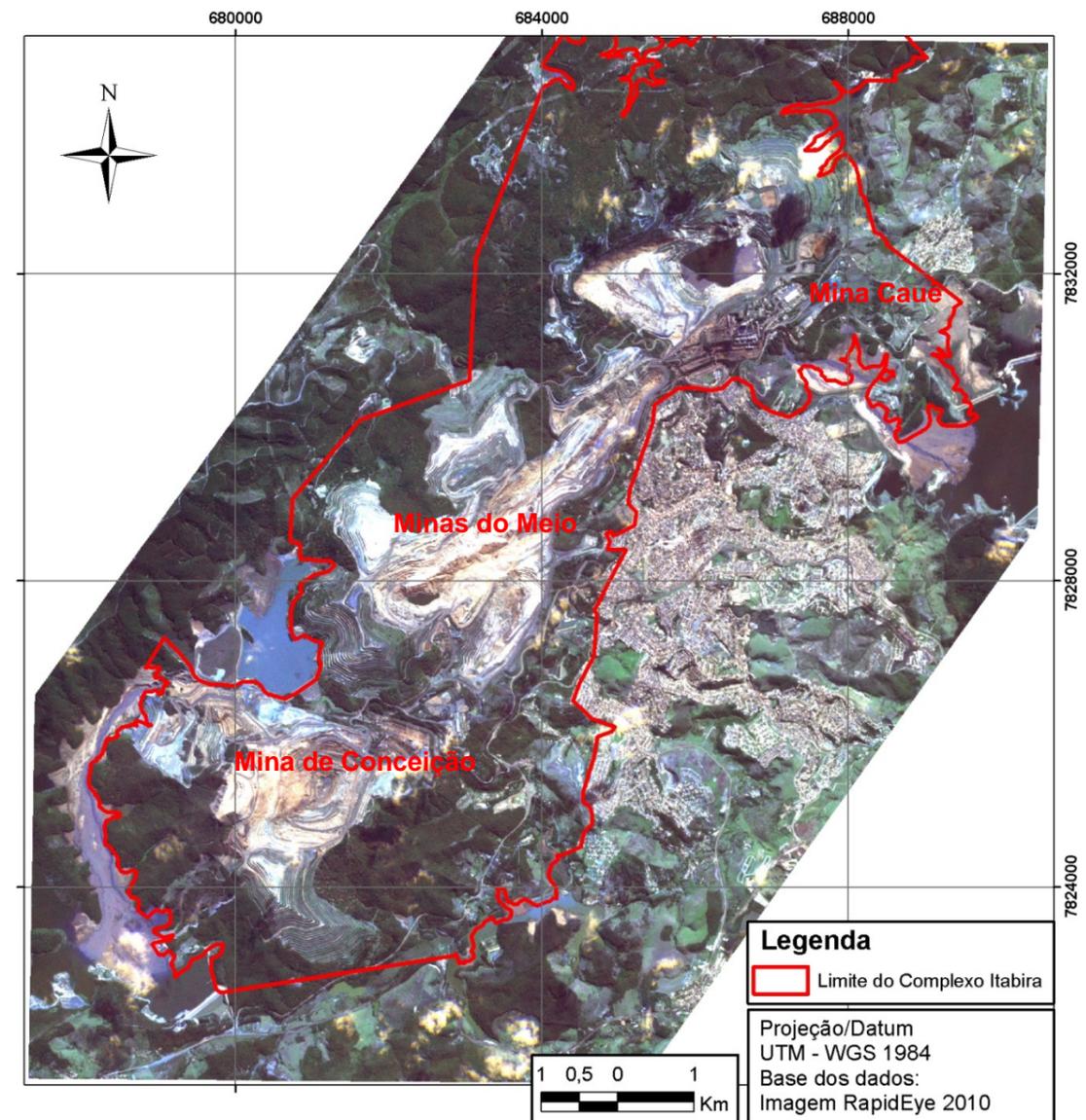
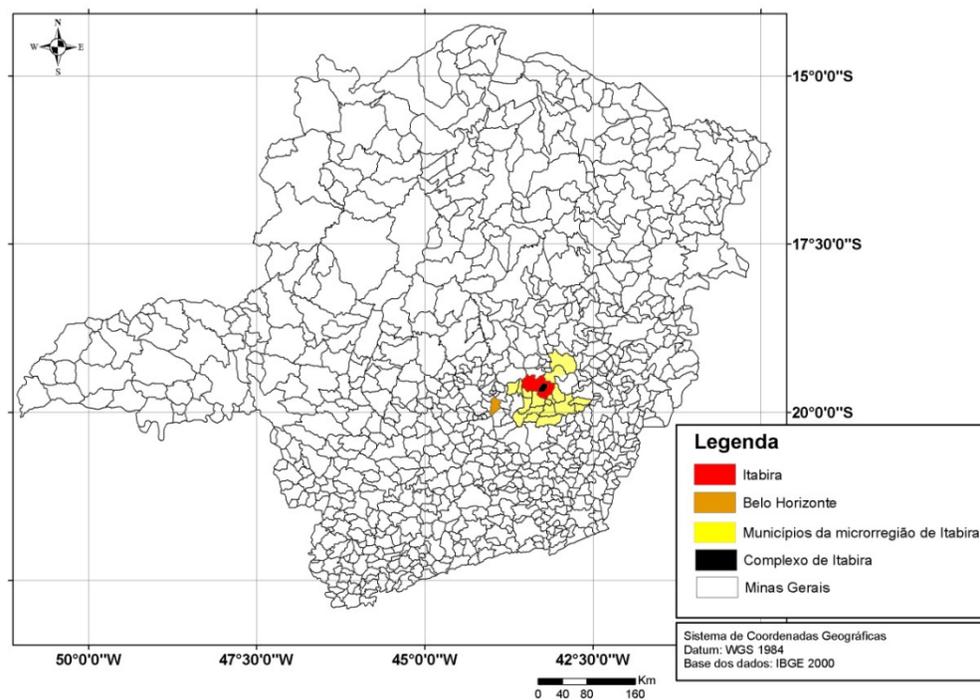
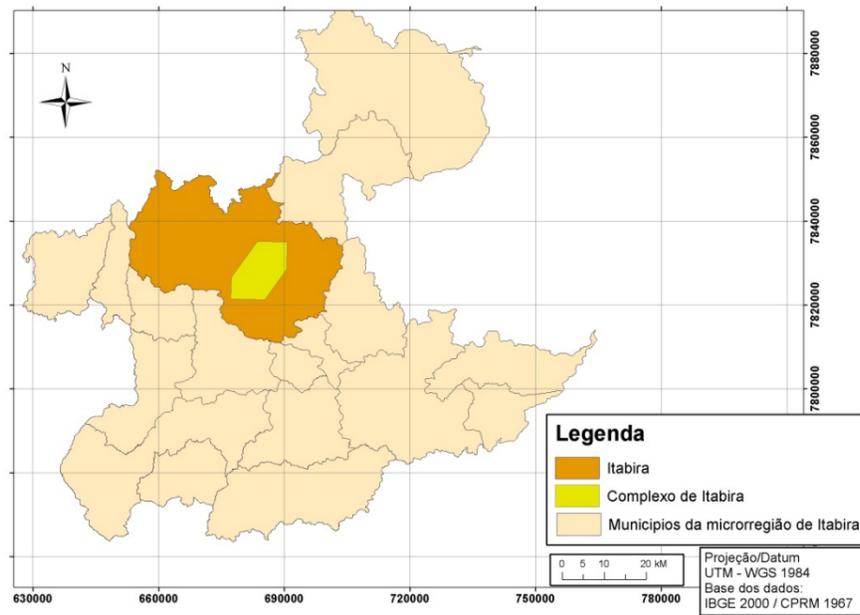


FIGURA 1.1 – Localização da área investigada. **A:** Localização do município no Estado de Minas Gerais. **B:** Localização do município de Itabira e do Complexo de Itabira na microrregião de Itabira – MG, geologicamente situados na extremidade nordeste do Quadrilátero Ferrífero. **C:** Imagem orbital da região do Complexo de Itabira; a linha contínua, nessa figura, delimita minas onde são extraídos o minério de ferro; observe a proximidade do complexo a malha urbana de Itabira.

FONTE: ANDRADE, C.F (2012).

O Complexo Itabira está inserido no município de Itabira, localizado a 104 quilômetros da capital do estado de Minas Gerais. O município, pertencente à microrregião de Itabira, é conhecido como “Cidade do Ferro” por ter sido o local de origem da Companhia Vale do Rio Doce, em 1942.

O empreendimento apresenta conjunto de cavas de mineração em lavra a céu aberto, com escavação de materiais estéreis e extração de minério de ferro: mina Conceição, minas do Meio (Esmeril, Dois Córregos, Periquito, Onça e Chacrinha) e mina Cauê. Nota-se na figura 1.1 que a malha urbana está próxima às minas, diferentemente de áreas onde a extração ocorre distante do perímetro urbano.

1.3 AS QUESTÕES DISCUTIDAS

Esta pesquisa parte do princípio que a atividade de mineração de ferro a céu aberto com longo histórico de exploração, a exemplo daquela verificada no Complexo Itabira (MG), é capaz de alterar e até mesmo inverter processos e feições do relevo na escala do tempo histórico-humano.

A proposta desse estudo encontra motivação em questões relevantes, como discriminadas a seguir:

- Como a atividade minerária, a exemplo daquelas desenvolvidas no Complexo Itabira, interfere na dinâmica das encostas e taludes e nos processos geomorfológicos?
- Como a extração do minério de ferro no Complexo Itabira interfere na dinâmica do sistema fluvial na área minerada e para além dela?
- Como o sistema fluvial reage à carga sedimentar para ele transferida durante e após a extração do minério de ferro?

1.4 OBJETIVOS

Nesse contexto, o objetivo geral desta tese é analisar a interferência da ação humana no relevo e no sistema fluvial naquelas áreas submetidas à exploração do minério de ferro ao longo do tempo, tendo como estudo de caso o Complexo Itabira. Quanto aos objetivos específicos, destacam-se:

- Reconhecer, caracterizar e analisar as feições morfológicas de derivação antropogênica presentes naquelas áreas de extração de minério de ferro no Complexo Itabira;
- Caracterizar a dinâmica fluvial naquelas áreas de mineração de ferro a céu aberto no Complexo Itabira;
- Caracterizar a carga de material depositada pós-extração do minério de ferro ao longo do tempo histórico-humano no Complexo Itabira.
- Analisar a legislação minerária e ambiental na exploração do minério de ferro como instrumento para mitigar os danos/impactos ambientais por ela instalados.

2 CARACTERIZAÇÃO DO QUADRO AMBIENTAL ATUAL DA ÁREA INVESTIGADA

2.1 ARCABOUÇO GEOLÓGICO

O Complexo Itabira está localizada a nordeste do Quadrilátero Ferrífero. Essa unidade geológica engloba uma extensão de aproximadamente 7.000 km², cujos vértices estão localizados em Belo Horizonte, Santa Bárbara, Mariana, Congonhas do Campo e inseridos no limite meridional do Cráton do São Francisco (Figura 2.1).

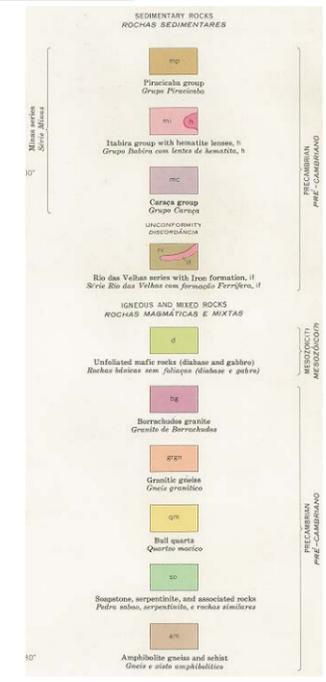
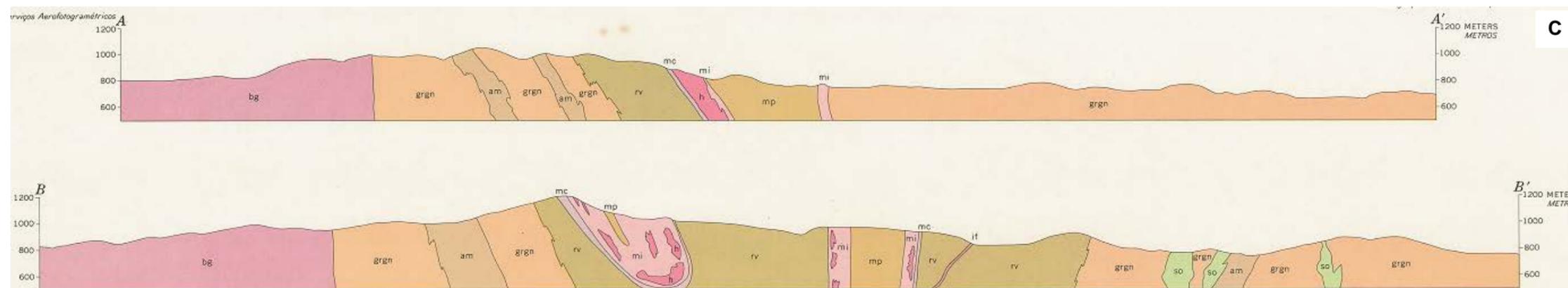
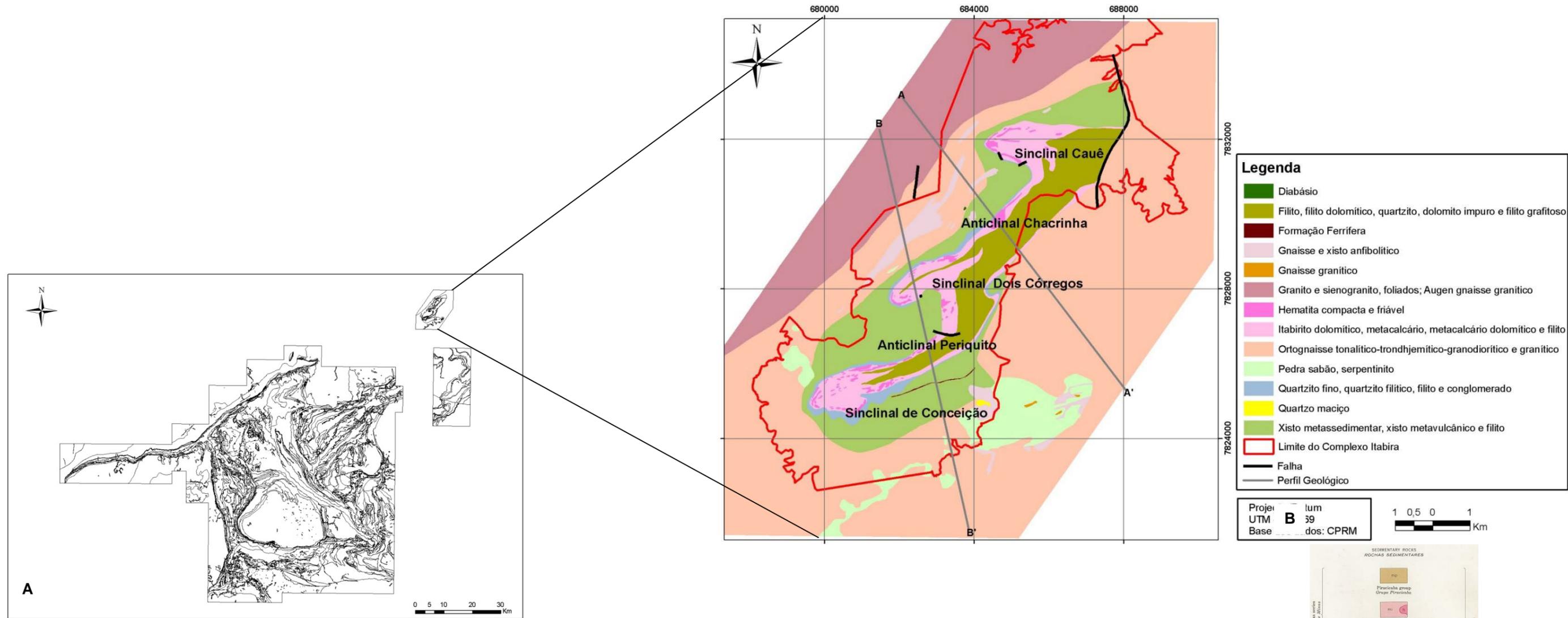


FIGURA 2.1 – **A:** Quadrilátero Ferrífero. **B:** Esboço geológico simplificado do Grupo Itabira de 1967, na região do Complexo Itabira (MG). Nota-se que a presença da formação ferrífera encontra-se nos sinclinais existentes na região. Fonte: CPRM – Projeto de Geologia do Quadrilátero Ferrífero, REIS (2005). Elaboração: ANDRADE, C.F. **C:** Perfil geológico do distrito de Itabira. FONTE: Carta topográfica de 1946 – DNPM.

O Quadrilátero Ferrífero é compreendido por quatro grandes unidades litoestratigráficas: Embasamento Cristalino, Supergrupo Rio das Velhas, Supergrupo Minas e o Grupo Itacolomi. Cada unidade representa um estágio evolutivo que se iniciou com a formação de uma bacia sedimentar, seguida de orogênese, formação de cadeia montanhosa e, por fim, o aplainamento do relevo devido à erosão, sendo que, a partir daí, sucedem novos ciclos que envolvem as mesmas etapas (UHLEIN; OLIVEIRA, 2000).

A área de estudo está inserida no Supergrupo Minas, no Grupo Itabira, Formação Cauê, e o Grupo Piracicaba (Figura 2.2). O Supergrupo Minas é formado por espessos pacotes de rochas metassedimentares de idade Proterozóico Inferior, com idades que variam entre 2,5 e 1,8 bilhões de anos, que repousam em nítida discordância erosiva e angular sobre as rochas do Embasamento Cristalino ou do Supergrupo Rio das Velhas (DORR II, 1969; ALKMIM; MARSHAK, 1998). O Grupo Itabira encontra-se depositado sobre o Grupo Caraça, sendo constituído basicamente por metassedimentos químicos (BARBOSA; RODRIGUES, 1967; DORR *et al.*, 1957), com uma idade estimada de 2,58 bilhões de anos (RENGER *et al.*, 1994).

Segundo Dorr II (1969), o Grupo Itabira pode ser dividido, da base para o topo, em Formação Cauê e Formação Gandarela. A Formação Cauê apresenta como rochas típicas o itabirito, itabirito dolomítico e itabirito anfibolítico, onde são encontrados os maiores depósitos de minério de ferro do Quadrilátero Ferrífero. Conforme Cristofolletti e Tavares (1976), em geral, os terrenos do Grupo Itabira aparecem capeados por carapaças ferruginosas, denominadas de cangas (Figura 2.1).

O Grupo Piracicaba encontra-se depositado sobre o Grupo Itabira e foi descrito ocupando a parte central do Sinclínio de Itabira e é constituído por: quartzitos, quartzitos ferruginosos, quartzitos sericíticos, filitos e filitos hematíticos (GALBIATTI, 2006).

Em decorrência de repetidas deformações tectônicas ocorridas na região, hoje, registra-se significativo espessamento da formação ferrífera, de até 500 metros, causado por falhas de cavalgamento. Esse fato justifica, em parte, o destaque da região de Itabira como importante área de extração de minério de ferro no Brasil

(UHLEIN e OLIVEIRA, 2000; BARBOSA e RODRIGUES, 1967; ENDO *et al.*, 1990; MELO *et al.*, 1982; BARBOSA, 1985).

As rochas apresentam grau metamórfico nas fácies xisto verde e o padrão grosseiramente quadrangular das serras que delimitam a região resulta de uma complexa história deformacional. Essas serras correspondem às abas dos anticlinais e sinclinais invertidos, constituídos por metassedimentos, e que, topograficamente, encontram-se fortemente realçados das terras baixas adjacentes, constituídos por gnaisses migmatíticos (VARAJÃO, 1991). A inversão dessas grandes estruturas dobradas, isto é, as anticlinas foram desmontadas e as sinclinais estão elevadas, permitiu, na configuração geomorfológica, que no interior e nas abas sinclinais algumas das mais antigas superfícies de erosão pudessem ser conservadas até hoje. Uma grande extensão de cristas ferruginosas (cerca de 100 km²) protegeu e preservou parte dessas superfícies (BARBOSA, 1980). Assim, a região do Complexo Itabira é denominado de Sinclinório de Itabira, formado pelas sinclinais Cauê, Dois Córregos e Conceição, e pelas anticlinais Chacrinha e Periquito (Figura 2.1). A diferença entre esses dois grandes conjuntos litológicos é erosional, estrutural e, também, por grau metamórfico (ENDO *et al.*, 1990; MELO *et al.*, 1982; BARBOSA, 1985).

2.2 CONFIGURAÇÃO GEOMORFOLÓGICA

De acordo com Varajão (1991), o Quadrilátero Ferrífero se caracteriza como uma área conspícua, apresentando exemplos didáticos de geomorfologia estrutural, erosão diferencial e superfícies de erosão. O Grupo Itabira, constituído por rochas do tipo itabiritos, é mais resistente permanecendo como cristas, apresentando os relevos mais altos. Essa configuração permite a formação de linhas de cristas de cumeadas que estão associados a processos estruturais de elaboração do relevo, tais como: as falhas normais e de empurrão e os fatores litológicos (SALGADO, 2006; RADAMBRASIL, 1983).

Conforme Silva (2007), o município de Itabira é compreendido pela unidade de paisagem serrana, representado pelas principais serras e morros que delimitam a região, além de arcabouços residuais que se manifestam na porção central e em algumas áreas do entorno, como a Serra de Cauê. Porém, a intensa exploração mineral é responsável pela descaracterização da serra.

A unidade serrana foi dividida em duas subunidades: Escarpamentos e Cristas e os Morros ou Superfícies Fortemente Onduladas. O Escarpamentos e Cristas, aparecem representados pela extensa faixa de cristas e paredões, que se estende nos contrafortes das principais serras da região, cujo predomínio está associado aos vértices das superfícies topograficamente elevadas que demarcam os limites do Quadrilátero Ferrífero com as áreas adjacentes. O terreno possui aspecto irregular, devido à resistência erosiva dos quartzitos e itabiritos, associada à atuação de processos tectônicos. Desta forma, há predominância de elevações alongadas com vertentes acentuadas, sendo as feições mais marcantes os paredões rochosos e os topos de cristas, geralmente, orientados de forma irregular (SILVA, 2007).

Os Morros e Superfícies Fortemente Onduladas apresentam-se como conjunto de morros que, geralmente, acompanham as principais elevações da região ou as superfícies residuais, que se manifestam ao longo do Vale do Rio das Velhas e nos limites regionais da porção nordeste. A litologia é composta, basicamente, por xistos, quartzitos e filitos do Supergrupo Rio das Velhas e dolomitos da Formação Gandarela, Supergrupo Minas. Os xistos, quartzitos e filitos sustentam uma parcela significativa dos morros que se destacam como de degrau intermediário que acompanha as principais serras da região, onde são encontradas importantes reservas de ouro e de pedra sabão. Os dolomitos aparecem, em associação com outras litologias, sustentando algumas elevações da porção nordeste do Quadrilátero Ferrífero, em especial, as serras do Tamanduá, Gandarela e do Gongo Soco, que se destacam devido a grande concentração de ocorrências do minério de ferro e bauxita (SILVA, 2007).

Nesse contexto, a área investigada configura-se, regionalmente, como um extenso maciço residual por estar isolado daquelas estruturas do Supergrupo Minas presentes no Quadrilátero Ferrífero, uma vez que o Complexo Itabira é circundado por rochas do embasamento granito-gnáissico. Esse maciço apresenta uma linha de crista residual que contém os picos mais elevados do conjunto (Figura 2.2): Pico da Conceição (1.353 metros de altitude); Pico Dois Córregos (1.250 metros); Pico do Cauê (1.372 metros) (ENDO *et al.*, 1990; MELO *et al.*, 1982; BARBOSA, 1985).

A área de estudo apresenta relevo fortemente ondulado, caracterizado por picos e serra residual, com elevações acima de 1.000m e declividade altas, acima de 45° onde a exploração do minério de ferro ocorre (Figuras 2.2 e 2.3).

Conforme Medina *et al.* (2005), as vertentes nessa região adquirem forma retilínea nas escarpas ou levemente convexas a convexo-côncavas sobre os reversos estruturais típicos do Grupo Itabira. É exatamente nas áreas de maior declividade e elevação que se encontram os depósitos de minério de ferro.

Os morros apresentam elevações médias de 1.000m a 900m. Essa unidade é caracterizada por topos arredondados e com declividades médio-alto, entre 30 a 45°. As áreas a jusante do empreendimento apresentam de 800 a 750m caracterizados de médio a baixo declive.

Considerando o mapa de declividade gerado para o ano de 1946, 14,8% (Figura 2.3) da área de estudo encontrava-se na classe 0 a 5° (áreas de baixa declividade), 79,9% da área na classe de 5 a 30° (áreas de média declividade), 4,7% e 0,6%, respectivamente, nas classes 30 a 45° e acima de 45° (áreas de média-alta e alta declividade).

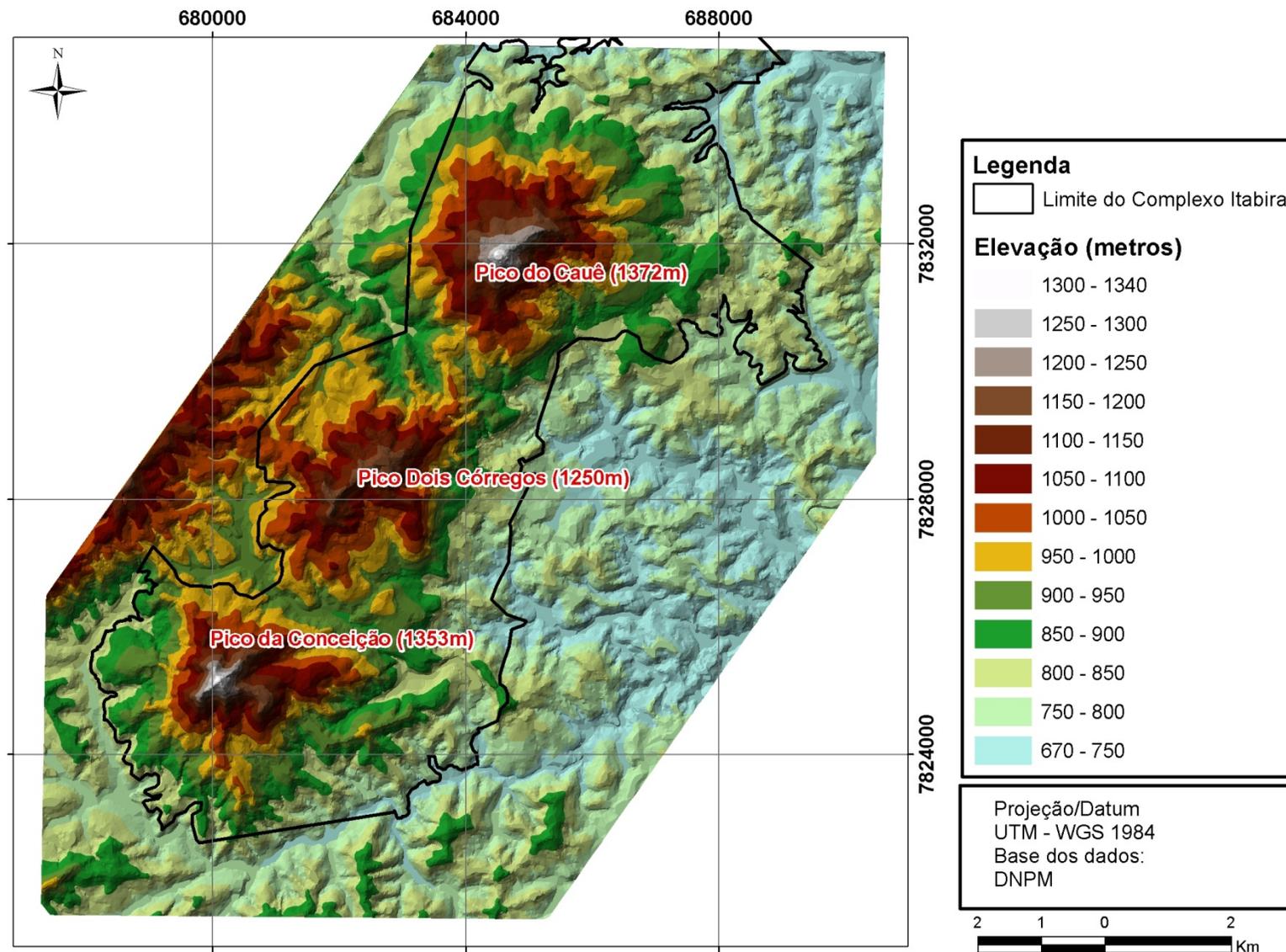


FIGURA 2.2 – Hipsometria da região do Complexo Itabira, mediante as curvas de nível da carta topográfica de 1946. Verifica-se que na linha de crista residual, compreendida pelos picos, iniciou-se a exploração minerária na região.

FONTE: ANDRADE, C.F (2012).

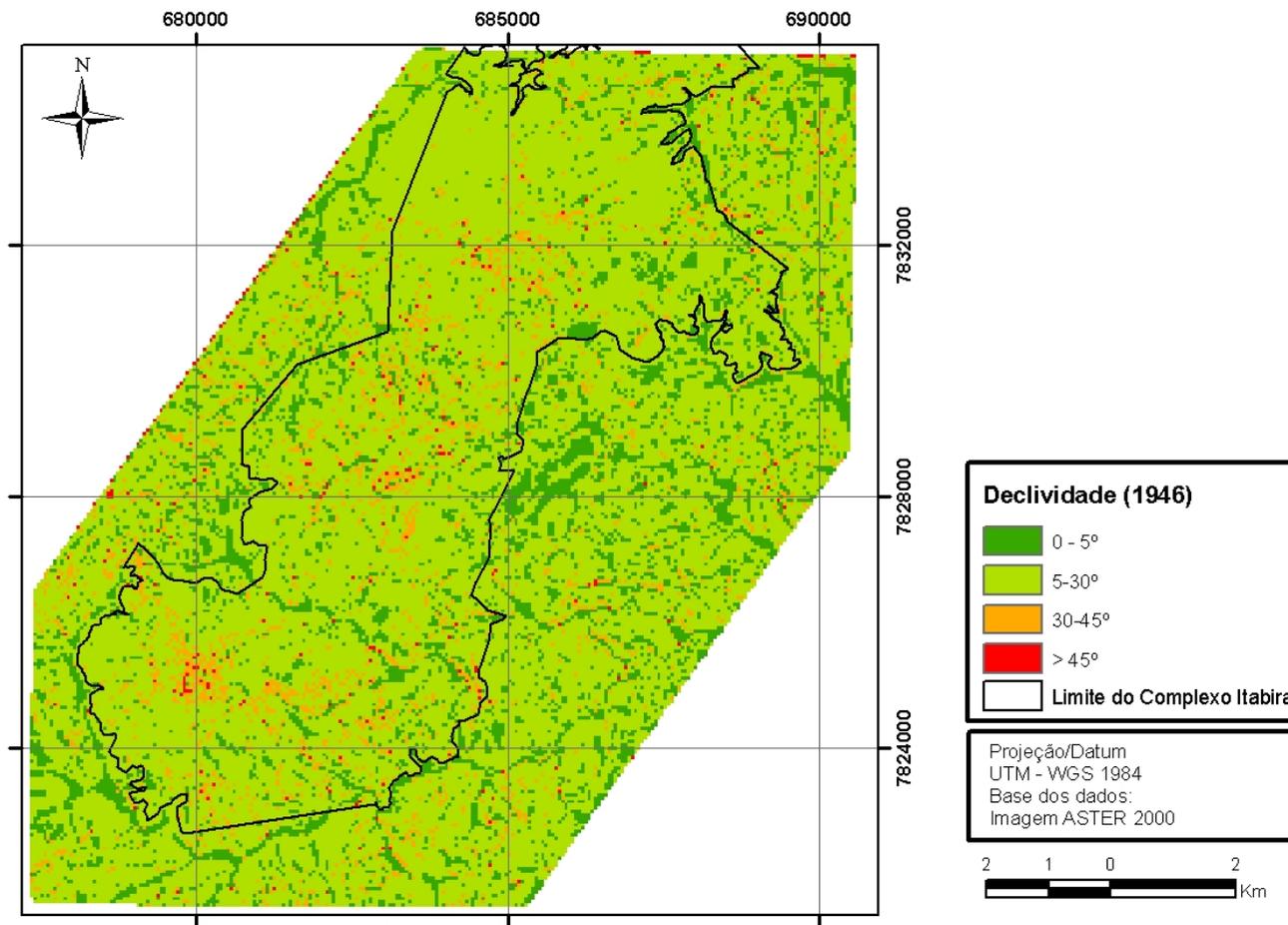


FIGURA 2.3 – Classes de declividade da região do Complexo Itabira, calculadas a partir de carta topográfica de 1946. Observe na região predomínio das médias declividades.

FONTE: ANDRADE, C.F (2012).

2.3 CARACTERIZAÇÃO PEDOLÓGICA

O relevo do Quadrilátero Ferrífero é controlado pela litoestrutura e por processos de erosão diferencial, sendo que as áreas que têm por substrato os quartzitos e itabiritos são muito mais resistentes à erosão do que aquelas moldadas sobre xistos-filitos e granito-gnaisses (VARAJÃO et al., 2009). Nesse contexto, os solos desenvolvidos sobre os itabiritos, *Banded Iron Formations* (BIF), são particulares, em virtude da composição química e mineralógica dessas rochas. Grande parte desses solos são pouco desenvolvidos, sendo classificados como Neossolos Litólicos e Neossolos Regolíticos (SEMAD, 2009). Quando um pouco mais evoluídos – devido à presença de níveis metapelíticos com anfibólio – podem chegar a Cambissolos.

De acordo com os estudos realizados por Varajão *et al.* (2009), essas formações ferríferas são constituídas por bandas ricas em quartzo, alternadas com bandas ricas em óxidos de ferro, hematita, principalmente, e magnetita, subordinadamente. As bandas possuem espessura variável (milimétricas à métricas). Além do caráter bandado, essas rochas podem apresentar aspecto xistoso nas bandas ricas em hematita, devido ao *habitus* tabular e respectiva orientação preferencial deste mineral.

Nesse estudo, Varajão *et al.* (2009) encontrou perfis poucos desenvolvidos, porém, vale ressaltar que no Quadrilátero Ferrífero descobriu-se a ocorrência de solos bem desenvolvidos, a exemplo dos itabiritos do Grupo Itabira. Contudo, geneticamente, estes não foram desenvolvidos a partir do substrato local, e sim sobre materiais coluvionares, oriundos de perfis lateríticos formados *in situ*, mais a montante, a partir desses mesmos substratos rochosos.

2.4 ORGANIZAÇÃO DA REDE HIDROGRÁFICA

A rede hidrográfica do Quadrilátero Ferrífero é representada por duas importantes bacias, denominadas Bacia do Rio São Francisco e Bacia do Rio Doce. A primeira representada pelas bacias do Rio das Velhas e do Rio Paraopeba e, a segunda, pela bacia do Rio Piracicaba, que aparece na porção leste. Os cursos dos rios se encontram bastante influenciados pela estrutura das rochas, desta forma, comumente aparecem vales profundos e encaixados, trechos encachoeirados,

principalmente, na área em que se encontra a bacia do Rio das Velhas, nas porções centro-sul e norte, onde as diferenças de níveis no relevo são mais comuns (BARBOSA; RODRIGUES, 1967).

A cidade de Itabira é cortada pelo córrego Água Santa, afluente do Rio do Peixe (MELO *et al.*, 1984). O município está inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Santo Antônio e na Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba, ambas tributárias da Bacia Hidrográfica do Rio Doce.

O Complexo Itabira está inserido ao sul pela sub-bacia do Rio do Peixe e ao norte pela sub-bacia do Rio Jirau (Figura 2.4). Os vales da região são profundos, com predomínio de perfis em “V”, e denotam gradiente de drenagem elevado.

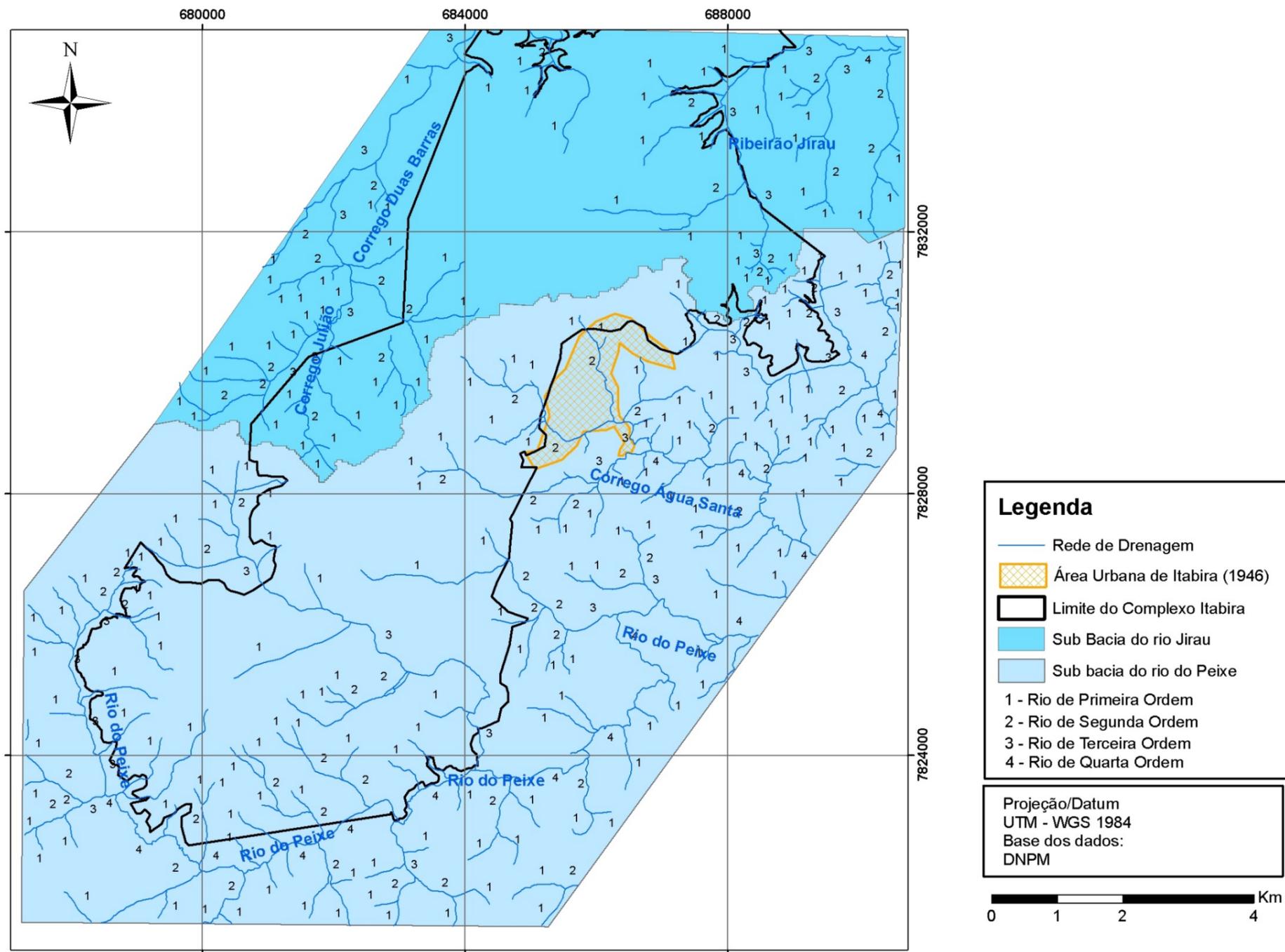


FIGURA 2.4 – Organização espacial da rede de drenagem na região do Complexo Itabira a partir da digitalização da carta topográfica de 1946.

FONTE: ANDRADE, C.F (2012).

A rede de drenagem compreendida nas sub-bacias Jirau e Peixe apresenta canais retilíneos. A condição básica para a existência de um canal reto está associada a um leito rochoso homogêneo que oferece igualdade de resistência à atuação das águas (CUNHA, 1994). Quanto ao padrão de drenagem, ela apresenta forma retangular. Conforme Cunha (1994) a drenagem retangular está adaptada às condições estruturais e tectônicas que originam confluências em ângulos retos.

Na sub-bacia do rio do Peixe, há uma concentração expressiva de cabeceiras de drenagens e nascentes, situadas altimetricamente entre 1000 a 1200 m. E em relação à hierarquia da rede de drenagem, observa-se que as sub-bacias atingem a quarta ordem.

A Serra do Cauê, constituída pelos Picos Cauê, Dois Córregos e Conceição, caracteriza-se por ser um divisor de águas. As águas que caem sobre o Pico Conceição podem desaguar a leste do rio do Peixe, do Pico Dois Córregos, a leste do Córrego Água Santa e a oeste dos Córregos Jirão e Duas Barras e Pico Cauê ao norte do Ribeirão Jirau.

2.5 CONDIÇÕES CLIMÁTICAS

A área em estudo apresenta comportamento térmico e pluviométrico variado: com precipitações médias anuais de aproximadamente 1350 mm, com temperaturas máximas em torno de 34°C, mínimas de 9°C, e média anual de 22°C. Tal comportamento climático é decorrente do fato de que o relevo da área apresenta-se bastante acidentado e contém elevações altimétricas consideráveis, verificando-se em algumas áreas altos índices pluviométricos e temperaturas amenas. Como também a existência de forte radiação solar, grande variação da temperatura entre o dia e a noite, constante incidência de ventos e tempestades de raios. (DUTRA *et al.*, 2002).

Atrelados às condições fitogeográficas e hidrológicas, o Quadrilátero Ferrífero enquadra-se em dois tipos climáticos: Cwa e Cwb (BARBOSA; RODRIGUES, 1967). Na classificação de Koppen, o Complexo Itabira ocupa região com clima do tipo Cwa ou tropical semiúmido (tropical de altitude). Caracteriza-se pela existência de duas estações: uma seca, correspondente ao outono e inverno, que se estende de abril a setembro, e uma chuvosa, englobando a primavera e o verão, estendendo-se de outubro a março.

2.6 COBERTURA VEGETAL ORIGINAL

Nas regiões de ocorrência do minério de ferro é comum a presença de cristas e porções elevadas do relevo, onde o solo desenvolvido sobre as cangas ferruginosas é muito pobre, sendo escassa a vegetação, muitas vezes representada apenas por musgos. A mata do tipo galeria ocorria no passado, ao longo dos principais leitos de córregos que drenavam a região (BARBOSA; RODRIGUES, 1967; MELO *et al.*, 1984).

O município de Itabira foi, em grande parte, originalmente revestido pela Mata Atlântica. Entretanto, em sua porção oeste – nas encostas da Serra do Espinhaço – ocorre vegetação típica do Cerrado, o que caracteriza esta faixa como uma zona de transição entre esses dois biomas (CARVALHO; BRASIL, 2009).

A cobertura vegetal atual reflete o resultado da atuação humana sobre o meio ambiente, havendo destaque para as áreas em que a cobertura vegetal original foi substituída pelas lavras de mineração, pastagens e pelos reflorestamentos de eucaliptos. Entretanto, também são encontrados importantes remanescentes florestais sobre as encostas de serras devido à dificuldade de acesso e, também, nas diversas unidades de conservação que estão demarcadas na região (SILVA, 2007).

2.7 USO E OCUPAÇÃO DA TERRA

O primeiro núcleo urbano na região do Complexo Itabira foi denominado Itabira do Mato Dentro. Atualmente denominado Itabira, constitui a sede municipal e é o principal núcleo urbano da região, contando em 2010 uma população de 109.783 habitantes, segundo dados censitários do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2010.¹

Economicamente, o município é dependente da atividade de mineração do ferro, que emprega parcela considerável da população de Itabira, em empregos diretos e indiretos. De acordo com o IBGE (2010), se destaca no Produto Interno Bruto (PIB) de 2007 de Itabira o setor industrial com 62,18%. Os setores industriais instalados são aqueles da produção mineral não metalúrgica, alimentar, metalúrgica, de madeira e de comércio. Esse fato explica, em parte, a expansão urbana

¹ Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1/>>. Acesso em: 03/02/2012.

expressiva de Itabira nos últimos 62 anos, tendo em vista a importância da exploração do minério de ferro em sua economia.

A Figura 2.5 mostra os principais tipos de uso e cobertura da terra presentes na área ocupada pelo Complexo Itabira e em seu entorno. Nessa área se verifica uma alteração significativa da superfície decorrente da exploração do minério de ferro. Em vermelho, caracterizado como mineração, são destacadas as cavas e demais componentes que constituem as minas. A área correspondente sem cobertura vegetal, próxima às cavas, são os taludes artificiais para recomposição topográfica.

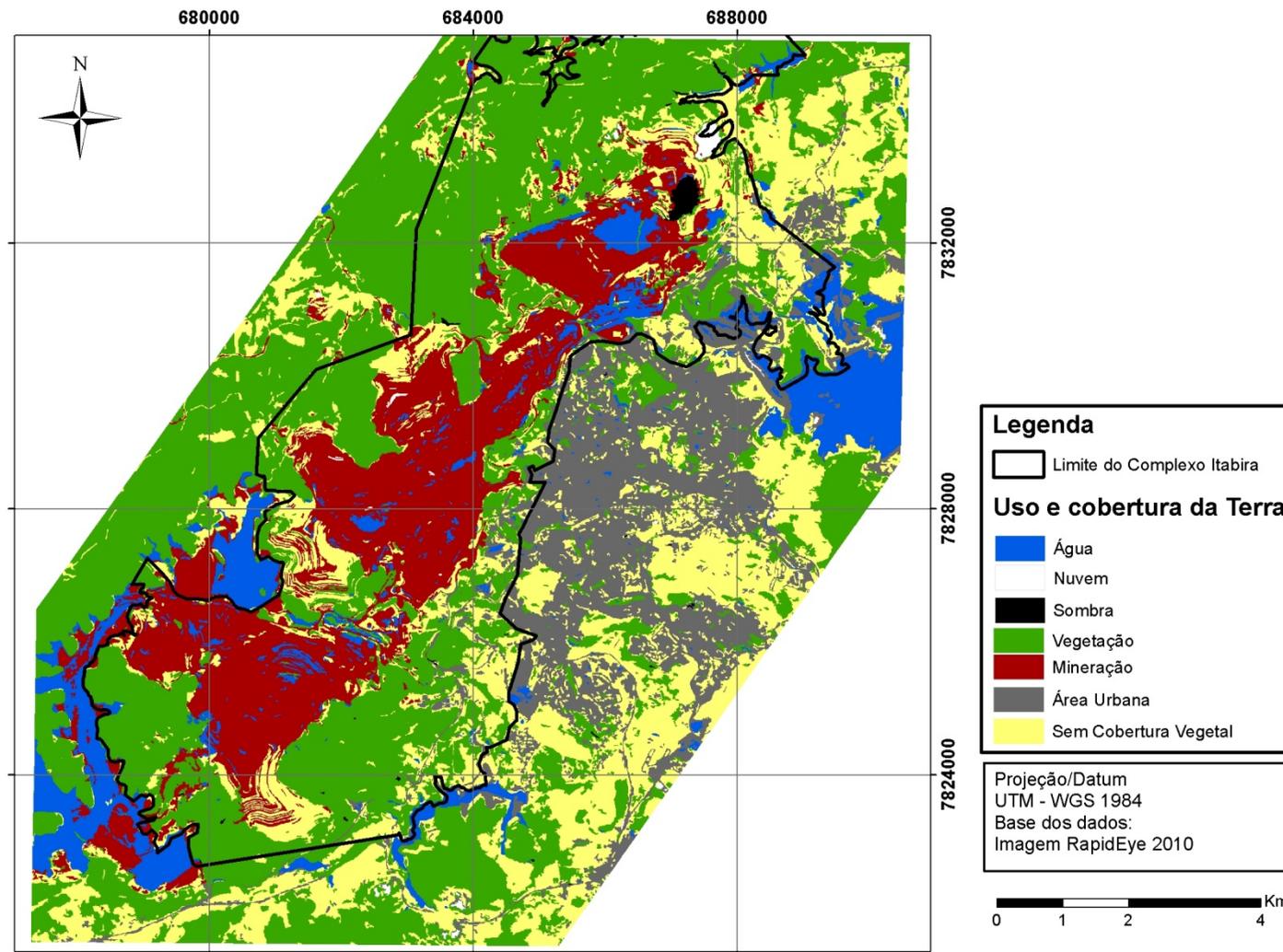


FIGURA 2.5 – Mapa de uso e ocupação do solo da região do Complexo Itabira, obtido por meio de classificação automática da imagem *RapidEye* 2010. A linha contínua retrata a localização do empreendimento com as principais as cavas; observe que a exploração do minério pelo empreendimento, nos últimos 62 anos, desencadeou alterações significantes na superfície.

FONTE: ANDRADE, C.F (2012).

O elemento água inclui barragens de rejeitos, destinadas à contenção de carga sólida e líquida decorrentes do processo de beneficiamento do minério de ferro. No interior da cava do Cauê, a água forma um lago, referente à disposição de rejeito (Figura 2.6).

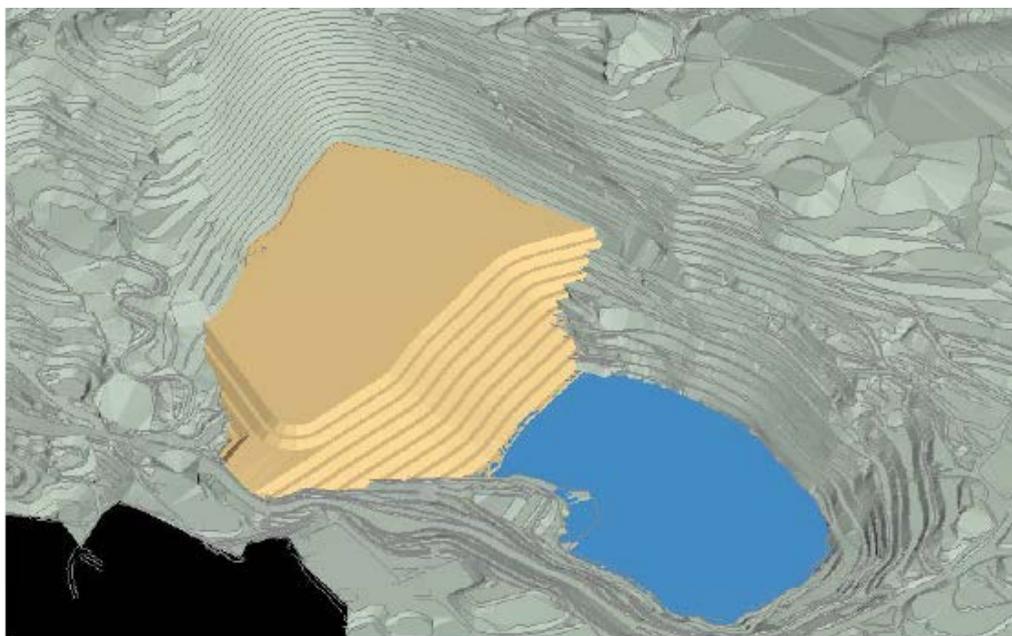


FIGURA 2.6 – Visão parcial da cava final do Cauê com o lago relacionado à disposição de rejeito e a pilha de estéril (em amarelo).

FONTE: GALBIATTI (2006).

Conforme GALBIATTI (2006), do ponto de vista histórico, é interessante observar que, até 1966, a lavra na mina do Cauê não movimentava estéril somente minério hematítico. Outro fato interessante é que somente em 1973 é que se iniciou a movimentação de itabirito com a construção da usina de beneficiamento do Cauê. De 1973 a 1996, as movimentações são sempre crescentes, declinando, a partir de 1996, em função do processo de exaustão da mina.

Com a exaustão da jazida, a cava a céu aberto da mina do Cauê passou a ser uma alternativa para a disposição de estéril e rejeito. Desta forma, a cava volta a ter uso para a continuidade operacional da Unidade Industrial Cauê que envolve o beneficiamento de minério das minas do Meio (Chacrinha e Onça). Atualmente, a cava está dividida em duas partes, uma usada para a disposição de rejeito e a outra usada para a disposição de estéril conforme pode ser visualizado na Figura 2.7.

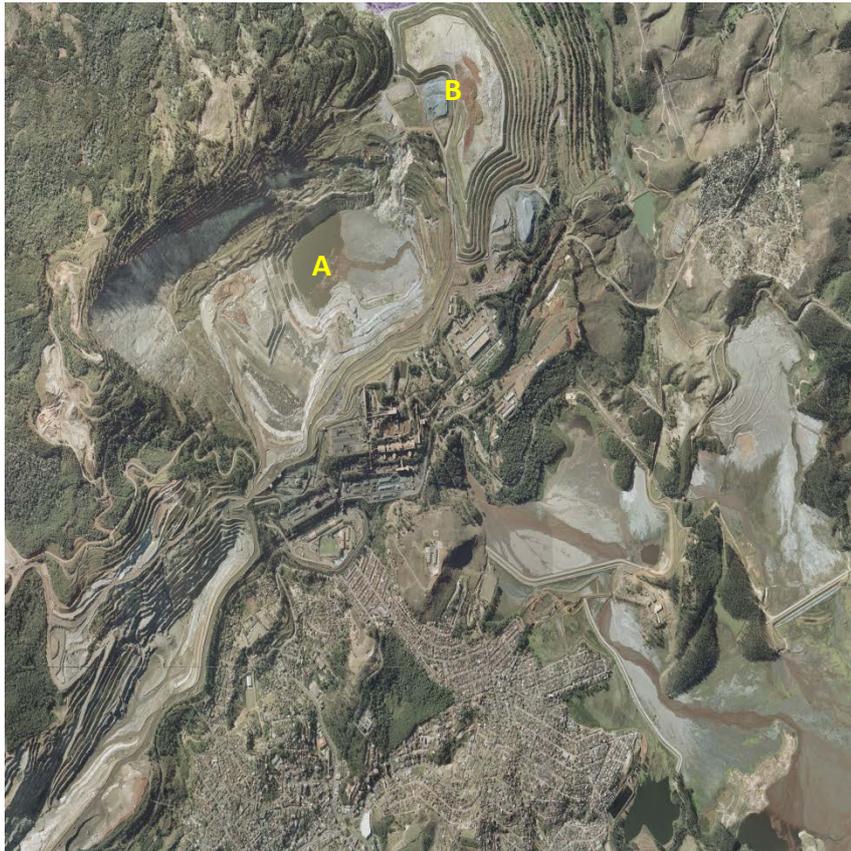


FIGURA 2.7 – Fotografia aérea de 1989, cedida pelo IGA, da mina do Cauê. Observe que há acumulação de rejeito no interior da cava (A); ao norte da mina tem-se a recomposição topográfica caracterizada pela imagem como solo exposto (B).

A rede de drenagem não é visível na área urbana, em consequência da canalização de ribeirões e córregos. Localmente, em alguns trechos da rede hidrográfica, a exemplo do rio do Peixe, foram construídos diques, na formação de barragens de rejeitos minerários (Figura 2.8).

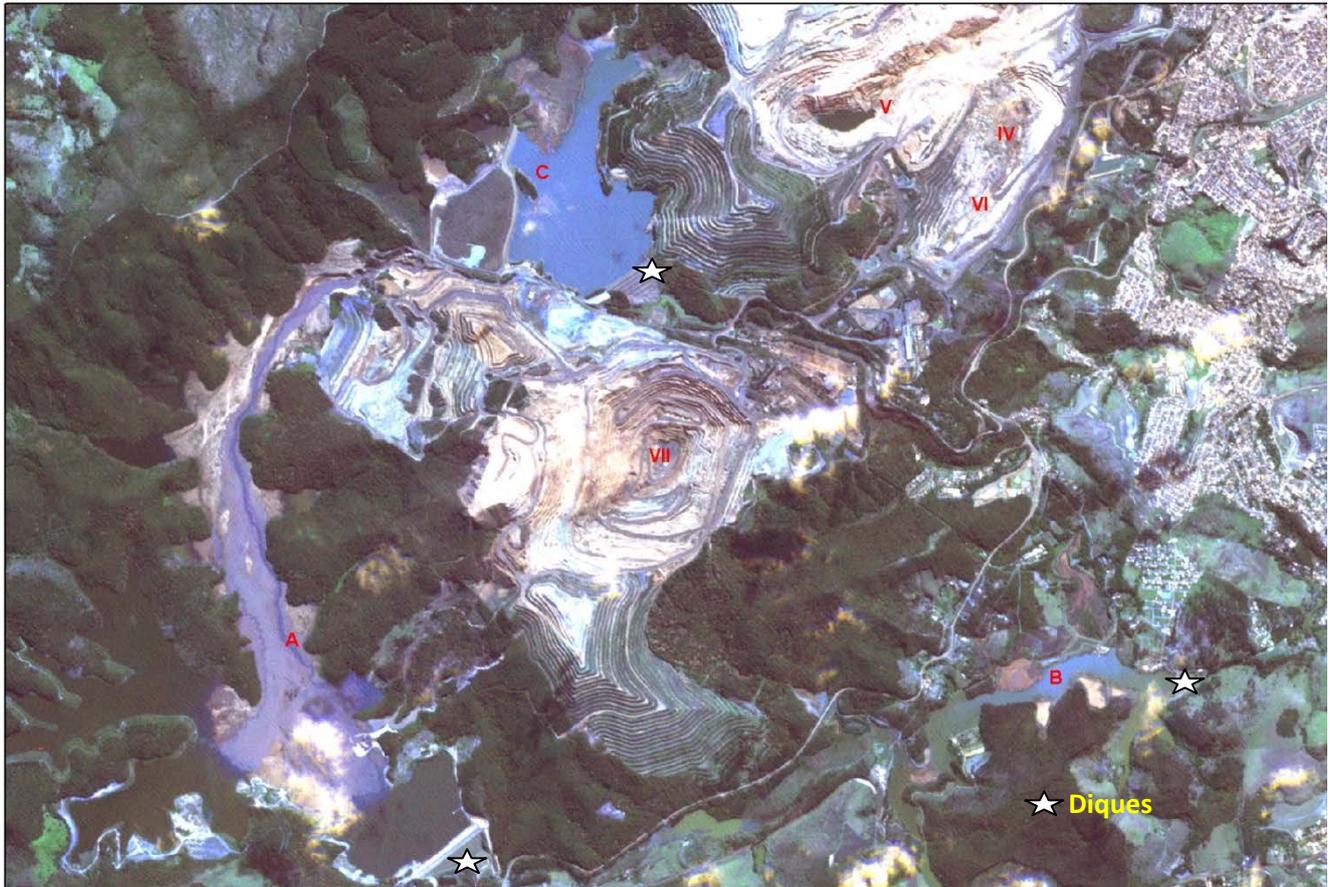


FIGURA 2.8 – Imagem *RapidEye* 2010 do trecho da bacia do rio do Peixe. Observe que esse rio foi, em parte, barrado com vistas à contenção de rejeitos sólidos e líquidos advindos do beneficiamento do minério (A: Barragem de Itabiruçu; B: Barragem do Rio do Peixe; C: Barragem de Conceição; V: Cava de Dois Córregos; VI: Cava de Periquito e VII: Cava de Conceição).

FONTE: *Google Earth*.

Segundo Silva *et al.* (2010), no município de Itabira, além da atividade minerária, encontram-se poucas culturas de subsistência e grande predomínio de pastagem, além de remanescentes florestais nativos.

3 ATIVIDADE MINERÁRIA, IMPACTOS², DANOS³ AMBIENTAIS E LEGISLAÇÃO

3.1 PROCESSO DE EXPLOTAÇÃO DO MINÉRIO⁴

Antes mesmo de iniciar a exploração do minério, o empreendedor realiza estudos voltados para reconhecimento da existência real e potencial do recurso, além de buscar diagnosticar a viabilidade de sua exploração. É essencial, nessa etapa, adequar o empreendimento à legislação ambiental e minerária vigentes. Nesse contexto, Cabral Júnior *et al.* (2005) atribuíram quatro estágios ao desenvolvimento do projeto de mineração:

- ✓ Estágio 1: realização de pesquisas para averiguar se o minério tem viabilidade econômica, ou seja, se pode ser explorado.
- ✓ Estágio 2: após a comprovação quanto a viabilidade econômica, aprofundamento das pesquisas realizadas anteriormente para avaliar a dimensão e qualidade do minério.
- ✓ Estágio 3: Plano de Aproveitamento Econômico (PAE). No plano constam todos os procedimentos a serem realizados na mina:
 - Método de mineração a ser adotado: descrição unitária de lavra (preparação, desenvolvimento, desmonte, transporte e armazenamento de solos, minérios, estéril⁵ e rejeitos⁶);
 - Processo de beneficiamento;
 - Dimensão de equipamento e pessoal;
 - Sistemas de transporte, instalação de energia, abastecimento de água;

² Impacto Ambiental: alteração do meio físico, biótico e antrópico após a instalação do empreendimento.

³ Dano ambiental: impacto ambiental negativo do meio físico, biótico e antrópico causado pelo empreendimento existente.

⁴ Extração de minerais existentes nas rochas e/ou no solo. Disponível em: <<http://www.dnmpm-pe.gov.br/Geologia/Mineracao.php>>. Acesso em: 13/09/2012.

⁵ Estéril: termo usado em geologia econômica para as substâncias minerais que não têm aproveitamento econômico. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAY64AA/mineracao#comments>>. Acesso em: 13/09/2012.

⁶ Rejeito: rochas ou minerais inaproveitáveis presentes no minério e que são separadas deste, total ou parcialmente, durante o beneficiamento. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAY64AA/mineracao#comments>>. Acesso em: 13/09/2012.

- PCIAM: Plano de Controle de Impacto Ambiental na Mineração;
 - PGR: Plano de Gerenciamento de Riscos;
 - PRS: Plano de Resgate e Salvamento;
 - Plano de Fechamento de Mina;
 - PRAD: Plano de Recuperação de Área Degradada;
- ✓ Estágio 4: Realização de estudos ambientais. Como a mineração constitui um empreendimento impactante, ela está sujeita por lei ao processo de licenciamento ambiental e à recuperação da área degradada. Isso implica na obrigatoriedade na execução de estudos ambientais especializados a serem elaborados por equipes multidisciplinares de profissionais legalmente habilitados. Esses estudos têm como objetivo prever os impactos e mitigá-los.

3.1.1 A mineração de ferro a céu aberto

O desenvolvimento de uma mina⁷ compreende um conjunto de operações unitárias, interligadas em sequência temporal, para lavrar e tratar o minério. Este conjunto compõe o Ciclo Básico de Produção (CBP), cujas funções principais são a de se retirar o material da situação original, movimentá-lo na área operacional e adequá-lo ao uso por meio de processos de beneficiamento⁸ (CABRAL JÚNIOR *et al.*, 2005; BOEIRA, 1999).

As minas de minério de ferro são exploradas a céu aberto, por meio da utilização de equipamentos de grande porte – desde a extração do minério até o seu transporte –, emprego de mão de obra e demanda por grandes áreas a serem exploradas. Conforme Koppe (2007), a lavra a céu aberto no Brasil é desenvolvida *essencialmente em encostas, cavas, tiras ou fatias e placers*. O método utilizado

⁷ Mina é a jazida mineral em fase da lavra, abrangendo a própria jazida e a instalação de extração, beneficiamento e apoio. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAY64AA/mineracao#comments>>. Acesso em: 13/09/2012.

⁸ Beneficiamento: processar o minério para atingir as condições físico-químicas, tais como granulometria, forma e concentração de elementos ou minerais úteis, necessárias ao seu aproveitamento direto ou adequadas aos subseqüentes processos de transformação industrial (não necessariamente dentro da área da mina). (LAMOSO, 2001).

para a exploração de minério de ferro no Brasil, especificamente em Minas Gerais, é através da abertura de cavas.

Koppe (2007) explica que as operações unitárias de lavra a céu aberto incluem limpeza, remoção da cobertura, perfuração, detonação, escavação, carregamento e transporte. Considerando-se a diversidade de operações de lavras no Brasil, vários sistemas podem ser empregados nas diferentes operações. Em geral, a descobertura é feita com trator de esteira, carregadeira frontal ou escavadeira e caminhão, seguindo-se a operação de desmonte da rocha, que pode ser mecânica ou utilizar a combinação perfuração/detonação. Na sequência ocorre o carregamento com carregadeiras frontais, escavadeiras ou *shouvels* e transporte por caminhões.

Segundo Chaves (1996), todo o circuito de beneficiamento do minério é constituído por uma sequência de operações unitárias. Assim, são denominadas por serem sempre as mesmas; o que varia é a combinação e a sequência delas com vistas a atender determinado objetivo, ou mesmo para atender às características específicas de um determinado minério. De modo geral, as operações unitárias podem ser esquematicamente agrupadas em:

- Operações de cominuição: sucessivos estágios de britagem e moagem das partículas minerais para colocá-las no tamanho adequado a que se destinam; são sempre auxiliadas por operações de separação de tamanhos, geralmente em peneiras classificadoras, ciclones e/ou outro tipo de separadores de tamanho;
- Operações de concentração: visam separar as partículas não só por diferentes espécies minerais, mas também por distintos níveis de pureza;
- Operações auxiliares: que armazenam e/ou transportam diferentes produtos intermediários entre uma operação unitária e outra, além de permitir a separação da água contida nesses produtos; são classificadas em transporte de sólidos particulados, transporte de sólidos em suspensão de água (em polpa), estocagem e homogeneização em pilhas, estocagem em silos, espessamento, filtragem e secagem.

Conforme Chaves (1996) e Luz *et al.* (2004), o processo produtivo do minério de ferro é constituído por uma sequência de operações unitárias:

- Lavra do minério: que abrange as operações de extração do minério, cominuição e auxiliares;
- Beneficiamento: que corresponde a uma combinação de cominuição, concentração e auxiliares;
- Transporte: que compreende a operação de transporte do minério até a unidade industrial, onde ele será utilizado e processado para agregação de valor;
- Aglomeração: que tem como finalidade agregar valor ao minério de ferro através da criação de características especiais, tornando o produto muito atrativo no processo de fabricação do ferro primário a que são destinados os aglomerados na indústria siderúrgica; compreende os processos de sintetização e/ou pelotização⁹, que geralmente são combinados com operações de cominuição e auxiliares;
- Estocagem e embarque: que integram o processo produtivo de uma parcela significativa das empresas de mineração que exportam seus produtos através do transporte marítimo. Nesse sentido, as operações de estocagem, embarque e portuárias tornam-se parte integrante do processo produtivo de uma parcela significativa das empresas de mineração.

3.1.2 Exploração do minério de ferro no Quadrilátero Ferrífero

Em Minas Gerais, as reservas de minério de ferro se encontram no Quadrilátero Ferrífero, o qual é delimitado por serras: ao norte, as serras do Curral Del-Rei, da Piedade e do Cipó; ao sul, as serras de Ouro Branco e Itatiaias; a leste, pela Serra do Caraça; e, a oeste, pela Serra da Moeda (CARDOSO, s.d.).

As reservas de minério estão presentes, sobretudo, no Supergrupo Minas, mais precisamente no Grupo Itabira. A Formação Cauê é que contém grandes massas de itabirito, onde ocorrem lentes de hematita. Na região do Quadrilátero Ferrífero as rochas ferríferas do Grupo Itabira estão compreendidas entre as linhas determinadas por Belo Horizonte e Caeté ao norte, Brumadinho e Jeceaba a oeste,

⁹ O minério bruto é comercializado na forma de granulado. O beneficiamento pode ser como *pellets*, *sinterfeede sinter*. A classificação varia de acordo com o diâmetro. São pelotas que variam de acordo com sua granulometria e são fabricadas com minério moído, acrescidas de elementos que oferecem qualidades diferenciadas a ação, atendendo as especificações das usinas siderúrgicas (LAMOSO, 2001).

Congonhas e Ouro Preto ao sul, Mariana e Barão de Cocais a leste. No nordeste do Quadrilátero Ferrífero, no município de Itabira, ainda reaparecem as formações ferríferas do Grupo Itabira– nas quais se incluem aquelas de interesse deste trabalho. (SANTOS, 1973).

De acordo com Barbosa (1960), as reservas do Quadrilátero Ferrífero de interesse econômico para o uso siderúrgico são hematita, itabirito e canga. A hematita tem teor de ferro acima de 66%; o itabirito – rocha rica em hematita – é bastante silicoso, devendo ser concentrado para se obter alto teor de ferro, de 64 a 68%. A canga apresenta cobre em grandes extensões do Quadrilátero Ferrífero, com espessuras variáveis.

De acordo com Suszczyński (1975), o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), em 1972, realizou estudos para diagnosticar o quanto de reserva mineral havia no Quadrilátero Ferrífero. Os resultados desses estudos diagnosticaram quarenta “corpos de minério” individualizados, todos eles economicamente susceptíveis de exploração e assim distribuídos: onze são maiores que 100 milhões de toneladas; vinte e dois com reservas entre 10 e 100 milhões de toneladas; sete são menores que 10 milhões de toneladas. Entre aqueles de maior volume, dois deles apresentam reservas superiores a 400 milhões de toneladas. Os corpos mineralizados apresentam de 200 a 250 m de espessura, largura de até 600 m e comprimento de 2.200 a 3.000 m; entre esses se destacam aquele da mina de Conceição, no Complexo Itabira. Em termos de reservas medidas¹⁰, a cifra atinge 9,97 bilhões de toneladas de minérios.

Atualmente, esses valores foram ultrapassados em razão da descoberta de novas reservas, levadas a termo graças ao emprego de tecnologias que auxiliam no mapeamento e reconhecimento de novos corpos de minério.

3.2 IMPACTOS E DANOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS À ATIVIDADE MINERÁRIA

A Resolução do CONAMA (23/01/1986) definiu o termo impacto ambiental como “qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das

¹⁰ Reserva medida: é aquela que foi cubada mediante pesquisas detalhadas. Cubada porque permite avaliar com certa precisão seu volume, inclusive descontando as erosões e falhas ocorridas no corpo mineral (LAMOSO, 2001).

atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetem: (I) a saúde, a segurança e o bem estar da população; (II) as atividades sociais e econômicas; (III) a biota; (IV) as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; (V) a qualidade dos recursos¹¹”. Nota-se que os impactos ambientais estão relacionados às ações antrópicas e aos efeitos dessas para si próprio.

A definição de meio ambiente, proposta pela Lei Federal 6.938, abarca os meios físicos, biótico e antrópico. Conseqüentemente, a previsão dos impactos ambientais associados à atividade minerária são estudados nesses três meios, seja nas suas fases de implantação e de funcionamento, ou naquela voltada para a desativação do empreendimento. Esse estudo, ou seja, Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), exigido por lei, não visa somente prever os impactos, mas também propor medidas mitigadoras e o constante monitoramento das atividades realizadas com o objetivo de se assegurar a qualidade ambiental.

O meio ambiente em si, entendido como recurso básico para toda e qualquer atividade humana, é fator determinante que qualifica e pondera a importância das atividades de mineração. O grau de interferência, que pode atingir um nível altamente nefasto, depende das características específicas dessas atividades, bem como dos vários aspectos do meio ambiente (FORNASARI FILHO *et al.*, 1992). Os empreendimentos minerários comumente promovem desmatamento, alterações topográficas (escavações de terras em grande extensão e em profundidade), poluição do ar, redução de espécies nativas (fauna e flora), como também se revela na condição de grande produtor de rejeitos e efluentes, lançados sobre encostas e rios (ANDRADE, 1989; KOPPE, 2007; SCILIAR, 1996; CHIOSSI, 1984; IBRAM, 1992).

Com a mineração de ferro tem-se a alteração dos cursos d'água e o assoreamento. Em decorrência dos reagentes, usados na exploração do minério, como os de flotação, os rejeitos das minerações muitas vezes acabam sendo desaguados diretamente em corpos hídricos e no solo (KOPEZINSKI, 2000). Um dos principais impactos decorrente da exploração do minério de ferro em Minas Gerais, nos âmbitos físico e biótico, está associado às antigas barragens de

¹¹ Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8902>. Acesso em: 26/10/2011.

retenção que, antes da implantação das normatizações legais atualmente em vigor, não eram objeto de fiscalização por parte dos órgãos ambientais, como também nem sempre dispunham de estrutura adequada aos condicionantes do quadro ambiental em que foram instaladas. Essas deficiências têm resultado na ruptura ocasional de muitas dessas barragens, por vezes contaminando as águas superficiais e o solo. Nesse contexto, conclui-se que é inegável o impacto ambiental negativo decorrente da atividade mineradora.

Segundo Tonidandel (2011), diante das repercussões sociais e ambientais de acidentes ambientais de grande magnitude, e por ser o estado de Minas Gerais um território onde a atividade mineradora constitui base econômica fundamental, a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD), por meio da Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), iniciou em 2001, amplo processo de debate sobre a gestão de barragens de rejeitos e resíduos em indústrias e minerações, com a participação de empreendedores, consultores de notório saber e representantes da sociedade e de diversas entidades que atuam na área ambiental. Essa discussão culminou com a aprovação, em 2002, da Deliberação Normativa (DN COPAM) nº 62, o primeiro marco na legislação ambiental estadual sobre o Programa de Gestão de Barragens. O objetivo principal dessa Deliberação Normativa foi mapear as barragens existentes no estado e classificá-las quanto ao Potencial de Dano Ambiental em Alto, Médio ou Baixo.

As DN COPAM nº 062/2002 (MINAS GERAIS, 2002) e 87/2005 (MINAS GERAIS, 2005) definem dois critérios técnicos e três critérios ambientais para a classificação quanto ao potencial ao dano ambiental de barragens de retenção de rejeitos:

- a) Altura da barragem - H;
- b) Volume do reservatório - Vr;
- c) Ocupação humana a jusante da barragem;
- d) Interesse ambiental a jusante da barragem;
- e) Instalações na área a jusante.

Cada um desses critérios recebe uma pontuação (V) que varia de zero a quatro, dependendo das características da barragem, conforme apresentado na tabela 3.1.

TABELA 3.1 CRITÉRIOS PARA CLASSIFICAÇÃO DAS BARRAGENS

Altura da barragem-H (m)	Volume do reservatório Vr (x106 m3)	Ocupação humana a jusante	Interesse ambiental a jusante	Instalações na área de jusante
H < 15	Vr < 0,5	Inexistente	Pouco significativo	Inexistente
V=0	V=0	V=0	V=0	V=0
15 ≤ H ≤ 30	0,5 ≤ Vr ≤ 5,0	Eventual	Significativo	Baixa concentração
V=1	V=1	V=2	V=1	V=1
H > 30	Vr > 5,0	Existente	Elevado	Alta concentração
V=2	V=2	V=3	V=3	V=2
-	-	Grande	-	-
		V=4		

FONTE: Deliberação Normativa COPAM nº 87/2005.

Considerando-se o somatório dos valores (V) dos parâmetros de classificação da tabela 3.1, as barragens são classificadas quanto ao potencial de dano ambiental em três categorias:

- a) Baixo potencial de dano ambiental: classe I, quando o somatório dos valores for menor ou igual a dois ($V \leq 2$);
- b) Médio potencial de dano ambiental: classe II, quando o somatório dos valores for maior que dois e menor ou igual a cinco ($2 < V \leq 5$);
- c) Alto potencial de dano ambiental: classe III, quando o somatório dos valores for maior que cinco ($V > 5$).

A auditoria de segurança objetiva reduzir a probabilidade da ocorrência de acidentes, a partir do monitoramento sistemático da estrutura, devendo ser realizada por especialista de segurança de barragens, externo ao quadro de funcionários da

empresa. Os proprietários dos empreendimentos são responsáveis pela manutenção das condições de segurança da estrutura, com a corresponsabilidade do auditor. Cabe à FEAM efetuar as fiscalizações nos empreendimentos para verificar o cumprimento das recomendações apontadas pelo auditor, de forma a manter as barragens operando em nível de segurança adequado (TONIDANDEL, 2011).

No meio antrópico o impacto ambiental negativo, de acordo com o Boletim Informativo do DNPM (2005), está diretamente relacionado ao número de pessoas afetadas por este, ou seja, quanto mais próximo o empreendimento encontra-se em relação à população, mais afetada esta será. Diante dos transtornos têm-se custos adicionais à sua atividade operacional em função dos ruídos e vibrações gerados pelas detonações e pelos diversos graus de interferências, em decorrência dos diversos usos do solo urbano.

No que diz respeito aos aspectos socioeconômicos, os impactos positivos – tais como criação de empregos, circulação de riquezas, incremento do comércio e serviços, fortalecimento do setor público através da arrecadação de impostos –, permitem constatar que a atitude do público é condicionada, em parte, pela condição econômica da região e pela natureza desta comunidade (DNPM, 2005).

De acordo com Andrade (1989), o grande problema não é explorar, mas explorar racionalmente, levando em conta tanto os interesses nacionais como os interesses diretos da população. Já Enríquez (2008) levanta o questionamento sobre como será o desenvolvimento socioeconômico da área explorada quando o minério esgotar.

Porém, o grande problema encontra-se naqueles empreendimentos minerários já existentes antes mesmo de entrar em vigor a atual legislação ambiental. As antigas minas apresentam danos ambientais significantes como, por exemplo, um número expressivo de barragens de rejeitos, espessos e amplos depósitos antropogênicos a jusante das minas e a presença de imensas cavas desativadas, conjunto esse que retrata longos anos de exploração sem maiores preocupações do ponto de vista ambiental.

Um exemplo evidente de danos ambientais é aquele verificado no Complexo Itabira. A Vale, em 1997, chegou a indenizar a cidade de Itabira pelos danos causados até então, com o objetivo de obter sua Licença de Operação de Natureza

Corretiva (LOC). Os condicionantes exigidos pela comunidade são originários dos passivos ambientais (ENRÍQUEZ, 2008):

1. nas águas subterrâneas: muitas nascentes foram destruídas pela atividade de mineração e atualmente o município sofre com problemas de escassez de água. A questão hídrica é apontada como uma das razões de o município não ter conseguido verticalizar sua produção para indústria siderúrgica;
2. na poluição atmosférica: mitigada pela empresa e monitorada simultaneamente por ela e pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente, em pontos selecionados do município; e
3. na poluição de córregos: córrego Conceição e sub-bacia do rio do Peixe, além das graves questões sociais.

A atividade minerária causa impactos ambientais significantes tanto positivos – emprego, arrecadação de imposto - ou negativos, atingindo áreas em escalas regionais e afetando municípios não minerados localizados em seu entorno. Os empreendimentos que surgiram antes de vigorar a legislação ambiental vigente buscam minimizar os danos, comumente por meio do emprego de novas tecnologias. Essa minimização cumpre meta fundamental para a obtenção de certificações ambientais, muitas vezes exigidas no momento de se atender ao mercado exterior. Porém, empreendimentos com longo histórico de exploração, como a área investigada neste trabalho – o Complexo Itabira, também intitulado Distrito Ferrífero de Itabira por Melo *et al.* (1884), Silva (2002) e Enríquez (2008), caracterizam-se pela ocorrência de expressivos danos ambientais no meio físico, biótico e antrópico. Todavia, esses empreendimentos vêm, recentemente, colocando em prática medidas mitigadoras em razão de adequações exigidas pela legislação ambiental contemporânea.

3.3 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL E MINERÁRIA

No Brasil, a legislação minerária é mais antiga que a legislação ambiental. Esse fato está associado à longevidade da exploração minerária no País, a qual vem sendo desenvolvida há mais de três séculos, com destaque para o Estado de Minas Gerais.

A Constituição de 1934 representou um marco para a atividade minerária no Brasil ao abordar um código de mineração considerado bastante avançado para a época, quando foi desvinculado, juridicamente, o solo do subsolo brasileiro. Esse código disciplinou ainda o domínio privado sobre as minas em lavra ou paralisadas e estabeleceu um regime próprio de concessão para o aproveitamento dos recursos minerais. Nessa mesma época foi criado, pelo decreto nº 23.979, de 08 de abril de 1934, o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), inicialmente vinculado ao Ministério da Agricultura, para disciplinar a atividade mineral no País (TONIDANDEL, 2011).

Com o passar dos anos a legislação minerária sofreu alterações. Na Constituição de 1937¹², o Decreto Lei nº 1.985 de 1940 promulgou novo Código de Minas¹³ que, além de manter as principais diretrizes do código de 1934, incorporou os princípios nacionalistas da Constituição de 1937, ou seja, os direitos de pesquisar e lavrar só poderiam ser outorgados a brasileiros, pessoas naturais ou jurídicas, representadas estas últimas por sócios ou acionistas brasileiros.

Outro marco da legislação minerária com atualização do Código de Minas, em 1967¹⁴, bem como o Decreto Lei de 1988 – que explicita a obrigatoriedade do minerador recuperar o ambiente degradado – segundo a solução exigida pelo órgão competente, não deixando recair esse ônus sobre o poder público. Nesse contexto, em 2001, a Portaria nº 237 do DNPM aprova as Normas Reguladoras de Mineração (NRM)¹⁵.

As NRM (2001) objetivam “disciplinar o aproveitamento racional das jazidas, considerando-se as condições técnicas e tecnológicas de operação de segurança e de proteção ao meio ambiente, de forma a tornar o planejamento e o desenvolvimento da atividade minerária compatíveis com a busca permanente da produtividade, da preservação ambiental, da segurança e saúde dos trabalhadores”. Nota-se, nessas normas, clara preocupação com questões ambientais, as quais passam a ser inseridas na legislação minerária. Essas preocupações passam a

¹²Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/1937-1946/Del066.htm>. Acesso em: 26/10/2011.

¹³Disponível em: <<http://www.jusbrasil.com.br/legislacao/111067/codigo-de-minas-de-1940-decreto-lei-1985-40>>. Acesso em: 26/10/2011.

¹⁴Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=67&IDPagina=84&IDLegislacao=4>>. Acesso em: 26/10/2011.

¹⁵ Disponível em: <http://www.dnpm-pe.gov.br/Legisla/nrm_01.htm>. Acesso em: 17/05/ 2010.

vigorar também sobre as concessões de lavra, uma vez que sua deliberação pelo DNPM é expedida depois de observada a legislação ambiental pertinente nos níveis federal, estadual e municipal.

No item 1.5.6.1 das NRM argumenta-se sobre o Plano de Controle de Impacto Ambiental Mineral (PCIAM). Nele devem figurar todas as medidas mitigadoras e de controle dos impactos ambientais decorrentes da atividade minerária, especialmente as de monitoramento e de reabilitação da área minerada e impactada. Este plano é documento obrigatório no Plano de Aproveitamento Econômico (PAE).

A legislação ambiental, diferentemente da legislação minerária, é mais recente. Com a crescente pressão exercida pela ação humana sobre os recursos naturais e, em resposta à repercussão dessa ação para o próprio homem, teve início, na década de 1970, a criação de dispositivos legais que exigem o compromisso com o meio ambiente naqueles empreendimentos potencial impactantes.

Os primeiros dispositivos legais estavam voltados à proteção de áreas naturais, ainda não impactadas, com fins turísticos, conforme a Lei nº 6.513 de 1977. Somente na década de 1980, no Brasil, através da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, foi estabelecida a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) e criado, para a sua execução, o Sistema Nacional do Meio Ambiente. A regulamentação da Lei Federal nº 6.938 somente ocorreu através do Decreto Federal nº 88.351, de 1º de junho de 1983, alterado posteriormente pelo Decreto Federal nº 99.274, de 06 de junho de 1990 (SILVA, 1999). O Decreto instituiu três tipos de licenciamento ambiental¹⁶:

- O Licenciamento Prévio (LP) é concedido na fase preliminar do planejamento da atividade, contendo requisitos básicos a serem atendidos nas fases de localização, instalação e operação, observados os planos municipais, estaduais e federais de uso do solo.

¹⁶ Disponível em: <http://www.itapira.sp.gov.br/agricultura/conselho_defesa_meio_ambiente/legislacao/regulamento.pdf>. Acesso em: 13/04/ 2010.

- O Licenciamento de Instalação (LI) é concedido para autorizar o início da implantação do empreendimento impactante, de acordo com as especificações constantes do Projeto Executivo aprovado.
- O Licenciamento de Operação (LO) é concedido para autorizar, após as verificações necessárias, o início da atividade licenciada e o funcionamento de seus equipamentos de controle de poluição, de acordo como previsto na Licença Prévia e de Instalação. Assim, a função do Licenciamento Ambiental refere-se à necessidade de assegurar que o empreendimento ou atividade possa realizar-se, contribuindo para o desenvolvimento econômico, sem acarretar maiores danos ao meio ambiente (SILVA *et al.*, 2006).

Somente com a edição da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 01, de 23 de janeiro de 1986, e outras resoluções complementares, ficaram estabelecidas as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para o uso e implementação da Avaliação de Impactos Ambientais como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente.

Para aquisição dos licenciamentos, o empreendimento tem que apresentar o Estudo de Impacto Ambiental (EIA). O estudo compreende a caracterização do meio ambiente onde ocorrerá a instalação do empreendimento, como também a análise dos prováveis impactos ambientais nas fases de planejamento, implantação, operação e desativação do empreendimento. A identificação e a quantificação dos impactos devem vir atreladas a uma proposta das medidas mitigadoras que visam minimizar os impactos, conjuntamente com um programa de acompanhamento e monitoramento deles. Para as atividades de mineração, os trabalhos de reabilitação/recomposição devem abranger as áreas de lavra, deposição de estéril, de rejeitos, do empréstimo, de tratamento e de apoio (SILVA, 1999).

O Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) refletirá as conclusões do EIA. As informações técnicas devem ser nele expressas em linguagem clara e simplificada para o público, principalmente a comunidade do qual o empreendimento irá afetar (diretamente ou indiretamente). O emprego dessa linguagem clara e simplificada tem como finalidade permitir que o público compreenda as vantagens e desvantagens da instalação do empreendimento.

Outros documentos para a liberação dos licenciamentos poderão ser exigidos pelo órgão competente. O Relatório de Controle Ambiental (RCA) e seu Plano de Controle Ambiental (PCA), de acordo com a Resolução do CONAMA nº009, de 06 de dezembro de 1990, deverá ser apresentado para a concessão da LI, o qual conterá os projetos executivos de minimização dos impactos ambientais avaliados na fase da LP, e o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), que pode ser tanto um documento para complementar o EIA/RIMA para empreendimentos minerários como também para regularizar a situação de empreendimentos já implantados.

O PRAD deverá apresentar soluções técnicas viáveis para o ambiente impactado, para que a área degradada atinja uma condição de equilíbrio dinâmico com seu entorno. Além disso, deverá propor medidas técnicas que tornem a área degradada apta para algum uso produtivo, não necessariamente idêntico àquele que antecedeu a atividade de mineração (IBAMA, 1990).

De acordo com o manual para elaboração do PRAD do IBAMA, no caso das atividades minerárias, os trabalhos de reabilitação/recuperação¹⁷ devem abranger as áreas de lavra, deposição de estéril, de rejeitos e tratamento do minério. Dividem-se em três fases:

1ª fase: preparo da área a ser minerada

- desvio das águas de superfície da área.
- remoção da cobertura vegetal.
- remoção da camada fértil do solo e estocagem.

2ª fase: desativação da mina

- preenchimento da área lavrada com estéril e/ou rejeito.
- recomposição topográfica: preparo do relevo para receber a vegetação, dando-lhe uma forma adequada e estável.
- recomposição paisagística: paisagem típica da região.

¹⁷Recuperação: restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada a uma condição não degradada, que pode ser diferente de sua condição original; (Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000).

Reabilitação: recomposição de uma área degradada diferente do ecossistema original, voltada à conservação do solo ou da água, mas dirigida a um novo tipo de uso.

3ª fase: tratos da superfície final

- recolocação da camada fértil do solo.
- redução do grau de compactação do solo.
- revegetação.
- controle de voçorocas.

Nota-se que o manual do PRAD proposto pelo IBAMA atende somente o empreendimento minerário, ou seja, a Área Diretamente Afetada (ADA). Conforme o CONAMA nº 01/86, em seu artigo 5º inciso III, para o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e conjuntamente o programa de monitoramento dos impactos ambientais, deve-se “definir os limites da área geográfica a ser direta ou indiretamente afetada pelos impactos, denominada área de influência do projeto, considerando, em todos os casos, a bacia hidrográfica na qual se localiza”. Citando como exemplo o Complexo Itabira, a Área Indiretamente Afetada (AIA), corresponde às sub-bacias do rio do Peixe e Jirau.

Conforme Brum (2000) citado por Oliveira Jr. (1998), as técnicas aplicadas para a recuperação, resumidamente, são:

- áreas lavradas. Algumas das medidas usualmente empregadas são retaludamento, revegetação (com espécies arbóreas nas bermas e herbáceas nos taludes) e instalação de sistemas de drenagem (com canaletas de pé de talude, além de murundus - morrotes feitos manualmente) na crista dos taludes) em frentes de lavra desativadas. A camada de solo superficial orgânico pode ser retirada, estocada e reutilizada para as superfícies lavradas ou de depósitos de estéreis e/ou rejeitos. A camada de solo de alteração pode ser retirada, estocada e reutilizada na construção de diques, aterros, murundus ou leiras de isolamento e barragens de terra, remodelamento de superfícies topográficas e paisagens, contenção ou retenção de blocos rochosos instáveis, redimensionamento de cargas de detonação em rochas e outras.
- áreas de disposição de resíduos sólidos. As medidas usualmente empregadas são: revegetação dos taludes de barragens (neste caso somente com herbáceas) e depósitos de estéreis ou rejeitos, redimensionamento e reforço de barragens de rejeito (com a compactação e sistemas de drenagens

no topo); instalação, à jusante do sistema de drenagem da área, de caixas de sedimentação e/ou novas bacias de decantação de rejeitos; redimensionamento ou construção de extravazores ou vertedouros em barragens de rejeito; tratamento de efluentes (por exemplo: líquidos ou sólidos em suspensão) das bacias de decantação de rejeitos; tratamento de águas lixiviadas em pilhas de rejeitos ou estéreis; tratamento de águas subterrâneas contaminadas.

- áreas de infraestrutura e circunvizinhas. Algumas medidas possíveis são: captação e desvio de águas pluviais; captação e reutilização das águas utilizadas no processo produtivo, com sistemas adicionais de proteção dos cursos de água naturais por meio de canaletas, valetas, murundus ou leiras de isolamento; coleta (filtros, caixas de brita, etc.) e tratamento de resíduos (esgotos, óleos, graxas); dragagem de sedimentos em depósitos de assoreamento; implantação de barreiras vegetais; execução de reparos em áreas circunvizinhas afetadas pelas atividades de mineração, entre outras.

Em se tratando da recuperação de minas em operação ou suspensas, deve-se realizar um levantamento da situação atual do empreendimento para avaliar os impactos e a elaboração do relatório especificando as medidas mitigadoras (IBAMA, 1990).

Outro documento que pode ser exigido aos empreendimentos antigos, na adequação da legislação ambiental vigente, é a Licença de Operação de Natureza Corretiva (LOC), como foi o caso da mineração no Complexo de Itabira.

Outras resoluções foram decretadas com o objetivo de preservar áreas com função ambiental, como é o caso das Áreas de Proteção Permanente (APP) – CONAMA nº10/88¹⁸, CONAMA nº302/02¹⁹, CONAMA nº303/02²⁰-. Além de definir o que é uma APP e os limites delas, a legislação ambiental abre exceções quanto à exploração dessas áreas para mineração, desde que se apresente licença ambiental

¹⁸ CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº. 10, de 14 de dezembro de 1988. Disponível em: <<http://www.bolsaderesiduoscis.ba.gov.br/downloads/conservacao/resconama10-88.pdf>>. Acesso em: 23/06/2010.

¹⁹ CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 302, de 20 de março de 2002. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/legislacao/estadual/resolucoes/2002_Res_CONAMA_302.pdf>. Acesso em: 23/07/2010.

²⁰ CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 303, de 20 de março de 2002. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/legislacao/estadual/resolucoes/2002_Res_CONAMA_303.pdf>.

atrelada com uma licença especial. Porém, a Lei não especifica esse tipo de licença especial. A deliberação das licenças é autorizada pelo órgão ambiental estadual competente e, caso a área seja explorada em zona urbana, a autorização deverá ser concedida por órgão ambiental municipal dada à aprovação do órgão estadual.

De acordo com Silvestre (2007), a combinação de processos e fenômenos geológicos e geomorfológicos faz com que, frequentemente, as minas estejam localizadas em APP, como é o caso das jazidas de minério de ferro que, no Brasil, em sua totalidade, se localizam em topos de morros.

No âmbito estadual, cada estado possui um conjunto de órgãos administrativos responsável pela gestão ambiental estadual pelo Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SISEMA), com a competência de gerir questões referentes ao meio ambiente em cada estado, através da elaboração de normas, da execução e fiscalização de atividades (CARDOSO, 2004).

Em Minas Gerais, foi reestruturado, em 1995, o SISEMA, do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM), sendo, atualmente, órgão normativo, colegiado, consultivo e deliberativo subordinado à Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD), regulamentado através do Decreto nº 44.667, de 3 de dezembro de 2007. O SISEMA foi instituído pela Lei Delegada nº 125, de 25 de janeiro de 2007, e é composto pela SEMAD e suas entidades vinculadas: Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM); Instituto Estadual de Florestas (IEF); Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM); Núcleos de Gestão Ambiental (NGA) das Secretarias de Estado integrantes do COPAM e da Polícia Ambiental da Polícia Militar de Minas Gerais (COPAM, 2011).

Em Minas Gerais a Lei Estadual nº 14.309 de 2002 dispõe sobre as políticas florestal e a biodiversidade, estabelecendo que elas “compreendem as ações empreendidas pelo poder público para o uso sustentável dos recursos naturais e para a conservação do meio ambiente ecologicamente equilibrado, essencial à sadia qualidade de vida, nos termos do artigo 214²¹ da Constituição do Estado”.

²¹O artigo 214 da Constituição do Estado de Minas Gerais dispõe que: "Todos têm direito a um meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum ao povo e essencial à sadia qualidade de vida, e ao Estado e à coletividade é imposto o dever de defendê-lo e conservá-lo para as gerações presentes e futuras." O Decreto Estadual nº 43.710, de 8 de janeiro de 2004, (Publicação - Diário do Executivo – “Minas Gerais” - 09/01/2004) (Republicação - Diário do Executivo – “Minas Gerais” - 23/01/2004) regulamentou totalmente esta Lei.

Na atualidade, as empresas, em consonância com a legislação ambiental, têm procurado fazer uso de tecnologias mais modernas e ambientalmente mais satisfatórias, de forma a mitigar os impactos negativos ao meio ambiente, bem como atender às exigências do mercado externo – impostas por instituições financeiras, como também pela aquisição de certificados. Um dos mecanismos de aquisição de certificados, tem como exemplo a ISO 14.000, a qual apresenta conjunto de normas como a ISO 14.001 que está voltada ao Sistema de Gestão Ambiental (SGA) constitui uma das mais recentes propostas de normalização de âmbito internacional; sugere regras e normas para o gerenciamento de sistemas ambientais, abrangendo técnicas de estudo de comportamento ambiental, como o planejamento, além de delinear modos de apresentação de documentos, como relatórios e projetos (KOPEZINSKI, 2000; SILVESTRE, 2007). Nesse contexto, constitui objetivo da ISO 14.000 elencar os impactos ambientais negativos causados pela atividade e implementar plano de mitigação e melhoria quanto aos mesmos.

De acordo com Sánchez (2007), em três décadas a gestão ambiental na mineração brasileira evoluiu significativamente. Essa evolução está em grande parte atrelada, por um lado, à introdução de normatizações legais que passou a exigir a adoção de atividades de exploração mineral menos impactantes, por outro, ao aprofundamento de pesquisas que visam reaproveitar o material utilizado, uma vez que os recursos minerais são finitos. Esses dois grupos de procedimentos têm resultado na obtenção de ganhos ambientais em paralelo à obtenção de resultados econômicos.

Conforme Enríquez (2008) as empresas que têm colocado em prática medidas mais racionais e sustentáveis ao seu processo produtivo o fazem em atendimento às pressões exercidas por investidores e agentes financeiros, pela legislação vigente e em razão da atuação de movimentos sociais e de comunidades locais afetadas. Em se tratando da mobilização social, tem-se como exemplo o caso de Itabira que, diante de uma série de condições ambientais decorrentes da extração mineral (alteração da paisagem, desmatamento, contaminação do solo, assoreamento do corpo d'água, poluição da água e do ar, degradação da mata ciliar e de área legalmente protegida), deflagrou em 1990 ações civis que levaram à instalação de audiências públicas cujo objetivo foi discutir acerca dos passivos ambientais resultantes da atividade minerária. Destaca-se que, no caso da Vale, as

pressões levadas a termo por atores sociais locais, por organismos internacionais, a exemplo do Banco Mundial, e por órgãos de defesa do meio ambiente, como o Conselho Estadual de Política Ambiental de Minas Gerais (COPAM) e a Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais (FEAM), constituíram os principais vetores de mudança quanto ao trato historicamente dado às questões ambientais. Resultado dessa mudança foi, no caso dessa empresa, a implantação de uma divisão de meio ambiente, cuja incumbência está voltada para o gerenciamento de questões relativas à poluição e degradação ambiental.

No Brasil, o direcionamento ao mercado exportador constitui uma das maiores pressões para por em prática atitudes pró-ecológicas por parte das companhias mineradoras. O que não ocorre com a dimensão socioeconômica, que não conta com o mercado exportador como um aliado e, tampouco, com marcos regulatórios adequados para garantir que a exaustão dos recursos minerais de hoje se converta em renda sustentável para as futuras gerações (SILVA, 2002; ENRÍQUEZ, 2008).

4 O TECNÓGENO E O RELEVO DE DERIVAÇÃO ANTROPOGÊNICA

4.1 O TECNÓGENO: UM NOVO PERÍODO OU ÉPOCA?

No Brasil, os estudos de temporalidade em uma abordagem tecnogênica se deram, de modo mais sistematizado, a partir da década de 1990. Assim, se destacam as contribuições de Oliveira *et al.* (2005), Nolasco (2003) e Peloggia (1998, 2005). O termo *Tecnógeno*, de acordo com Korb (2006), foi introduzido pelos soviéticos Chemekov e Ter-Stepanian ao se referirem à situação geológico-geomorfológica atual, em que a ação humana ganha destaque significativo no que tange aos processos da dinâmica externa quando comparada à processualidade anteriormente vigente – a holocênica (PELOGGIA, 2005; ROSSATO e SUERTEGARAY, 2000). As investigações acerca do tecnógeno, período de tempo também denominado Quinário por alguns autores que investigam essa temática, estão comprometidas com o reconhecimento, caracterização, compreensão e avaliação das transformações dos recursos ambientais mediante ação antrópica. Essas ações têm sido possíveis graças ao emprego de um conjunto de técnicas que traz, na maioria das vezes, consequências diversas para o próprio homem.

As modificações impressas pelo homem na natureza geológica, a partir do início da produção agrícola e pastoril denominada Revolução Neolítica (iniciada há cerca de nove a dez mil anos atrás em algumas partes do planeta), vêm sendo progressivamente intensificadas, o que culminou na produção de espaços profundamente transformados, como as regiões industrializadas modernas. Isso mostra que o Holoceno pode, portanto, ser considerado uma transição entre o Pleistoceno e o Quinário ou Tecnógeno (PEDROSA, 2007).

De acordo com Zalasiewicz *et al.* (2008) e Zalasiewicz *et. al* (2011) e Hooke (2000), desde o início da Revolução Industrial, até os dias atuais, a população humana global cresce exponencialmente o que tem levado à intensificação da exploração dos recursos naturais. Apesar de já se ter uma coleção suficiente de provas e evidências que comprovam o quanto a ação humana tem sido transformadora das condições ambientais originalmente vigentes no Holoceno, esses autores acreditam ser ainda precoce reconhecer, pelo menos do ponto de vista estratigráfico, que já se vive em uma nova época que vem sendo denominada

Antropoceno; para eles, é muito cedo para se indicar se o Quaternário chegou realmente ao fim.

As transformações da superfície causadas pela ação humana, mediante ao avanço das tecnologias, são evidentes, porém ainda é precipitado afirmar que estamos em uma nova época ou período.

4.2 O RELEVO ANTROPOGÊNICO: A AÇÃO HUMANA EM PERSPECTIVA

Diante das novas configurações espaciais produzidas pelo homem desde o seu aparecimento no Planeta, ocorre, sucessivamente, o surgimento de pesquisas contemporâneas que buscam elucidar como a ação geomórfica antrópica tem alterado as formas de relevo e seus processos condicionantes.

Os trabalhos desenvolvidos por Peloggia (1998) e Fujimoto (2005) demonstram que a intervenção da sociedade na dinâmica da natureza pode resultar em algumas consequências para o ambiente. Essas consequências são agrupadas em três níveis de abordagem: o primeiro nível trata da ocorrência de modificações no relevo propriamente dito, mais especificamente em sua forma; o segundo refere às alterações na dinâmica geomorfológica, ou seja, nos processos geomorfológicos; o terceiro e último nível se associa a formação de depósitos correlativos que porventura tenham resultado na dinâmica antrópica imposta ao meio, depósitos esses denominados tecnogênicos.

Nesse contexto, fazendo-se uso de um exemplo citado por Peloggia (2005), uma paisagem qualquer, natural ou não, pode sofrer processos tecnogênicos degradativos (compreendidos como aqueles que implicam na mobilização de material geológico), gerando o que se denomina formas de primeiro tipo (como terrenos rampados por terraplanagem ou vertentes ravinadas). De acordo com Fujimoto (2005), pode-se identificar configurações menores produzidas por processos morfogenéticos atuais e quase sempre induzidas pela ação humana, tais como sulcos erosivos, cones de dejeção tecnogênicos ou cicatrizes de solapamento.

Por outro lado, os processos tecnogênicos também podem implicar na acumulação de material geológico – diretamente, por meios mecânicos ou, correlativamente, à degradação – sendo gerados assim depósitos tecnogênicos que correspondem em sua expressão geomórfica às formas de segundo tipo, tais como

aterros, morrotes artificiais, planícies aterradas e planícies tecnogênicas (FUJIMOTO, 2005).

Os depósitos tecnogênicos, em particular, resultam de processos mais intensos, ou seja, se desenvolvem em períodos de tempo curto e são fenômenos pontuais em escala planetária. Representam evidências de uma aceleração do tempo decorrente das práticas humanas e caracterizam as já referidas mudanças atuais mais rápidas que as ocorridas em períodos geológicos anteriores (SUERTEGARAY, 2002).

Conforme Pedro e Nunes (2009) a ciência, a técnica e a informação formam uma tríade da produção do mundo atual. É neste período que o homem, ou melhor, a sociedade, passa a ser um agente escultor do relevo, pois suas intervenções no ambiente tornam-se mais intensas e aceleradas neste recorte histórico-temporal. Essa esculturação pode se manifestar de diversas maneiras, seja por meio da remoção de materiais, como no caso da terraplanagem em loteamentos ou escavações em cavas de mineração, seja por meio do acúmulo de materiais, como no caso da construção de aterros sanitários que resulta na formação de verdadeiras colinas constituídas por resíduos sólidos. Ou seja, a ação do homem proporcionou a aceleração dos processos geomorfológicos permitindo a criação de uma paisagem humanizada, alterando feições criadas em um período geológico, dando lugar a feições antropizadas construídas em um período histórico.

A partir dos estudos realizados por Pellogia e Oliveira, autores como Pinto e Cunha (2009), Carvalho *et al.*, (2009), Estaiano (2007), Lisbôa (2004) e Pedrosa (2007) desenvolveram estudos para compreender e analisar a dinâmica geológica-geomorfológica mediante as técnicas aplicadas pelo homem na configuração do espaço humanizado. Uma vez que essas intervenções antrópicas comumente resultam em formas que favorecem ou comprometem as características do sistema ambiental físico, elas podem trazer consequências para o próprio homem.

Diante da repercussão de uma nova configuração antropogênica na paisagem, trabalhos realizados por Azambuja (2007), Pedro e Nunes (2009), Pedro (2011) e Fujimoto (2005) fazem uma análise quanto à nova configuração do relevo criada ou induzida pela atividade humana em áreas urbanas. Esses trabalhos demonstram que, mediante incorporação de novos compartimentos geomorfológicos

ao tecido urbano ao longo do tempo, instalam-se alterações na dinâmica hídrica, pedológica e geomorfológica.

No decorrer das discussões que são realizadas acerca da ação humana na configuração da paisagem se verifica o uso do termo tecnógeno, antropogênico, antropogeomorfologia, seja para se referir a um novo período geológico, seja para se referir aos processos e feições criadas pelo homem. Em razão disso, optou-se, nesta tese, pelo uso desses termos para ambos os sentidos.

As transformações humanas sobre o meio natural impactam, positivamente ou negativamente, a estrutura e a geomorfologia de diferentes ambientes em diferentes escalas. Tais transformações ocorrem rapidamente na perspectiva do tempo histórico, o que tem afetado diretamente ou indiretamente o homem, por vezes conduzindo às novas configurações espaciais em atendimento às demandas sociais, políticas e econômicas sobre os recursos ambientais.

Alguns autores são da opinião de que a intensidade e magnitude dos impactos humanos que hoje atuam no Planeta são comparáveis, por exemplo, a alguns processos naturais que regem a dinâmica de transporte e acumulação de sedimentos fluviais. Wilkison (2005) propôs que os seres humanos, atualmente, constituem uma ordem de magnitude mais importante na produção e transporte de sedimentos móveis do que a soma de todos os outros processos naturais que operam na superfície do planeta.

As alterações antrópicas da paisagem hoje vigentes não têm precedentes geológicos e podem representar uma transição irreversível para uma inovadora paisagem diante da qual não tem experiência. Por essa razão, a previsão do futuro quanto à trajetória da paisagem será de importância crescente, com relevante ressonância na nossa capacidade preditiva ou, mais especificamente, na nossa capacidade de antecipar, influenciar, reagir, ou capitalizar sobre o futuro (HAFF, 2001; WILKISON, 2005). Investigar o passado para entender o presente é de fato essencial, mas é imprescindível analisar as transformações recentes e suas possíveis repercussões no futuro.

4.2.1 Interferência da ação humana na dinâmica de encostas e taludes

Na história da humanidade, o processo de antropização de encostas e taludes sempre foi uma realidade. Todavia, esse processo ganhou complexidade e se tornou mais generalizado nas sociedades contemporâneas, com repercussões significativas naquelas áreas naturalmente susceptíveis a movimentos de transferência gravitacional de massa.

As alterações de encostas e taludes, embora ocorram mais sistematicamente em zonas urbanas, estão presentes em outras atividades antrópicas comumente efetivadas para além das cidades. Destacam-se, nesse contexto, as significativas alterações de encostas e taludes inevitavelmente realizadas em práticas minerárias conduzidas a céu aberto, como, por exemplo, aquelas representadas na Figura 4.1:

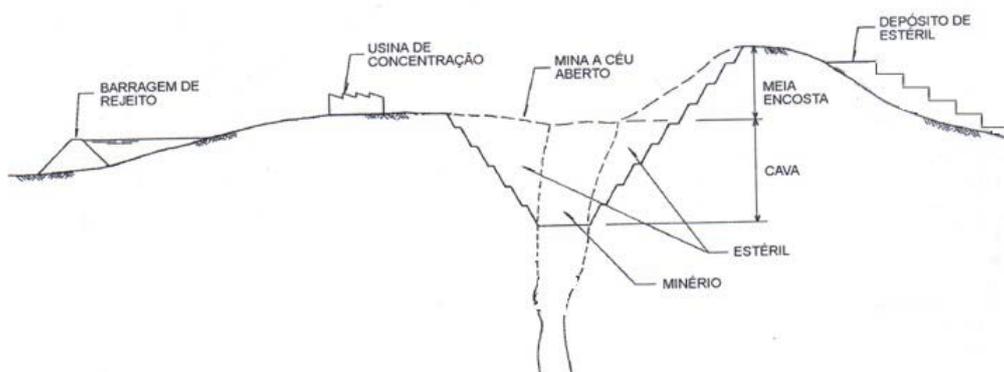


FIGURA 4.1 – Alterações do relevo de derivação antropogênica efetivadas em região de mina a céu aberto destinado à extração de minério de ferro (Adaptado de Abrão e Oliveira, 1998). Observe que, nesse caso, duas categorias de alterações de encostas e taludes são implementadas: aquelas que derivam da própria extração do minério em uma cava; e as que derivam do acúmulo de material estéril, transferidos para taludes de aterro ou barragens de rejeito.

FONTE: ABRÃO; OLIVEIRA (1998).

a) Cava

A exploração do minério de ferro, no Brasil, utiliza-se do método de lavra a céu aberto criando feições denominadas de cavas. Essas feições antropogênicas alteram de forma significativa na configuração do relevo e o rebaixamento do nível de água – Na.

Com relação à configuração do relevo, tem-se a alterações nas feições (formas convexas passam a ser côncavas), alterações na declividade, no comprimento da rampa, das encostas ou vertentes, e intensificação/inversão dos processos erosivos.

A respeito do rebaixamento do nível da água, Galbiatti (2006) citando o relatório baseado em estudos geológicos e hidroquímicos realizados no Complexo Itabira, apresenta uma síntese das principais unidades aquíferas da área:

- Sistema Aquífero Itabira: abrange as rochas da formação Cauê e Gandarela, com aquíferos homônimos. Possui área de recarga nas partes topograficamente mais altas, incluindo as áreas onde estão localizado as minas e área de descarga natural em surgências localizadas na face sul da estrutura. Hidroquimicamente, a água do aquífero Cauê possui baixa salinidade e é pouco mineralizada;
- Sistema Aquífero Piracicaba: correspondente aos quartzitos (aquífero quartzito) e xistos (aquífero xisto). Possui área de recarga nas partes topograficamente mais altas e área de descarga natural em surgências localizadas na face sul da estrutura. Hidroquimicamente, a água tem média salinidade, é mais mineralizada e apresenta águas bicarbonatadas cálcio-magnesianas;
- Sistema Aquífero Nova Lima: subdivide-se em aquífero Metachert, com pouca ocorrência na área, aquífero em xisto alterado e zonas de aquífero fraturado em xisto. Ocorre também aquífero em BIFs que é incipiente e de pequena representatividade. Possui área de recarga por toda a extensão exposta da rocha quando alterada e a área de descarga natural em pequenas nascentes nos fundos dos vales. Hidroquimicamente, são aquíferos cuja água possui salinidade mais alta e mais mineralizada.
- Sistema Aquífero cristalino: é subdividido em zonas aquíferas localizadas em lineamentos de fraturas ou rocha são fraturada e aquífero no manto de intemperismo. Possui área de recarga por toda a extensão exposta da rocha quando alterada e a área de descarga natural em pequenas nascentes nos fundos dos vales e de voçorocas.

- Sistema Aquífero coluvionar: correspondente aos colúvios, depósitos de fluxo de detrito e terraços fluviais e aluvionares. Possui área de recarga por toda a extensão exposta dos colúvios e a área de descarga natural em pequenas nascentes nos fundos dos vales. Atua principalmente como vetor de recarga para aquíferos sotopostos.

Conforme o autor mesmo tendo um estudo detalhado dos tipos de estruturas hidrogeológicas as informações a respeito das condições do nível de água são limitadas. Nas análises, a formação ferrífera foi considerada drenada devido às condições de rebaixamento do Na que ocorrem naquela unidade desenvolvida para as necessidades de lavra.

b) Pilha de estéril

A disposição das pilhas de estéril é feita normalmente por meio de camadas espessas, formando uma sucessão de plataformas de lançamento espaçadas a intervalos de 10 m ou mais. A estabilidade do aterro pode ser garantida por meio do controle da largura e do comprimento das plataformas, bem como do espaçamento vertical entre elas. Entre as plataformas deixam-se bermas, tendo como finalidades o acesso, como estrutura auxiliar na drenagem superficial e controle de erosão e de suavização do talude geral da pilha (PETRONILHO 2010). De acordo com o autor existem dois métodos de disposição de estéril: ascendente e descente. Petronilho afirma que a construção ascendente constitui-se a metodologia mais adequada, uma vez que o comportamento geotécnico da estrutura pode ser bem acompanhado e controlado ao longo dos alteamentos sucessivos (Figura 4.2).

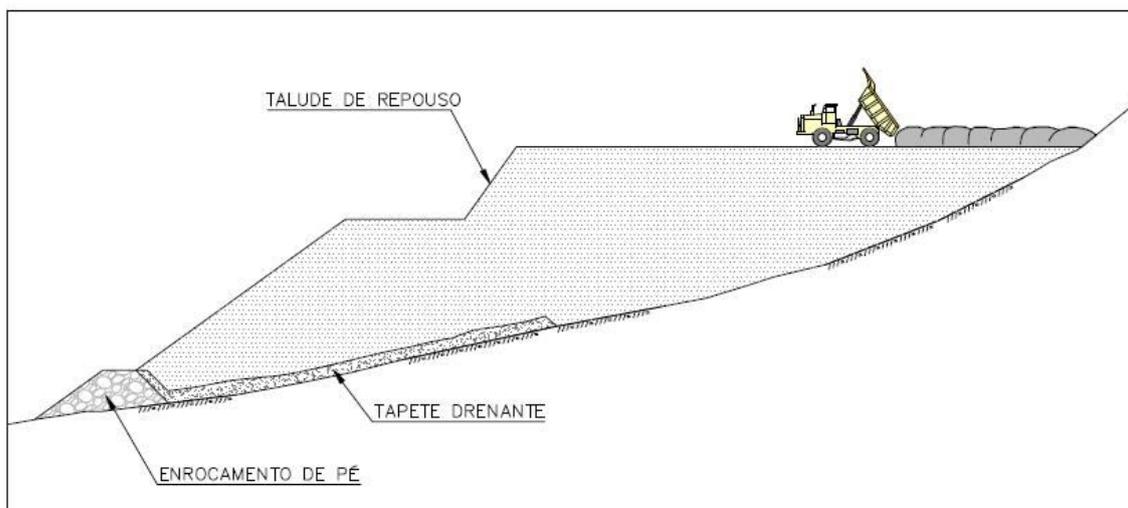


FIGURA 4.2. – Construção de uma pilha de estéril pelo método ascendente.

FONTE: PETROLINO (2010).

De acordo PETRONILHO (2010) antigamente, as empresas não tinham preocupação na forma de lançamento final dos estéreis da mina, quase sempre relegados a depósitos de bota-foras sem nenhum controle operacional. Desde a constituição do empreendimento Complexo Itabira, na década de 40 até o final da década de 80, o objetivo principal da disposição de estéril visava o desempenho operacional, de forma que a incorporação das práticas e procedimentos, que se tornaram usuais na prática atual, foi gradual. Neste contexto, a maioria das pilhas de disposição de estéril, não era empregada de forma intensiva.

As pilhas foram implantadas em diferentes épocas, sendo elas: PDE CONVAP e PDE Depósitos Antigos Cauê; PDE Bangalô, PDE Borrachudo, PDE Correia, PDE Ipoema, PDE Mangueira e PDE Vale da Dinamitação e PDE Canga, PDE Itabiruçu e PDE Maravilha (Figura 4.3).

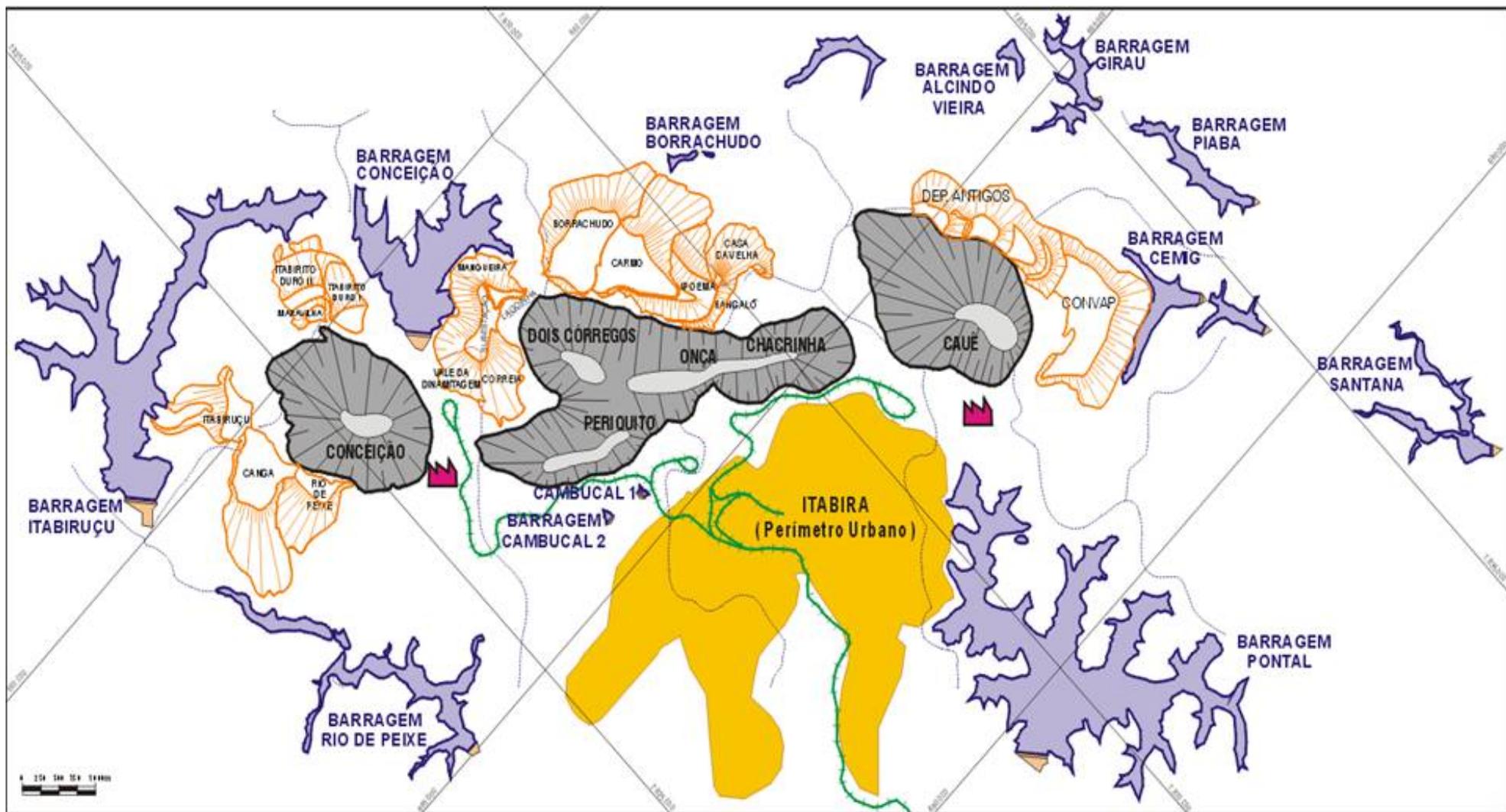


FIGURA 4.3. – Localização das pilhas de estéril existentes no Complexo Itabira²².

FONTE: VALE (2011).

²² Mapa utilizado em apresentação da Vale em visita técnica.

Na Tabela 4.1 tem-se o diagnóstico das pilhas. A autora afirma que as informações aqui fornecidas são do ano de 2004, e que todos os problemas expostos foram avaliados pela BVP Engenharia a pedido da empresa VALE, neste mesmo ano. Sabe-se que as recomendações propostas pela SBC Consultoria foram seguidas, a fim de proporcionar maior segurança as estruturas e a região em que estão localizadas.

Pilha de Disposição de Estéril	Localização	Materiais dispostos	Implantação	Ocorrência de instabilidade
CONVAP	Nordeste do <i>pit</i> da mina Cauê, tendo a jusante as barragens CEMIG I e II e abrangendo basicamente três vales principais a partir do estéril proveniente da cava do Cauê, embora haja materiais provenientes também da mina do Chacrinha.	Em grande parte, constituídos por xistos de Nova Lima e quartzitos e filitos do Grupo Piracicaba.	Nos anos 50 e até o final da década de 80, o material era disposto em lançamentos eram feitos utilizando-se toda a extensão da encosta	Em 1998 houve deslizamento com arraste de material numa extensão de aproximadamente 100m.
DEPÓSITOS ANTIGOS CAUÊ	A encosta situada na posição norte do <i>pit</i> da mina Cauê. Estéril proveniente desta mina.	Formada com estéril proveniente desta mina, constituído por itabiritos de baixo teor e xistos.	No início da década de 50, tendo maior utilização até 1986, tendo sido definitivamente abandonada em 1994.	A pilha foi desenvolvida por meio de lançamentos descendentes, o que conferiu a ela elevadas características de instabilidade. Na sua implantação, não foram realizadas limpezas da fundação e nem drenagem interna, pelo que as nascentes de água estão soterradas pelo material lançado. O maciço da pilha é predominantemente composto por solos arenosos e/ou silto-areno-argilosos, com blocos de rochas.
BANGALÔ	A oeste das minas do Meio, de onde o estéril é proveniente. A porção Bangalô é representada pela parte norte/nordeste e a PDE Ipoema pelo maciço restante.	São compostos de xistos, filitos, formação ferrífera e quartzitos.	Por volta dos anos oitenta. Foram utilizadas algumas técnicas para implantação da pilha e disposição das bancadas de forma ascendente. Porém, durante a execução da pilha, surgiram trincas ao longo da formação dos taludes.	Durante a execução da pilha, surgiram trincas ao longo da formação dos taludes. Por informações, soube-se que, antes dos períodos chuvosos, eram implantadas bacias de acumulação de águas pluviais nos platôs de operação para evitar fluxo ao longo dos taludes. Tais iniciativas, porém, implicavam em infiltrações através do maciço da pilha.
BORRACHUDO	Na porção noroeste das minas do Meio, no vale entre a PDE Mangueira e a PDE Ipoema. A pilha é formada predominantemente por estéril proveniente das Minas Dois Córregos, Onça e Chacrinha.	São compostos de xistos, filitos e provenientes da formação ferrífera.	Em meados dos anos 70. No decorrer dos anos foram aplicadas os condicionantes para construção da pilha de estéril.	Em 2004 apresentou pontos com erosões superficiais.
CORREIA	Entre as minas Dois Córregos e o Corpo D.	As minas forneciam materiais das mais variadas granulometrias	A pilha despertou forte preocupação com sua estabilidade, por situar-	Informações da obra indicaram que, na década de 90, houve uma grande saturação do pé da pilha seguido de escorregamento, causado pelo assoreamento da saída do dreno e seguida de rupturas nos

Pilha de Disposição de Estéril	Localização	Materiais dispostos	Implantação	Ocorrência de instabilidade
		para a formação da pilha; relatos de técnicos envolvidos nas operações de disposição indicam que grande parte do estéril lançado nas praças possui característica silto-argilosa.	se no vale a montante da correia transportadora Conceição/Dois Córregos.	primeiros bancos. Na época, fez-se a remoção do material saturado e a área foi soterrada com blocos de itabirito compacto, formando uma barreira de proteção.
IPOEMA	Noroeste do pit das Minas do Meio, entre a PDE Borrachudo e a PDE Bangalô. Os estéreis depositados eram provenientes, predominantemente, da lavra das Minas do Onça, Chacrinha e Dois Córregos.	Compostos por xistos, filitos e quartzitos.	A pilha foi formada entre os anos de 1986 a 1988.	
MANGUEIRA	É adjacente à PDE Lagoinha, podendo ser considerada como um prolongamento desta, ocupando um vale acima da barragem de Conceição, entre a PDE 82 Borrachudo e Lagoinha e estando localizada a oeste do pit da Mina Dois Córregos, recebendo estéril desta mina e da Mina Onça.	No maciço, predominam materiais xistosos, quartzíticos e filíticos.	O início da disposição foi estimado por volta dos anos 1992/1993. O lançamento de estéril foi feito pelo método ascendente e de forma controlada.	Algumas trincas de pequenas aberturas no maciço da pilha; recalques na forma de abatimentos ou depressão nos taludes e bermas;
VALE DA DINAMITAGEM	Ao sul das cavas das Minas do Meio, de onde provém o estéril, tendo ao norte a PDE Subestação e a leste a PDE Correia.	Constituídos de xistos, quartzitos e materiais de formação ferrífera.	Foi construída no início dos anos 80, por método ascendente.	Foram observados alguns focos de erosões superficiais;
CANGA	Canga (Superior e Inferior) está situada ao sul do pit da Mina Conceição.	Compostos de xistos, filitos, quartzitos e materiais provenientes da formação ferrífera.	O método construtivo teve seu início na década de 1980 e se caracteriza pelo lançamento ascendente.	Posteriormente a 1995, quando a pilha apresentava altura próxima a 50m, foram observadas surgências à jusante da pilha e em áreas adjacentes ao talvegue. Este fato caracterizou o rompimento do dreno de fundo, proporcionando a exposição das camadas drenantes e a saída descontrolada de água. Para atenuar esse problema, construiu-se uma bacia de retenção com barramento em dique, com bombeamento das águas para o exterior.

Pilha de Disposição de Estéril	Localização	Materiais dispostos	Implantação	Ocorrência de instabilidade
ITABIRUÇU	A sudoeste da Mina Conceição, inserida em duas pequenas bacias adjacentes à margem esquerda do lago formado pela Barragem Itabiruçu. A ombreira direita da pilha avizinha-se com a PDE Canga.		A construção da pilha foi iniciada em setembro de 1980 e teve seu encerramento em julho de 1983, recebendo estéril da mina Conceição e ocupando uma área equivalente a 60 ha.	Aparecimento de trincas, abatimentos, rupturas e corrida de materiais saturados.
MARAVILHA	Noroeste da cava da Mina Conceição, de onde provém o estéril utilizado para seu desenvolvimento. À jusante da pilha encontra-se um dos braços do reservatório da Barragem de Rejeitos de Itabiruçu, formando uma praia de rejeitos provenientes do <i>underflow</i> da ciclonagem.		Em se tratando de uma das primeiras pilhas de estéril construídas no Complexo Itabira, ainda na década de 70, não foi realizado nenhum tratamento de fundação e nem sistema de drenagem de fundo, práticas não correntes na época.	É marcada por constantes movimentos de massa, quase sempre associados aos períodos chuvosos. Por volta de 1980, houve uma grande ruptura, envolvendo uma extensa liberação de materiais da pilha para todo o vale a jusante. Entre 1988 e 1990, ocorreram remoções de materiais saturados no pé da pilha e executados reaterros com enrocamento. Relata-se que, no local, havia surgimento constante de água e que os taludes encontravam-se bastante saturados e deformados. Em 1993, foram detectadas trincas no topo da pilha.

TABELA 4.1. CARACTERIZAÇÃO DAS PILHAS DE ESTÉRIL, ANO DE 2004, DA ÁREA DE ESTUDO.

FONTE: PETRONILHO (2010).

Nota-se que a disposição dos materiais no início das atividades desencadeou na aceleração de processos erosivos, bem como os movimentos de massas. Assim, acredita-se que parte do material estéril foi depositada a jusante do empreendimento.

c) Barragem de rejeito

As barragens são estruturas complexas e dinâmicas as quais requerem cuidados especiais na elaboração dos projetos de engenharia, operação, manutenção das estruturas, bem como para o fechamento delas. De acordo com a Comissão Internacional de Grandes Barragens (ICOLD), as suas principais causas de rompimento são problemas de fundação, capacidade inadequada dos vertedouros, instabilidade dos taludes e falta de controle de erosão (FEAM, 2004). A importância em relação aos cuidados dos barramentos se dá pela magnitude dessa obra e o material que está sendo contido, neste caso o rejeito. O rompimento delas poderá desencadear desastres ambientais, contaminando águas superficiais, o solo, a vegetação e as comunidades que se encontram a jusante dos barramentos.

A barragem de rejeito é uma estrutura de engenharia que tem como finalidade a contenção e deposição de resíduos originados de beneficiamento de minérios, captação de água e tratamento de efluentes. Os resíduos de mineração são dispostos à superfície do terreno, em locais pré-selecionados e onde não exista minério em subsuperfície, são os denominados bota-foras. A disposição dos resíduos ocorre tanto com rejeitos de minas subterrâneas quanto rejeitos de minas a céu aberto.

O descarte pode ser na forma a granel (transportados por meio de caminhões ou correias transportadoras), ou na forma de polpa (mistura de água e sólidos), transportada por meio de tubulações com a utilização de sistemas de bombeamento ou por gravidade (DUARTE, 2008).

De forma geral, pode-se dizer que os rejeitos podem ser dispostos em minas subterrâneas, em cavas exauridas de minas, em pilhas, por empilhamento a seco (método *dry stacking*), por disposição em pasta ou em barragens de contenção de rejeitos. Entre os métodos de disposição, as barragens de contenção de rejeitos ainda são as preferidas. Essas barragens podem ser construídas utilizando-se solos, estéreis ou mesmo o próprio rejeito (DUARTE, 2008).

Com o desenvolvimento da tecnologia e da habilidade de minerar houve um aumento na produção do rejeito e, conseqüentemente, alterações significantes na superfície terrestre. Dentre as alterações, estão: a ruptura de declividade, alteração no escoamento superficial e dinâmico da drenagem onde se encontram as barragens – corpo lótico para lântico e alteração em subsuperfície.

Nesse contexto, os métodos de exploração do minério de ferro empregados no Brasil, bem como na área investigada nesta tese, fazem uso da abertura de cavas, cujas bordas passam a constituir taludes de corte artificiais, comumente organizados em degraus descendentes. O material estéril porventura retirado da cava é acumulado em taludes de aterro, também artificiais, ou por vezes é retido em barragens de contenção de rejeito. As vertentes, encostas e taludes naturais têm, nesse caso, seu perfil significativamente alterado. É comum a completa inversão do relevo, criando-se reentrâncias em locais originalmente modelados em saliências do relevo; picos e mesmo cristas de serras chegam a ser integralmente e destituídos da paisagem. Naquelas áreas destinadas ao acúmulo de material estéril, para a reconstituição topográfica da cava, chega-se a formar saliências do relevo, à conta de morrotes artificiais.

d) Processos erosivos

Os processos geomorfológicos são ações dinâmicas ou eventos que envolvem aplicações de forças sobre certos gradientes. Essas ações são provocadas por variáveis causais (clima, geologia, morfologia, etc.), mas também a sua evolução no tempo (INFANTI JR. e FORNASARI FILHO, 1998).

Os processos de desagregação do solo e das rochas, com a combinação de agentes como água, vento, gelo e organismos (plantas e animais) definem-se por erosão (Salomão e Iwasa, 1995).

A erosão causada pela água desenvolve-se em dois tipos: laminar e linear. A erosão linear profunda é comandada tanto por fatores antrópicos quanto naturais. Destacam-se como fatores naturais a chuva, cobertura vegetal, o relevo, os tipos de solo e o substrato rochoso (Infanti Jr. e Fornasari Filho, 1998):

- Água: a erosividade é decorrente do impacto das gotas de água sobre a superfície do solo, caindo com velocidade e energia variáveis, e através do fluxo concentrado das águas de escoamento superficial. Sua ação erosiva

depende da distribuição pluviométrica do evento chuvoso (chuva acumulada e intensidade de chuva).

- Cobertura vegetal: a mudança do regime de escoamento superficial e subterrâneo, consequência do desmatamento e das diversas formas de uso do solo, é apontada como o principal causa de processos erosivos.
- Em relação ao relevo, a intensidade erosiva verifica-se, principalmente pela declividade e comprimento da rampa, que interferem diretamente na velocidade do escoamento superficial das águas pluviais. Os terrenos com maiores declividades e maior comprimentos de rampa apresentam maiores velocidades do escoamento superficial e, conseqüentemente, maior capacidade erosiva, mas uma encosta com baixa declividade e comprimento de rampa grande também pode ter alta intensidade erosiva, desde que sujeita à grande vazão do escoamento das superficiais.
- Solos: a erodibilidade causada pela ação erosiva da água está relacionada às propriedades do solo: textura, estrutura e permeabilidade. Outra característica é em relação à espessura.
- Substrato rochoso: as características litológicas do substrato rochoso, associadas à intensidade do intemperismo e à natureza da alteração e grau de faturamento, condicionam a suscetibilidade do material à erosão. O desencadeamento de voçorocas no país está associado às áreas de ocorrências das formações geológicas sedimentares, cujas coberturas pedológicas correspondem a materiais arenosos (solos podzólicos, latossolos ou depósitos alúvio-coluvionares). As áreas de rochas pré-cambrianas, modeladas em relevo de colinas, as voçorocas e ravinas estão, geralmente, associadas à natureza e constituição dos solos de alteração de rochas xistosas e graníticas que, quando apresentam textura siltosa e micácea, são bastante porosas, permeáveis e friáveis, favorecendo o desenvolvimento de intenso processo erosivo. As ravinas são mais comuns nas áreas de relevo movimentado e estão associados, frequentemente, aos processos de escorregamento em encostas naturais.

e) Movimentos de massas

Os movimentos de massas de rocha e solo encosta abaixo estão sob a influência da gravidade (Press *et. al.*, 2006). Tais processos gravitacionais são consequência do intemperismo e da fragmentação de rochas, sendo responsáveis por compor uma importante parte da erosão geral do terreno, principalmente em regiões acidentadas e montanhosas. Os movimentos se originam a partir do momento em que a força de gravidade supera a coesão (resistência à deformação) dos materiais da encosta (ROSSI *et al.*, 2010). Infanti Jr. e Fornasari Filho (1998), classificam os movimentos de massa em:

- Rastejo: consistem no movimento descendente, lento e contínuo da massa de solo de um talude. A geometria não é bem definida e não apresenta o desenvolvimento de uma superfície definida de ruptura.
- Escorregamentos: consistem no movimento rápido de massas de solo ou rocha, geralmente bem definidas quanto ao seu volume, cujo centro de gravidade se desloca para baixo e para fora de um talude. Os escorregamentos podem ser circulares, planares ou em cunha.
- Corridas: são movimentos gravitacionais de massa de grandes dimensões, que se deslocam na forma de escoamento rápido.
- Movimentos de blocos rochosos: consistem no deslocamento por gravidade, de blocos de rocha, podendo ser classificados como queda de blocos, tombamento e rolamento.

f) Instabilidade de encostas e taludes

De acordo com Amorim e Oliveira (2007), as encostas e os taludes são superfícies que constituem uma forma de relevo complexa, caracterizada pela sua fragilidade natural. Apresentando superfícies inclinadas, essas formas de relevo estão sendo ocupadas pela sociedade como novas áreas para moradias, estabelecimentos produtivos, novas vias de acesso, como também novas áreas de plantio e criação de animais. A forma de ocupação desordenada desencadeada impactos negativos relevantes sobre os processos geomorfológicos (GIRÃO; CORRÊA, 2004). Nesse quadro, os processos de desmatamento, execução de

cortes inadequados, deposição de lixos, vibrações produzidas por tráfego pesado e de explosões promovidas pela atividade minerária intensificam os processos erosivos e os movimentos gravitacionais de massas nas encostas, provocando riscos às atividades econômicas e à própria vida dos seres humanos (CUNHA, 1991; AUGUSTO FILHO; VIRGILI, 1998).

A instabilidade de encostas e taludes é controlada por uma cadeia de eventos que vai desde a composição geológica até os agentes internos e externos que condicionam ao longo do tempo geológico a formação dos relevos existentes, ressaltando o homem (agente externo) onde sua ação se verifica no tempo histórico, de forma direta ou indireta.

Autores como Augusto Filho e Virgili (1998), Guerra (1994), Amorim e Oliveira (2007) e Girão e Corrêa (2004) elencam alguns fatores condicionantes para os movimentos de massas, bem como para os processos erosivos:

- características climáticas, com destaque para o regime pluviométrico;
- composição dos materiais que compõem o substrato de encostas e taludes;
- características das encostas e taludes: declividade, comprimento e forma do perfil dos mesmos (retilínea, côncava e convexa).
- regime de água de superfície e subsuperfície;
- características quanto ao uso e ocupação das encostas e taludes nas diferentes formas de intervenção antrópica.

Nesse contexto, muitos trabalhos são desenvolvidos quanto à interferência humana nas encostas e taludes que acabam por contribuir na intensificação dos movimentos de massas e dos processos erosivos. Oliveira *et. al.* (2007) se dedicaram à investigação da instabilidade desencadeadora de deslizamentos e voçorocas na região de Camaragibe (Pernambuco), decorrente da ocupação urbana desordenada. Os autores identificaram movimentos de massa rotacional e translacional associados às características que compõem a vertente, como também à grande quantidade de residências situadas em locais impróprios e próximos aos fluxos de escoamento constante. Outro fator deflagrador de instabilidades reconhecido foi o desmatamento, que resultou na instalação de um sistema de voçorocas. O material removido produziu vários assoreamentos levando a população a extração dos recursos minerais.

Mergajeto Netto e Sobreira (2006) afirma que as intensificações dos movimentos de massas e dos processos erosivos estão atribuídas não somente aos aspectos físicos – a susceptibilidade da área –, mas também às intervenções sociais, como o uso intensivo do solo, a exemplo da agricultura, pela aceleração do processo erosivos lineares na bacia hidrográfica do ribeirão Carioca, Itabirito (MG), que por hora parece estar em processo de reequilíbrio.

Dal’asta *et al.* (2005), em estudo de áreas de risco geomorfológico realizado em Santa Maria (RS), retratam que a atividade minerária conduzida em pedreiras resultou na construção de taludes artificiais formados por material de rejeito que, mais recentemente, são ocupados pelo tecido urbano. Nessas áreas é grande o risco geomorfológico quanto à possibilidade de ocorrência de movimentos de massas localizados.

Abrão e Oliveira (1998) afirmam que, na atividade minerária, a exigência quanto à estabilidade dos taludes artificiais é diferente daquela que baliza outras obras civis. Apesar do maior rigor quanto a essas exigências, verifica-se certa dificuldade na realização de estudos de estabilidade de taludes em áreas de mineração decorrente da falta de informações do corpo do minério que será exposto nele. Por vezes, os condicionantes geológicos inerentes à área de extração favorecem a ocorrência de escorregamentos, como no caso da mina do Cauê (no Complexo Itabira, em Itabira, MG), em 1975, quando, segundo os autores, ocorreu escorregamento de talude rochoso em razão da movimentação de massa ao longo de planos de fratura. Galbiatti (2006) desenvolve um trabalho na mesma mina onde ocorreu a ruptura oblíqua de um talude condicionada por falha transcorrente de mineração situado na mina do Cauê²³.

Assim, a interferência humana nas encostas e taludes é proveniente da necessidade diante da expansão urbana, rural, mas também das necessidades econômicas. Conforme Casseti (1995), no sistema de produção capitalista – que separa os homens em classes (proletariado e burguesia) e transforma o espaço em mercadoria – destinam-se as melhores condições topográficas àqueles que detêm o capital e sobram as áreas de riscos, ou seja, as áreas susceptíveis aos processos erosivos e movimentos de massas, aos marginalizados da elite econômica. O

²³ Na dissertação não relata o ano que ocorreu a ruptura do talude.

homem está alterando significativamente as formas que constituem as vertentes, de tal maneira que, ocasionalmente, vastas áreas procuram um novo equilíbrio através de extensas movimentações de massas (BIGARELLA *et al.*, 2007).

4.2.2 Interferência da ação humana na organização espacial da rede de drenagem e na dinâmica das calhas fluviais

As intervenções antrópicas na superfície terrestre diferem dos processos naturais. Até o início do século 20, a maioria dos impactos antropogênicos não resultou em mudança drástica na superfície do Planeta, isso porque a maior parte do trabalho era realizada de modo manual ou com o auxílio de ferramentas de baixo impacto de energia. Recentemente, os impactos antropogênicos na superfície são mais significativos, graças ao avanço da tecnologia e, seus efeitos, mais perceptíveis (PODOBIKAR *et al.*, 2009).

Segundo James (1999) as atividades antropogênicas estão mudando de forma significativa os sistemas fluviais, tanto no regime de água, quanto na alteração dos canais e no processo de deposição dos sedimentos. Assim, a Geomorfologia oferece uma perspectiva sobre os sistemas fluviais onde o tempo – em várias escalas – está entrelaçado aos aspectos práticos e teóricos da investigação científica. Ou seja, a geomorfologia fornece um arcabouço teórico para análise e compreensão na dinâmica dos aspectos físicos, em uma análise espaço-temporal, ao mesmo tempo em que permite uma compreensão em relação à interferência antropogênica nos sistemas fluviais.

De acordo com Tavares *et al.* (2007), Reckziegel *et al.* (2005) e Hooke (2006), o ambiente fluvial é caracterizado por intensa dinâmica superficial e por incorporar processos geomórficos importantes. Nesse ambiente, as atividades antrópicas são historicamente responsáveis por significativas alterações, notadamente quanto às formas de caráter fluvial, sua distribuição e seus processos. Essas alterações comumente se vinculam às mudanças antrópicas efetivadas no fluxo do canal fluvial, podendo desencadear problemas de erosão, alteração das propriedades do material de superfície, assoreamento, movimentos de massa, enchentes ou inundações. As obras de engenharia por vezes se enquadram nessas alterações ao repercutir de forma direta ou indireta, no ambiente fluvial,

desencadeando perturbações que podem ser tanto pontuais como também ocasionar reação em cadeia capaz de atingir vastas áreas.

Brierley e Fryirs (2006), como também Cunha (1994), destacam obras de engenharia como barragens ou reservatórios, canalização e retificação e mineração que repercutem nos ambientes fluviais:

- Barragens ou reservatórios: para controle de abastecimento de água, agricultura, comércio ou indústria como também depósito de rejeito para atividade minerária. Esta obra contribui na interrupção da continuidade longitudinal do fluxo ao longo do rio, como principal barreira para transferência de sedimentos.

Lousã (1986) citado por Cunha (1994) afirma que as construções de barragem alteram a dinâmica fluvial. Conforme a Figura 4.4, na parte ao montante da barragem, o nível de base local é levantado, alterando a forma do canal e a capacidade de transporte do sólido, quando ocorre o assoreamento na desembocadura e no fundo do vale principal e afluentes. Os impactos registrados no local não se limitam à área próxima do reservatório e à faixa de inundação, estendendo-se gradualmente para montante, ao longo dos perfis longitudinais dos rios. Geram o aumento no fornecimento de sedimentos para o reservatório, modificando, muitas vezes, o seu tempo útil e alterando a biota fluvial.

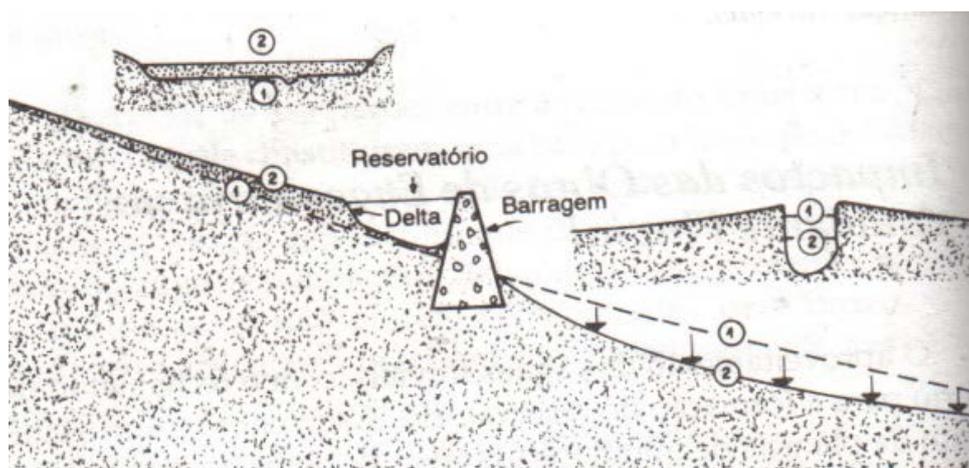


FIGURA 4.4 – Rompimento do equilíbrio natural do rio, em virtude da construção de um reservatório. A montante do reservatório ocorre a agradação do vale, e, a jusante, o aprofundamento da calha fluvial.

FONTE: CUNHA (1994).

Na Figura 4.5, Brierley e Fryirs (2006) demonstram os impactos geomórficos advindos da construção de barragem quanto ao caráter e comportamento do rio.

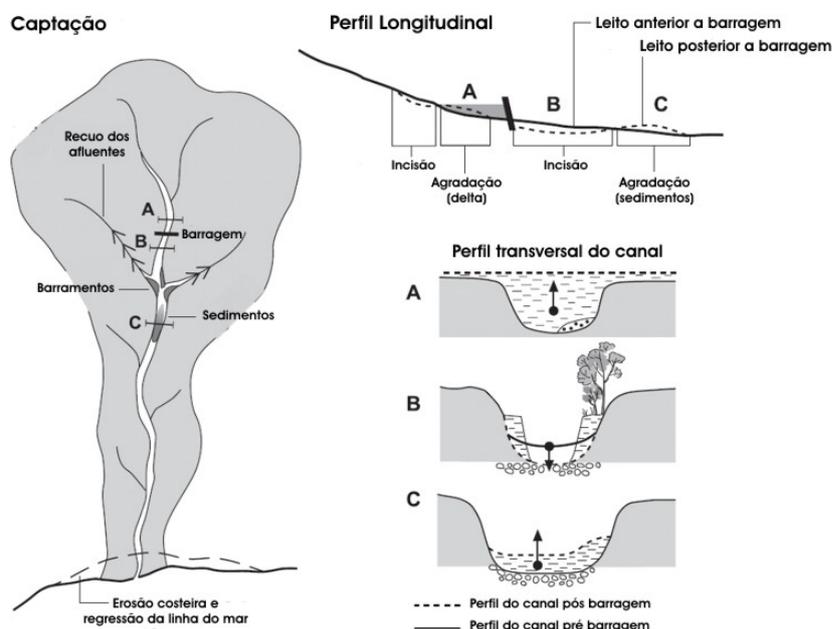


FIGURA 4.5 – Alterações da rede de drenagem e da calha fluvial em resposta à instalação de uma barragem, segundo Brierley e Fryirs (2006). Observe no perfil longitudinal o acúmulo de material próximo à barragem (A) e após a mesma a incisão do leito do rio (B).

FONTE: BRIERLEY; FRYIRS (2006).

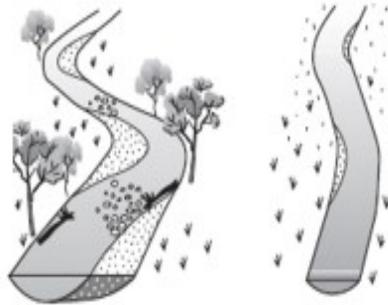
A construção de barragens causa zonas de acumulação de detritos na entrada dos reservatórios (Ponto A) (Figura 4.5). Os sedimentos em suspensão revestem o leito original nesse ponto, que agora se situa além do reservatório. No Ponto B, imediatamente após a barragem, o potencial erosivo é aumentado e induz a incisão do leito. Um canal estreito é produzido e o leito é revestido por mato e ervas daninhas de rápido crescimento. As áreas de enchentes originais são separadas do canal devido às mudanças do curso original e os ajustes morfológicos. O canal no Ponto B tornou-se uma área de perda de sedimentos após o fechamento da barragem. Os sedimentos deslocados dessa zona são acumulados rio abaixo, no Ponto C, onde o canal é parcialmente obliterado através da formação de barramentos laterais (Figura 4.5). Esses efeitos são progressivamente propagados à jusante ao longo do curso do rio. Impactos decorrentes da construção de barragens podem incluir: incisão de córregos e vertentes e alterações morfodinâmicas na área costeira (BRIERLEY; FRYIRS, 2006).

- Canalização e retificação: obra que envolve diretamente a modificação da calha do rio e desencadeia impactos relevantes no canal e na planície de inundação. Apesar de aumentar a velocidade do escoamento fluvial nas áreas urbanas, o que favorece o controle ou redução de riscos, muitas vezes resulta em instabilidade a montante ou jusante da sua instalação.

A canalização e retificação de um rio sinuoso transformam seu curso até então caracterizado pelas presenças de diversificados ambientes naturais em um sistema homogêneo e uniforme (Figura 4.6). Enquanto ocorre o rápido fluxo e carregamento de materiais do leito, os atributos do rio se tornam comprometidos (BRIERLEY; FRYIRS, 2006).

Canal Natural

Variedades de unidades morfológicas. Diversos tipos de cascalho proporcionam diversos ambientes para a vida aquática. Apresenta temperatura e sombreamento adequado para os peixes, com baixa variação de temperatura e abundante matéria orgânica.



Canal Artificial

Correnteza quase contínua. Ambiente natural reduzido a poucos organismos. Apresenta temperatura da água elevada, falta de sombreamento e cobertura natural, com rápida variação de temperatura e baixo acúmulo de matéria orgânica.

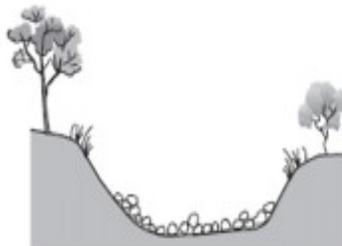
Ambiente de poço



Fluxo d'água de baixa velocidade. Áreas de calmaria e de abundância de matéria orgânica

Ambiente de correnteza

Pode ter a velocidade de correnteza que alguns elementos aquáticos não conseguem suportar. Pouca ou nenhuma área de calmaria e baixa acumulação de matéria orgânica.



Profundidade da água capaz de manter a conectividade entre os poços e correntezas entre os períodos de seca, para manter a vida aquática.

Perfil longitudinal

Profundidade da correnteza é insuficiente para manter a vida aquática nos períodos de seca.

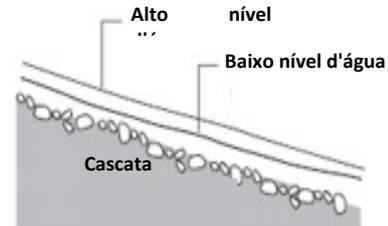
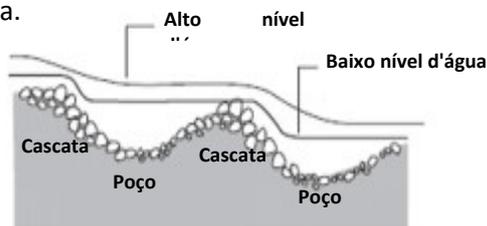


FIGURA 4.6 –. Impactos decorrentes no processo de canalização e retificação de canais fluviais, segundo Brierley e Fryirs (2006). Observe com a canalização do rio tem-se a redução da matéria orgânica e vida aquática.

FONTE: BRIERLEY; FRYIRS (2006).

- Mineração: extrações de minério trazem impactos negativos aos sistemas fluviais. Ocorre a perturbação do regime hidrológico (através da remoção da vegetação e modificação da drenagem), aceleração da erosão em área com inclinação acentuada e aumento da carga de sedimento nos rios.

Brierley e Fryirs (2006) ilustram os impactos geomórficos quanto à extração de cascalho em um leito fluvial (Figura 4.7). (a) Nas condições anteriores a extração, o volume de sedimentos e a força da correnteza que os transportam são contínuos. (b) Uma incisão ocorre na camada de cascalho e provoca a erosão no lado oposto da correnteza. Inicialmente a incisão acumula sedimentos e interrompe o transporte destes de maneira uniforme. Mais adiante, o rio ganha novamente a capacidade de transportar sedimentos, mas não existem sedimentos suficientes para o transporte. (c) A erosão na incisão, do lado oposto à correnteza, acontece para tentar manter o declive natural do rio. A força da água também causa erosão na parede da incisão, no sentido da correnteza, alargando o seu tamanho. (d) Os sedimentos liberados pela erosão, associada à expansão do canal, se acumulam nessas trincheiras em forma de bancos de areia e cascalho. Isto resulta numa forma de canal oposto²⁴.

²⁴ Modificado de Kondolf (1994) e reimpresso com permissão de Elsevier, 2003.

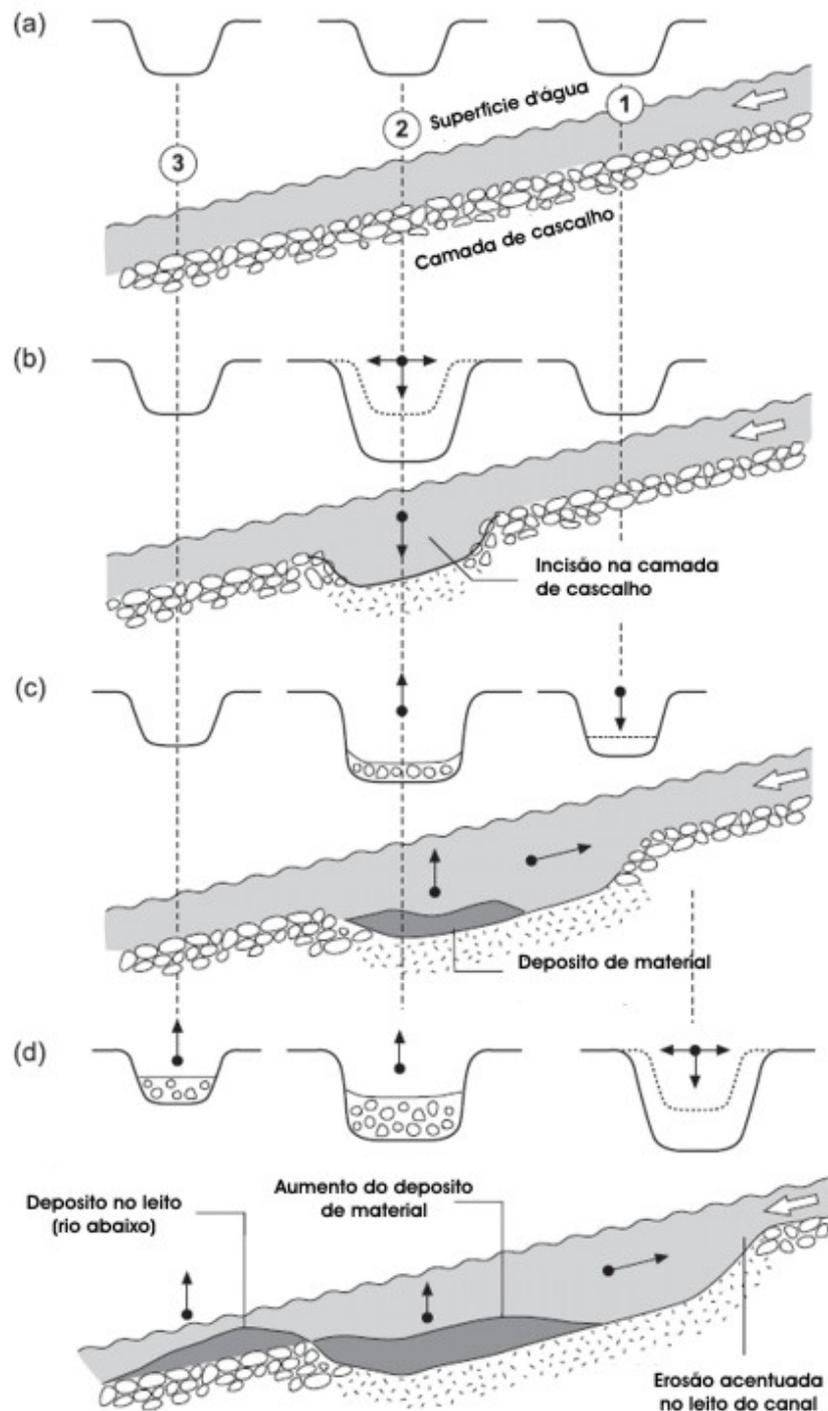


FIGURA 4.7– Configuração da calha fluvial mediante a extração de cascalho, segundo Brierley e Fryirs (2006). Observe que com a extração ocorre um aumento de sedimento a jusante do rio.

FONTE: BRIERLEY; FRYIRS (2006).

Pesquisas foram realizadas analisando aos impactos de obras de engenharia no sistema fluvial. Coelho (2008) e Lenvanteza e Perez Filho (2009) buscaram compreender a repercussão da construção de barragens em bacias hidrográficas. Coelho (2008) apresenta uma discussão dos principais efeitos

geomorfológicos fluviais decorrentes da construção e operação de reservatórios/barragens a partir de outros estudos, destacando os mecanismos e efeitos em cadeia deste processo, sobretudo à jusante de barragens. O autor destaca a alteração do fluxo de água e sedimentos, as erosões marginais nos canais fluviais (sendo um processo contínuo da ação das correntes dos rios, poderá ser potencializada pela ação das ondas imediatamente a jusante das barragens), normalmente, estando associadas aos fluxos artificiais caracterizados por altas variações de descargas. Essas elevadas descargas produzem efeitos adversos sobre a vegetação ripária – adaptada a um regime de fluxo sazonal –, eliminando assim sua eficiência, as mudanças dos canais principais e tributários decorrente da mudança do nível de base e, finalmente, as alterações dos tipos de canais e leitos, entre outros.

Levanteza e Perez Filho (2009), em sua análise, identificaram o aumento tanto da densidade hidrográfica quanto da densidade de drenagem, gerando um acréscimo no comprimento dos canais de primeira ordem, decorrente da implantação da usina hidrelétrica de Água Vermelha na bacia hidrográfica do Córrego de Aroeira (Mira Estrela – SP).

Simon (2006) afirma que os barramentos e açudes construídos em propriedades rurais localizadas na bacia Santa Bárbara, em Pelotas (RS), apesar de repercutirem de forma favorável à acumulação de água, provocaram o desequilíbrio da rede de drenagem, acentuando processos desnudacionais que acarretaram a intensificação do assoreamento e conseqüente diminuição da vida útil dos reservatórios. A produção de sedimentos nas bacias hidrográficas é o principal processo de dinâmica superficial que gera o assoreamento. Sendo um dos principais problemas, especialmente em áreas urbanas, destacando-se a redução da profundidade dos canais, tendo como conseqüência a produção de cheias frequentes e intensas (SOUZA *et al*, 2009).

Quanto à canalização, Simon (2006) afirma que apesar desse tipo de obra ter como objetivo conter enchentes e drenar áreas alagadas, no caso da bacia Santa Bárbara Pelotas (RS), a canalização foi construída sem considerar as condições naturais de um sistema aberto que continuariam a repercutir em enchentes na área urbana assentada sobre a antiga planície de inundação.

Em relação à mineração, Raposo (2009) e Barros *et al.* (2009, 2010 a, b) destacam que a atividade é uma das principais fornecedoras de sedimentos aos canais fluviais, impactando a drenagem e as matas ciliares. De acordo com Tavares *et al.* (2007) os danos decorrentes dessa atividade podem se manifestar de forma direta na área restrita da exploração ou em todo o ambiente fluvial alterando sua dinâmica.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. DOCUMENTAÇÃO

Durante a elaboração deste trabalho foi de fundamental importância o manuseio de acervo bibliográfico, cartográfico e de imagens aeroespaciais.

A revisão bibliográfica permitiu discutir as interferências das ações humanas decorrentes da extração de minério de ferro a céu aberto, auxiliando na compreensão das novas configurações da superfície presente no Complexo Itabira, com destaque para alterações que ocorrem no relevo e nos sistemas fluviais.

A documentação cartográfica utilizada foi a carta topográfica da área de estudo e seu mapa geológico, provenientes do Projeto de Geologia do Quadrilátero Ferrífero, ambos na escala de 1:25.000. Segundo Reis (2005), os documentos acima descritos são resultantes do projeto de mapeamento geológico realizado por meio do convênio United States Geological Survey (USGS) / Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM), de 1946.

A carta topográfica de Itabira (1:25.000), primeiramente, foi analisada em meio analógico e posteriormente digitalizada a partir de ferramentas presentes nos *software* ArcGis 9.2. Os resultados alcançados possibilitaram o reconhecimento e mapeamento das feições que compõem o quadro geomorfológico para o ano de 1946, cujo processo da exploração da mineração de ferro no Complexo Itabira era incipiente. Os limites dos demais mapas temáticos empregados nesta tese correspondem aos limites do mapa geológico.

A documentação aeroespacial aqui empregada é proveniente das fotografias aéreas obtidas nos anos de 1989 e 2008, ambas na escala de 1:25.000. As curvas de nível com equidistância de 10 metros, geradas a partir das referidas fotografias aéreas foram gentilmente cedidas pelo Instituto de Geociências Aplicadas (IGA). Esses documentos, conjuntamente com as curvas de nível geradas a partir da imagem orbital ASTER obtidas no ano 2000, foram utilizados para o reconhecimento das feições antropogênicas decorrentes da exploração do minério de ferro na contemporaneidade.

Assim, os dados provenientes das documentações cartográficas, aeroespaciais e orbitais permitiram a análise espaço-temporal pretendida, resultando no reconhecimento das feições morfológicas de derivação antropogênica presentes

nessas áreas de extração de minério de ferro no Complexo Itabira, bem como das alterações ocorridas no sistema fluvial mediante os 62 anos de exploração do minério de ferro.

5.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O desenvolvimento desta pesquisa foi metodologicamente apoiado no reconhecimento de feições do relevo de natureza antropogenética, bem como em seu mapeamento e caracterização. Os principais procedimentos adotados são descritos a seguir.

5.2.1. Revisão bibliográfica

A consulta bibliográfica foi utilizada para compreender a interferência da ação humana na dinâmica geológica-geomorfológica, responsável pela produção de uma paisagem humanizada. Nesse sentido, recorreu-se à revisão de literatura buscando discussões que permitissem reconhecer que a ciência, a técnica e a informação proporcionaram ao homem ser um agente esculptor, como também intensificador, de processos erosivos e deposicionais. As referências bibliográficas consultadas incluem estudos de caso publicados em periódicos nacionais e internacionais, ainda que poucos estudos sobre a intervenção antrópica na configuração do relevo em áreas de extração mineral, inclusive naquelas de extração de minério de ferro a céu aberto, existam na literatura.

Recorreu-se, também, em termos bibliográficos, à análise da legislação ambiental e minerária vigente no país, o que envolveu a consulta de decretos e normativas que permitissem compreender como é concedida a licença para o processo da exploração do minério de ferro, bem como são realizados os estudos que visam prever os impactos, atenuar os danos e propor medidas mitigadoras/corretivas, com o constante monitoramento das atividades realizadas pelo empreendimento minerário. Buscou-se, ainda, na legislação, reconhecer a dimensão espacial que é atribuída às medidas mitigadoras para o monitoramento dos impactos/danos ambientais.

5.2.2. Interpretação da carta topográfica de Itabira

Para a análise da evolução do relevo antropogênico na área de estudo foi elaborado o mapeamento que retrata a configuração regional, em 1946, a partir da interpretação de carta topográfica na escala de 1:25.000, publicada pelo Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM) (Figura 5.1, fluxograma A).

O reconhecimento das feições do relevo foi realizado de forma analógica, utilizando-se papel vegetal sobre a carta topográfica, sendo elas reconhecidas a partir da interpretação da organização espacial das curvas de nível, com vistas a elaborar o esboço geomorfológico da área investigada, vigente em 1946. Uma vez realizado esse esboço, o mesmo foi georreferenciado no Sistema de Coordenada UTM WGS 1984 Zona 23S através do *software* ArcGis versão 9.2.

Posteriormente, realizou-se a digitalização dos elementos que compõem o esboço geomorfológico de 1946: interflúvios, planícies de inundação, nascentes, rede de drenagem, delimitação da área urbana, localização das minas que compõem o Complexo Itabira, como também a digitalização das curvas de nível com equidistância de 10 m. Dessa forma, a carta topográfica possibilitou a caracterização da paisagem no processo inicial da atividade minerária, sendo também o ponto de partida para a análise espaço-temporal pretendida neste trabalho.

A localização das minas existentes na década de 1960 foi baseada nas informações disponibilizadas por Barbosa e Rodrigues (1967). Todavia, não foi possível obter a delimitação precisa dessas minas, em razão da impossibilidade de se adquirir o fotomosaico das fotografias aéreas empregadas na confecção do mapa topográfico. Nessa época ainda não havia sido instalada a mina de Esmeril, pertencente às minas do Meio. O registro dessa mina ocorrerá através dos estudos realizados por Melo *et al.* em 1984.

5.2.3. Interpretação de produtos de sensores remotos

a. Mapas temáticos

O mapa geológico de 1967, em meio digital, fornecido pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), serviu de base para elaboração do limite espacial utilizado nos mapas temáticos presentes nesta tese: mapa de localização da área de estudo, esboço geológico, hipsometria, declividade, organização espacial da rede de drenagem e uso do solo e antropismo. O mesmo recorte espacial também foi utilizado na elaboração dos esboços geomorfológicos de 1946 e 2008 (Figura 5.1, fluxogramas A, B e C).

Para a elaboração do mapa de localização da área de estudo, utilizou-se o *software* ArcGis 9.2, recortando da base cartográfica dos municípios brasileiros do IBGE 2010 aqueles pertencentes à microrregião de Itabira. Posteriormente utilizou-se o limite da área de estudo para recortar a imagem *RapidEye* do ano de 2010.

O esboço geológico foi extraído da base de dados do Projeto de Geologia do Quadrilátero Ferrífero fornecida pela CPRM. Os mapas de hipsometria e a declividade foram gerados a partir do Modelo Digital do Terreno – MDT, resultante da digitalização das curvas de nível da carta topográfica de 1946. Para o mapa de declividade foram criadas as classes: 0-5%, 5-30%, 30-45% e acima de 45%.

Para o estabelecimento das classes de declividade, baseou-se nas características da área de estudo. A classe com valores de 0 a 5° foi estabelecida ao considerar que as áreas de fundo de vale podem ser sujeitas à inundação. A classe com valores de 5 a 30° foi estabelecida por ser considerada mais adequada para ocupação. A classe com valores de 30 a 45° foi elaborada considerando que abarca áreas abaixo das classificadas como de preservação permanente, e a última classe contempla as áreas de APP com declividade superior a 45°.

A rede de drenagem na região do Complexo Itabira foi digitalizada através da carta topográfica de 1946. Todos os mapas temáticos foram gerados no *software* ArcGis versão 9.2. Vale ressaltar que para elaboração do mapa temático do uso do solo e antropismo foi utilizada a imagem *RapidEye* do ano de 2010. *RapidEye* é um conjunto de cinco satélites idênticos lançados em agosto de 2008, controlados pela

empresa alemã *RapidEye* AG. Cada satélite *RapidEye* registra cinco faixas espectrais com alta resolução espacial, de cinco metros (*RapidEye* AG).²⁵

Para a caracterização do uso e ocupação da terra presente na área investigada foi utilizado o método de classificação supervisionada por regiões. A classificação é o processo de extração de informação em imagens para reconhecer padrões e objetos homogêneos que são utilizados em sensoriamento remoto para mapear áreas da superfície terrestre que correspondem aos temas de interesse. Os classificadores por regiões utilizam, além de informação espectral de cada *pixel*, a informação espacial que envolve a relação com seus vizinhos. Procuram simular o comportamento de um fotointérprete, reconhecendo áreas homogêneas de imagens baseados em suas propriedades espectrais e espaciais. A informação de borda é utilizada inicialmente para separar regiões, e as propriedades espaciais e espectrais unem as áreas com mesma textura.²⁶

O mapeamento é um recurso diferencial nas análises e interpretações das intervenções antrópicas. A construção de cenários históricos (mapeamento antigo e atual) é um bom instrumento de análise quando se pretende avaliar as causas e consequências das perdas ou a alteração dos recursos naturais em uma dada região, sendo também um recurso ao planejamento ambiental (ROSS, 1991; SANTOS, 2004; FIGUEIRA, 2007; SILVA, 2010).

Os mapas geomorfológicos, aqui denominados esboços, são imprescindíveis em estudos e atividades de intervenção no meio físico. Esses mapas fornecem informações relevantes às pesquisas geomorfológicas e são úteis em atividades aplicadas, tais como inventários de recursos naturais, prevenção de desastres e planejamento urbano e rural, determinação de áreas de riscos ambientais etc. (CAMARGO *et al.*, 2009).

De acordo com Paula e Robaina (2003), os estudos da geomorfologia a partir da década de 1980 têm se caracterizados por enfatizarem os problemas ambientais, possuindo um caráter integrador, uma vez que permitem compreender, em um determinado ambiente, a evolução espaço-temporal dos processos de modelagem terrestre, antes e depois da atuação humana.

²⁵ RapidEye AG. Disponível em: <<http://www.rapideye.de>>. Acesso em: 20 de novembro de 2011.

²⁶ INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/classic.html>>. Acesso em: 20 de novembro de 2011.

Nesse contexto, a construção do esboço geomorfológico de 1946 ocorreu mediante as informações presentes na carta topográfica (rede de drenagem, curvas de nível e limite da área urbana) conjuntamente com o reconhecimento das principais feições geomorfológicas (interflúvio, nascentes, planícies de inundações). Para a elaboração do esboço geomorfológico de 2008 foram utilizadas as curvas de nível do mesmo ano, conjuntamente com as fotografias aéreas e o banco de dados de 1989, gerados pelo Instituto de Geociências Aplicadas (IGA). No entanto, não foi possível a elaboração do perfil topográfico de 2008, uma vez que não são apresentadas as curvas de nível no interior das cavas,²⁷ sendo que elas se encontram em constante transformação. Os esboços geomorfológicos permitiram analisar as alterações ocorridas ao longo dos 62 anos de exploração minerária.

Autores como Rodrigues (2005), Carvalho *et al.* (2009), Pinton e Cunha (2009), em consonância com outros autores (PEDROSA, 2007; LISBÔA, 2004; SILVA e RODRIGUES, 2006; PASSARELA *et al.*, 2008; SIMON; PEREZ FILHO, 2010; CHARTIN *et al.*, 2011), adotaram como análise a evolução espaço-temporal na configuração da morfologia antropogênica. Partem do cenário cuja morfologia original apresenta intervenções antrópicas insignificantes comparados ao cenário atual, ou seja, aquele antropizado, caracterizado por apresentar modificações significativas no que tange às dimensões métricas nos atributos da vertente, tais como altimetria, declividade, inversão das formas (convexa para côncava), dentre outros. Rossato *et al.* (2002) utilizaram-se da análise espaço-temporal quanto a formação de depósitos tecnogênicos associados a processos de assoreamento.

b. Imagem ASTER

O ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) é um sensor lançado em Dezembro de 1999 a bordo do Satélite TERRA (EOS-AM1).²⁸ As imagens ASTER apresentam 14 bandas ou canais espectrais, dando cobertura radiométrica desde o espectro visível até o espectro do infravermelho térmico, com resoluções segundo o indicado na Tabela 5.1.

²⁷ Impossibilitando também a elaboração do mapeamento geomorfológico.

²⁸ Disponível em: <<http://www.yale.edu/ceo/Documentation/ASTER.pdf>>. Acesso em: 17/04/2012.

TABELA 5.1. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO ASTER

Instrumento	Bandas Espectrais	Resolução Espacial (m)	Quantidades de bandas
VNIR	0,5-0,9 μm	15	3 verticais e 1 inclinada
SWIR	1,6-2,5 μm	30	6
TIR	8,0 – 12 μm	90	5

FONTE: PARMA (2007)

O sensor ASTER é muito utilizado para mapeamento de uso e cobertura da terra, obtenção de Modelo Digital de Elevação (MDE) e Modelo Digital do Terreno (MDT), estudos territoriais e planejamento ambiental (PARMA, 2007; FIDALGO; ABREU, 2005; WAGNER, 2004).

As curvas de nível foram geradas no *software* ArcGis versão 9.2, com equidistância de 10 metros a partir das bandas do subsistema VNIR, com resolução especial de 15 metros, obtidas no ano de 2000. Posteriormente, as curvas de nível geradas permitiram a geração do MDT e demais produtos cartográficos para o ano 2000. De acordo com Landau e Guimarães (2011), para a América do Sul, os dados obtidos encontram-se no sistema de coordenadas Lat/Long e Datum WGS84.

c. Modelo Digital do Terreno – MDT

Conforme Aspiazú *et al.* (1990), Modelos Digitais do Terreno (MDTs) se referem à aquisição, processamento e utilização de dados digitais para a elaboração de modelos que representem, graficamente, o relevo da superfície terrestre. Neste contexto, foram gerados os MDTs a partir das curvas de nível, com equidistância de 10 metros e escala de 1:25.000, de 1946, 1989 e 2000 (Figura 5.1, fluxograma A).

A partir dos MDTs foram elaborados para os seguintes produtos:

- perfis topográficos: foram elaborados no *software* ArcGis versão 9.2 utilizando-se a ferramenta 3D *Analyst*. Através dos MDTs dos anos citados foi traçado um transecto que vai dos picos onde ocorre a exploração do minério de ferro até o nível de base, gerando os gráficos que representam o perfil de elevação das áreas. Apesar dos MDTs de temporalidades distintas terem sido gerados a partir de curvas de nível de fontes diferentes (carta topográfica, fotografias aéreas, imagem ASTER), estas apresentaram resultados satisfatórios, conforme pode ser observado nos mapas e perfis gerados, possibilitando as análises realizadas.

- volume das cavas: utilizando a ferramenta 3D *Analyst* realizou-se a quantificação do volume das cavas para os anos de 1946, 1989 e 2000, em m³, proporcionando uma análise do quanto foi retirado de material, nos anos citados, através da extração do minério de ferro, como também do material descartado e depositado em pilha de estéril ou à jusante do Complexo Itabira. Utilizou-se o *software* ArcGis 9.2 para recortar o mapa altimétrico de cada cava, o que permitiu, através da ferramenta 3D *Analyst*, realizar o cálculo do volume total das cavas para os períodos de 1946 a 1989 e de 1989 a 2000. Para se saber o valor do volume retirado em cada período, fez-se a subtração do volume (valor do volume do ano mais antigo menos o valor do volume do ano mais recente). Para se chegar à média anual, tomou-se o valor extraído no respectivo período, dividindo-o pelo total de anos transcorridos neste período, referente ao intervalo de tempo da coleta dos dados.
- imagem em 3D: utilizou-se a ferramenta ArcScene, aplicativo do ArcGis versão 9.2, para realizar a visualização em formato tridimensional (3D) do Complexo Itabira, o que contribuiu para a interpretação das feições antropogênicas. A visualização 3D (ou tridimensional) tem sido muito utilizada em alguns meios, dentre os quais podem ser destacadas as indústrias cinematográficas e, mais ainda, da informática (ROS *et al.*, 2002). O Sistema de Informação Geográfica (SIG) permite uma melhor visualização e interpretação da superfície terrestre.

5.2.4. Investigação de campo

Em junho de 2011, durante visita técnica do sétimo período do curso de Geografia do Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG, *campus* Ouro Preto), foi realizado o registro fotográfico das minas que integram o Complexo Itabira e o reconhecimento dos métodos de extração e beneficiamento do minério de ferro, empregados na área investigada.

5.2.5. Análise do sistema fluvial

Para análise do sistema fluvial onde está inserido o Complexo Itabira foi digitalizada a rede de drenagem, as nascentes e planícies de inundação da carta topográfica de 1946, na escala de 1:25.000, no *software* ArcGis versão 9.2. As curvas de nível de 2008, conjuntamente com o banco de dados de 1989, fornecidas pelo Instituto de Geociências Aplicadas (IGA), permitiram a construção do sistema fluvial em 2008.

Através da comparação dos esboços geomorfológicos de 1946 e 2008 foram detectadas as alterações ocorridas no sistema fluvial. A interpretação das imagens fornecidas pelo *Google Earth* no ano de 2011²⁹ proporcionou a identificação das alterações no sistema fluvial, bem como danos ambientais decorrente da exploração do minério de ferro a céu aberto.

Para a quantificação das nascentes comparou-se as informações presentes na tabela de atributos do *software* ArcGis versão 9.2, contidas nos arquivos a elas referentes para os anos de 1946 e 2008. Os demais elementos que compõem o sistema fluvial permitiram uma comparação visual através dos esboços geomorfológicos.

A representação cartográfica da exploração do minério de ferro nos últimos 62 anos na área investigada possibilitou reconhecer e caracterizar o quadro ambiental em que se insere a rede de drenagem e as calhas fluviais, mediante a interferência antropogênica.

²⁹ O Google Earth é um programa gratuito da empresa americana Google que fornece imagens de satélite do globo terrestre.

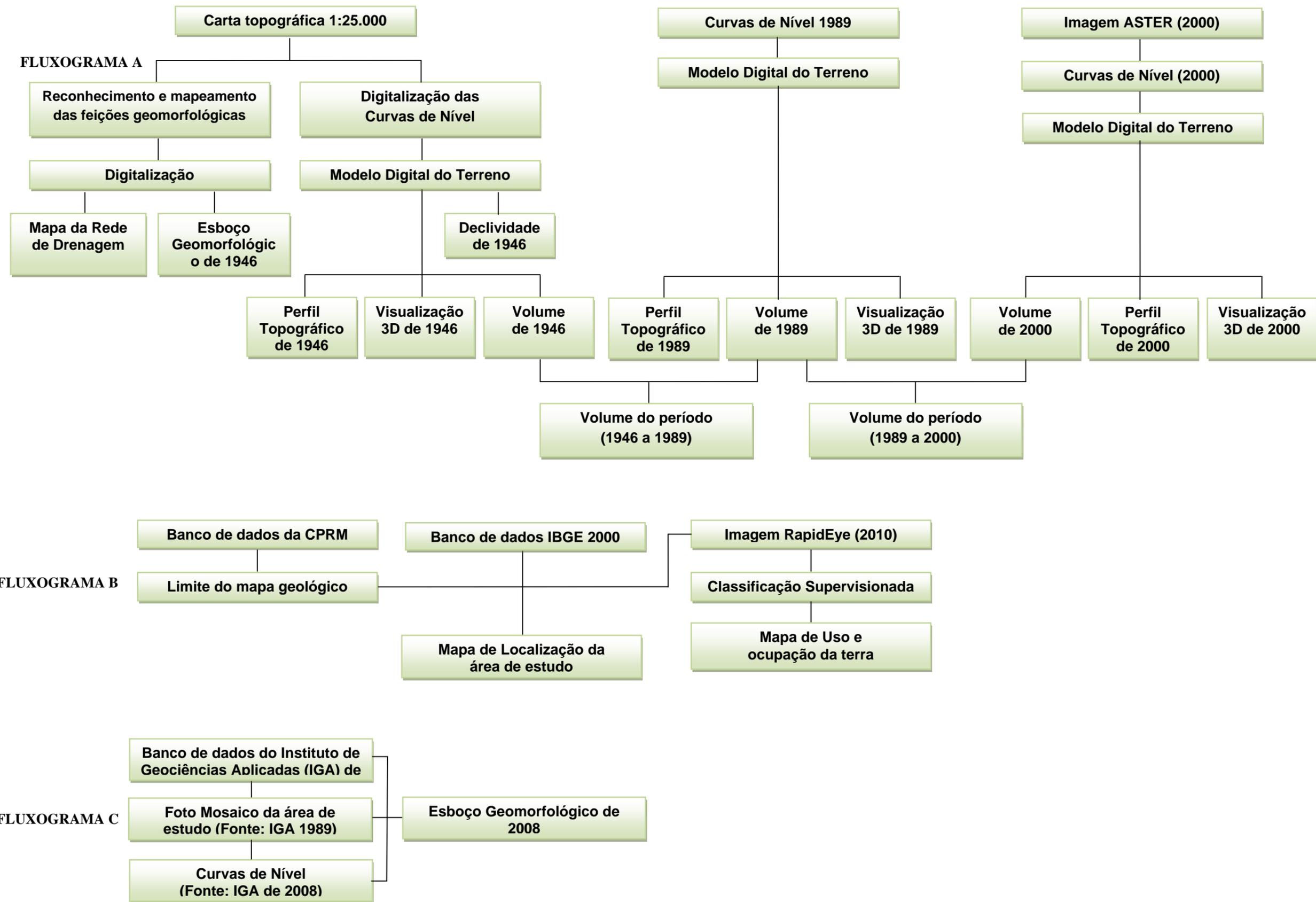


FIGURA 5.1 - Fluxogramas Metodológicos

6 RECONHECIMENTO, CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO RELEVO ANTROPOGÊNICO DECORRENTE DA ATIVIDADE DE MINERAÇÃO DE FERRO NO COMPLEXO ITABIRA

6.1. ATIVIDADE DA MINERAÇÃO DE FERRO NO COMPLEXO ITABIRA NA GÊNESE DO RELEVO ANTROPOGÊNICO

Em 1946, a intervenção da atividade minerária no relevo onde está inserido o Complexo Itabira era praticamente desprezível, considerando-se sobretudo a escala de análise empregada. As intervenções eram muito localizadas, pontuais, embora já presentes nessa época, segundo registros históricos do empreendimento minerário na região. A exploração do minério de ferro no Complexo Itabira teve início em 1942, nas minas do Cauê e de Conceição. Entre 1930 e 1950, cerca de 98% da produção nacional de minério de ferro era proveniente de Minas Gerais, com destaque para aquela extraída a partir de explorações localizadas no Complexo Itabira (GONSALVES, 1937; CVRD 1992, 2001; SCLIAR, 1996).

Ao se analisar os perfis topográficos, verificou-se a configuração do relevo caracterizado pelas sinclinais em suspensão de Cauê, Dois Córregos e Conceição (Figura 6.1). O flanco leste da sinclinal Cauê apresentava uma variação quanto à altimetria de 1300 m até 800 m.

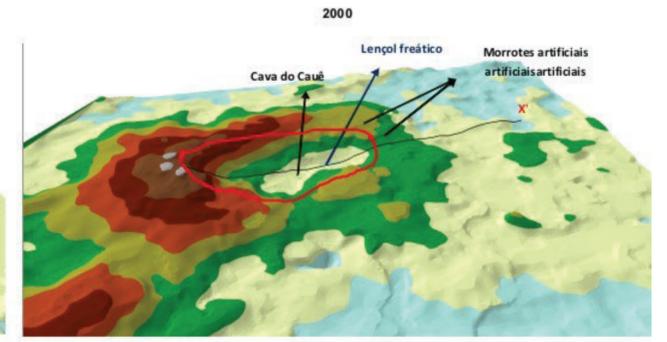
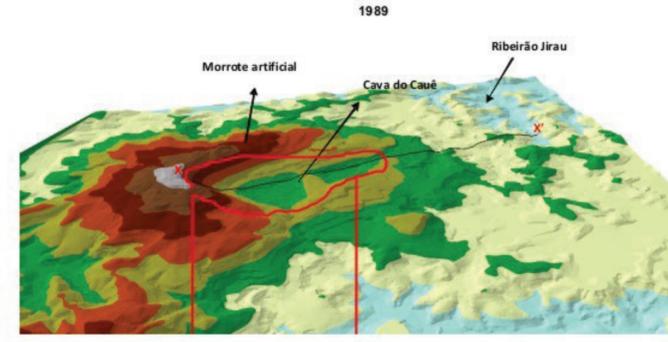
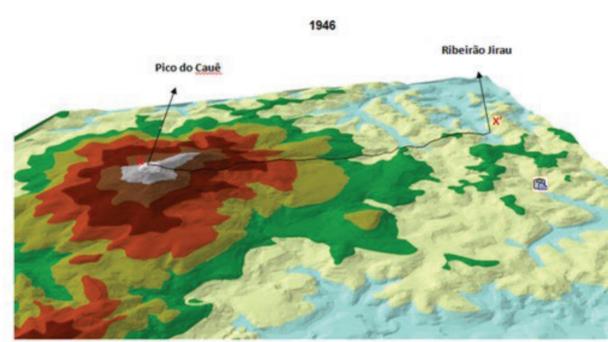
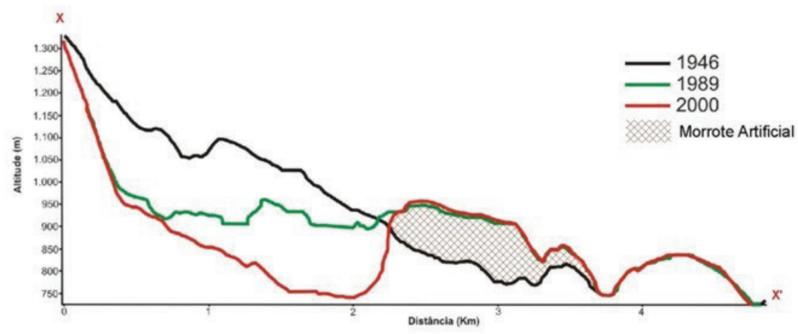
No flanco leste de Dois Córregos tem-se uma variação altimétrica de 1200 m até 730 m. Este flanco apresenta uma depressão onde se localiza a gruta de Esmeril, decorrente da dissolução do dolomito. Segundo Cristofolletti (1980), apesar do dolomito não ser tão facilmente dissolvido quanto o calcário, há outros fatores que contribuem para a sua dissolução. Dentre esses, destacam-se a quantidade moderada de precipitação e a existência de fissuras e fraturas para permitir a passagem fácil da água. Na gruta de Esmeril, ao longo do processo de exploração, houve a sua descaracterização. Por sua vez, a variação no flanco leste de Conceição é da ordem de 1340 m a 750 m, essa cota sendo mais baixa às margens do rio do Peixe (Figura 6.1).

Na década de 1980, segundo levantamento realizado pelo Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM), as reservas conhecidas no estado de Minas Gerais totalizavam 14.190.373.624 toneladas, com 52,7% com teor de ferro, sendo Itabira um dos municípios que se destacava com relação à quantidade de reservas.

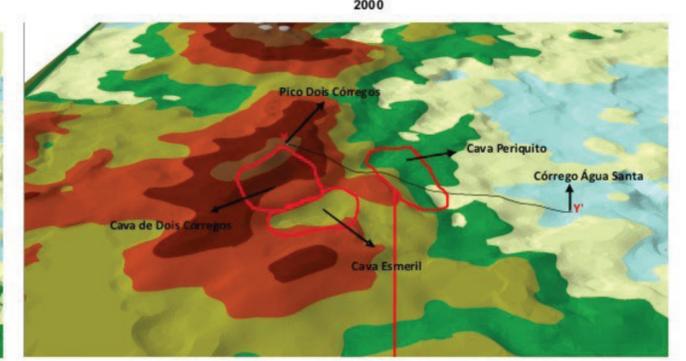
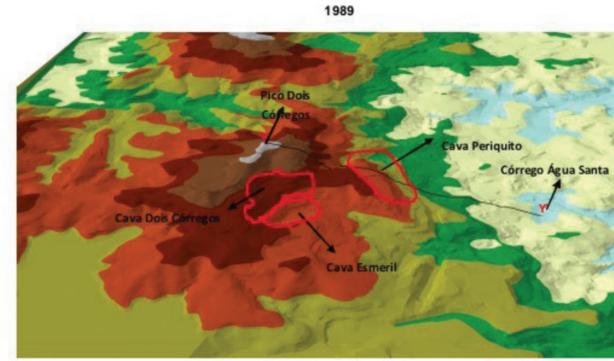
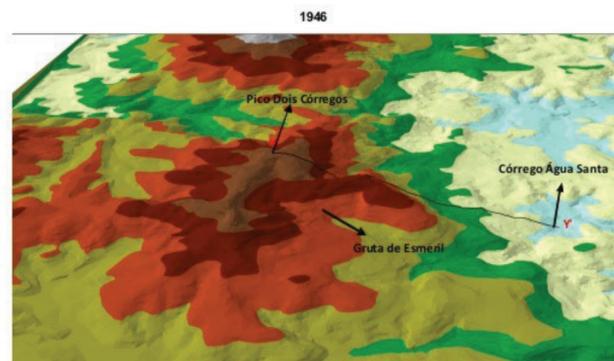
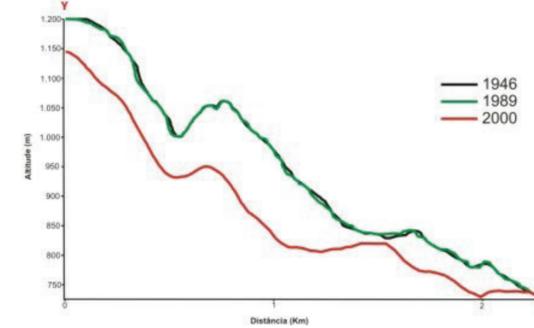
Nesse período, houve um intenso investimento na pesquisa mineral, responsável pelo aumento na identificação das reservas de minério de ferro (MME, 2009).

Diante dos perfis de 1989, são perceptíveis as alterações decorrentes da atividade minerária. Tem-se um rebaixamento de 170 m do flanco leste Cauê, que vai desde o pico até a parte final da cava. Após a cava é possível afirmar que houve um aumento da altitude, decorrente da reconstituição topográfica através das pilhas de estéril originadas das demais minas e caracterizado por morrotes artificiais. Esse rebaixamento acentuado também é perceptível nos flancos de Dois Córregos, de aproximadamente 50 metros do pico até o nível de base, e Conceição, onde ao longo de 62 anos a exploração ocasionou o rebaixamento do pico até o final da cava de aproximadamente 70 m (Figura 6.1). Nota-se que as interferências antropogênicas, no estudo de caso, ocasionaram a retirada, em parte dos picos, e rebaixamento das encostas, criando taludes artificiais. Nas bordas das cavas verificou-se a reconstituição topográfica.

Perfil do Pico do Cauê



Perfil do Pico Dois Córregos



Perfil do Pico da Conceição

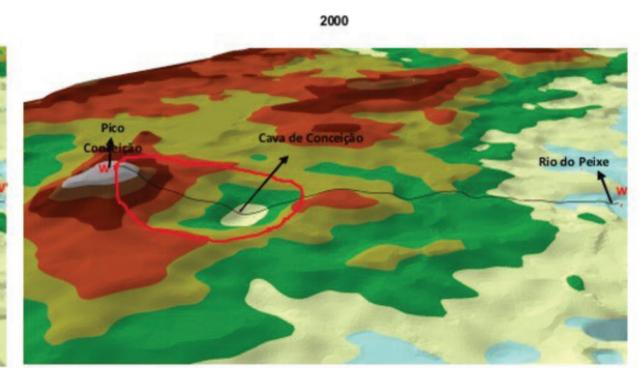
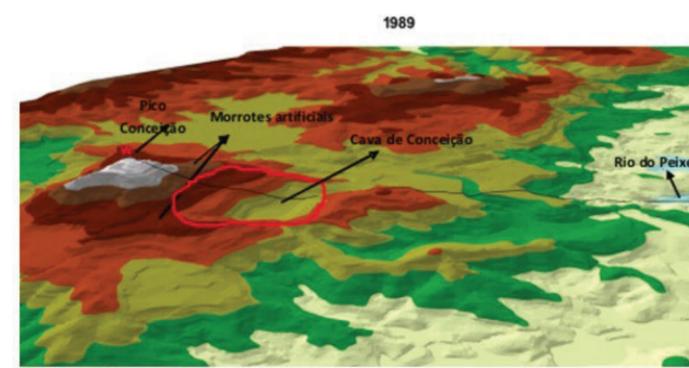
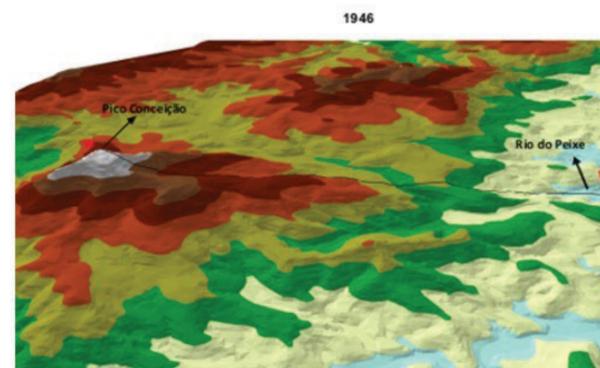
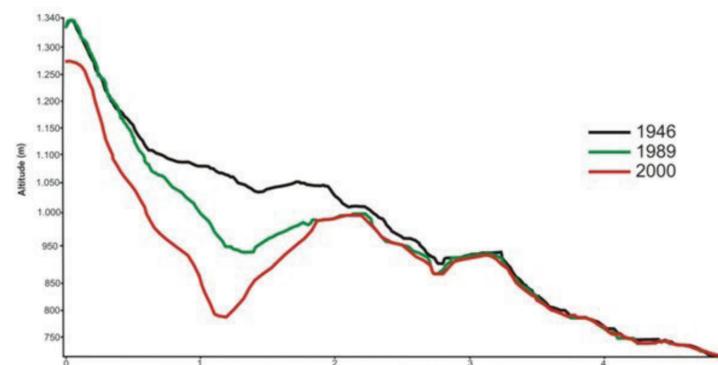


FIGURA 6.1 – Transectos dos flancos leste Cauê, Dois Córregos e Conceição, conjuntamente com a visualização tridimensional (3D) nas temporalidades de 1946, 1989 e 2000. Observe pela análise espaço-temporal da ação do homem no relevo na exploração do minério de ferro a céu aberto. FONTE: ANDRADE (2012)

Considerando o mapa de declividade gerado para o ano de 2000, 23,3% da área de estudo encontrava-se na classe 0 a 5° (áreas de baixa declividade), 74,4% da área na classe de 5 a 30° (áreas de média declividade), 1,9% e 0,4%, respectivamente nas classes 30 a 45° e acima de 45° (áreas de média-alta e alta declividade).

Ao comparar os dados de declividade dos anos de 1946 e 2000 observou-se um aumento de 8,5% das áreas classificadas como de baixa declividade. Esse aumento ocorre nas áreas onde se encontram as barragens de rejeito. Nas áreas classificadas como de média declividade ocorreu uma redução de 5,5%. A maior parte dessas áreas sofreram rebaixamento. Mesmo com essa redução, entretanto, continua a ser a classe em que se situa a maior porcentagem da área de estudo. A classe de média-alta declividade apresentou uma redução de 2,8%, cuja interpretação demonstrou que as principais mudanças ocorreram nas áreas de mineração. A classe de alta declividade apresentou a menor mudança, com um valor de 0,2% (Figura 6.2).

Outro fator está no rebaixamento do nível da água onde se localiza a cava de Cauê. A intensa exploração na mina ocasionou a exfiltração do lençol freático, e com a sua desativação em 2004, segundo Galbialtti (2006), está sendo depositado nela o rejeito das outras minas.

De acordo com David (2008), em razão do desenvolvimento socioeconômico, é expressiva a extração, em quantidade, do produto mineral, surgindo assim as “paisagens de mineração”. Essas paisagens implicam – a exemplo das pedreiras e também do minério de ferro – a remoção de colinas inteiras e acumulação de sedimentos nas depressões. Nesse contexto, em 2000, configura-se o relevo antropogênico que ocasiona a remoção de parte dos picos de Cauê, Dois Córregos e Conceição e o rebaixamento dos flancos em que se encontram as cavas. Próximas às cavas ocorre a recomposição topográfica, caracterizada pelos morrotes artificiais.

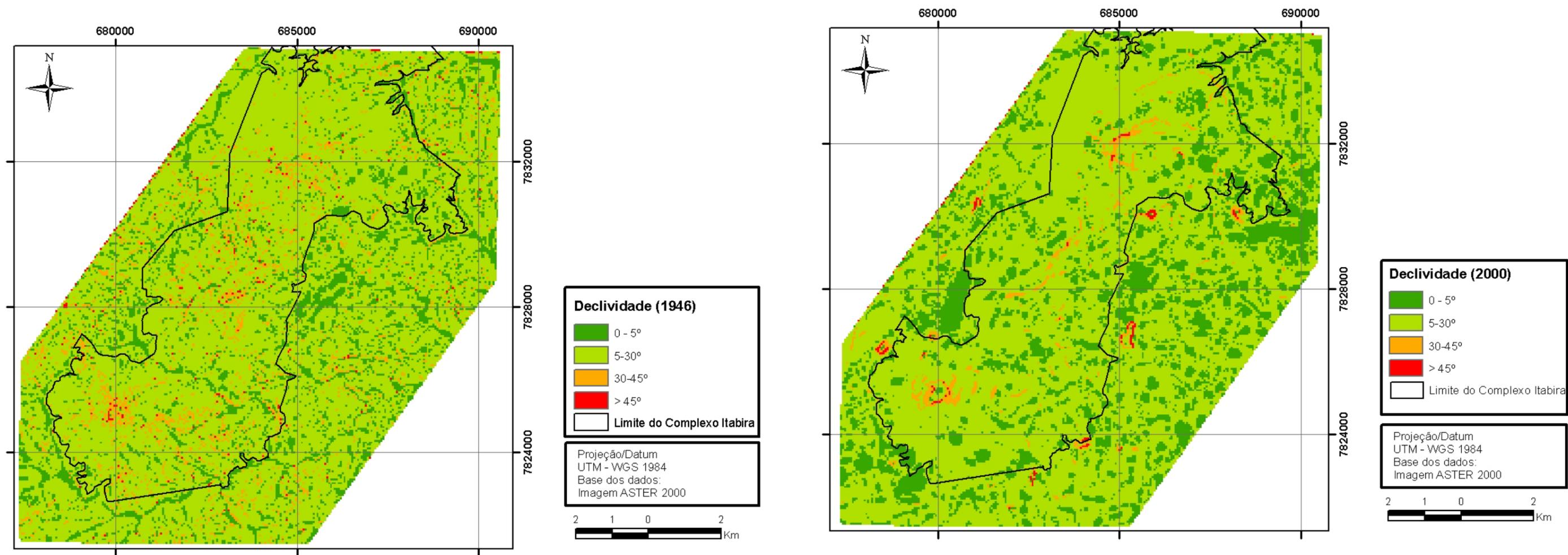


FIGURA 6.2 – Classes de declividade da região do Complexo Itabira, calculadas a partir de carta topográfica de 1946 e da imagem Aster de 2000. Observa-se na região as alterações na declividade em virtude da atividade minerária.

FONTE: ANDRADE, C.F. (2012).

6.2. INTERFERÊNCIA DA AÇÃO HUMANA NAS VERTENTES

Ao longo do espaço-tempo, o homem vem exercendo uma forte pressão nos recursos naturais, alterando e criando feições e intensificando processos erosivos de forma expressiva na paisagem. Nesse contexto, o esboço geomorfológico de 1946 mostra como eram as feições no início do processo de exploração do minério de ferro na região (Figura 6.1).

O esboço geomorfológico de 1946 apresenta os principais elementos morfológicos das vertentes e calhas fluviais, tais como planícies de inundações, nascentes, rede de drenagem e interflúvio. Ao analisá-lo, nota-se que as reentrâncias localizam-se nas altas vertentes inseridas nas cotas altimétricas entre 1000 a 1300 m, apresentando topos angulares, onde se localizam as cabeceiras de drenagem com a presença de nascentes. As cabeceiras de drenagem são expressivas na área de estudo, o que contribui para a alimentação na vazão dos principais rios. Conforme Bigarella *et al.* (2007), nas cabeceiras de drenagem encontram-se os canais efêmeros, que são alimentados exclusivamente pelo escoamento superficial das encostas, sem interferência das águas do lençol freático. Segundo Cunha (1994), essa morfologia, em condições originais, apresentaria tendência à convergência de fluxos hídricos em superfície e subsuperfície, podendo gerar escoamento superficial concentrado, sobretudo nas partes inferiores das vertentes.

Os elementos convexos que estão presentes entre as cotas altimétricas de 800 a 950 metros são expressivos, representando as médias e baixas vertentes. Assim, as feições existentes na superfície traduzem a interação dos agentes e processos, bem como a composição estrutural, que formaram a paisagem ao longo do tempo geológico. Os elementos côncavos e convexos são verificados nos perfis topográficos (Figura 6.1).

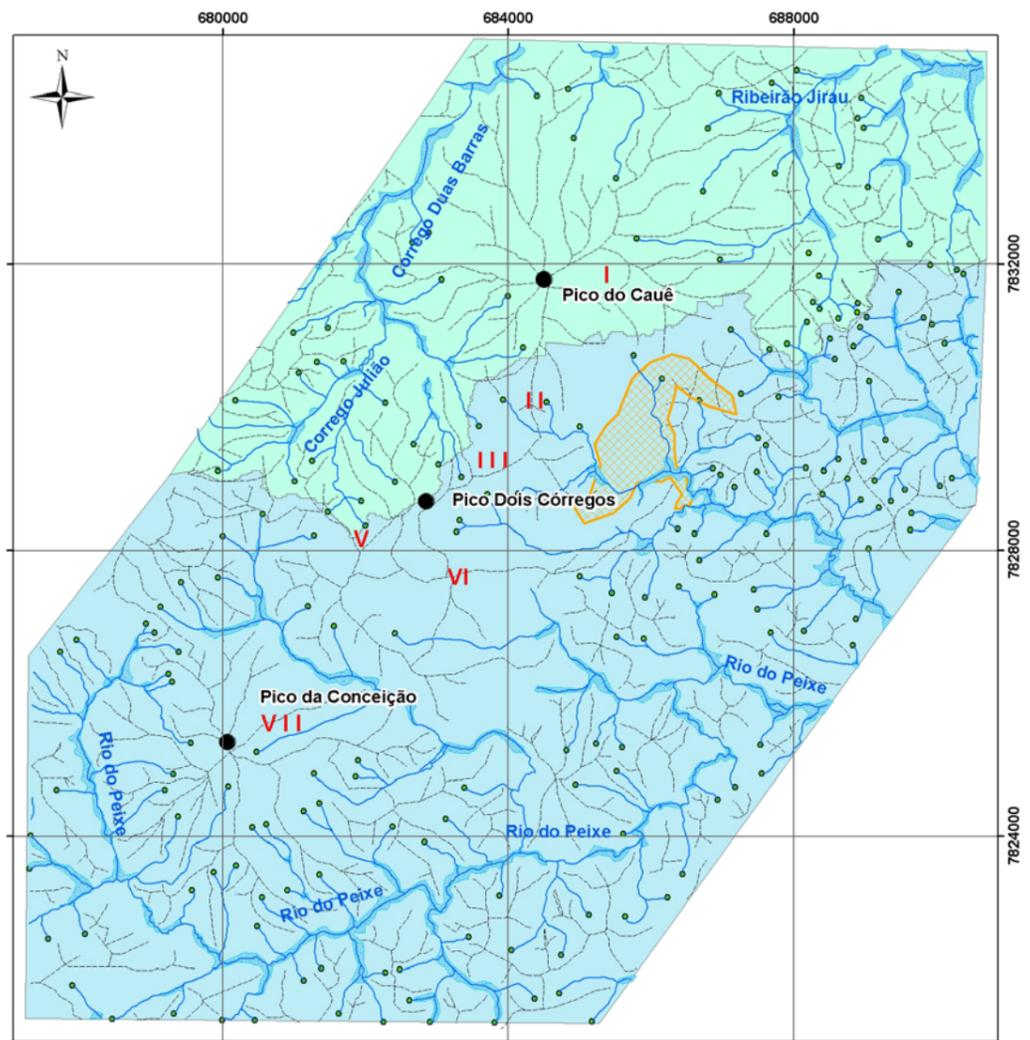
Como divisores de água, os interflúvios são significativos na área de estudo, resultante da própria configuração do relevo. Os picos de Cauê, Dois Córregos e Conceição são os grandes divisores de água e contribuem na expressividade da rede de drenagem (Figura 6.3).

As pequenas planícies de inundações existentes na área de estudo decorrem da configuração do relevo, com predominância de declividades médias

(entre 5° a 30°), caracterizadas por vales profundos, de perfis em “V”, que denotam gradiente de drenagem elevado.

A partir da comparação com o esboço geomorfológico de 2008, têm-se as principais alterações quanto às feições do relevo na região. Verifica-se inversão do relevo, em que áreas que apresentavam saliências (convexas), onde ocorria a dispersão de água, tornaram-se áreas de reentrâncias (côncavas), caracterizadas por processos tecnogênicos degradativos. Constata-se também o rebaixamento dessas áreas, em razão da retirada de material do processo da exploração minerária. No entorno das cavas ocorre o processo de agradação de material, provido pela exploração do minério de ferro para a recomposição topográfica (Figura 6.3).

Esboço Geomorfológico (1946)



Legenda

- Nascente
- Rede de Drenagem
- - - Interflúvio
- ▨ Área Urbana (1946)
- Planície de Inundação
- Sub bacia do rio do Peixe
- Sub bacia do rio Jirau

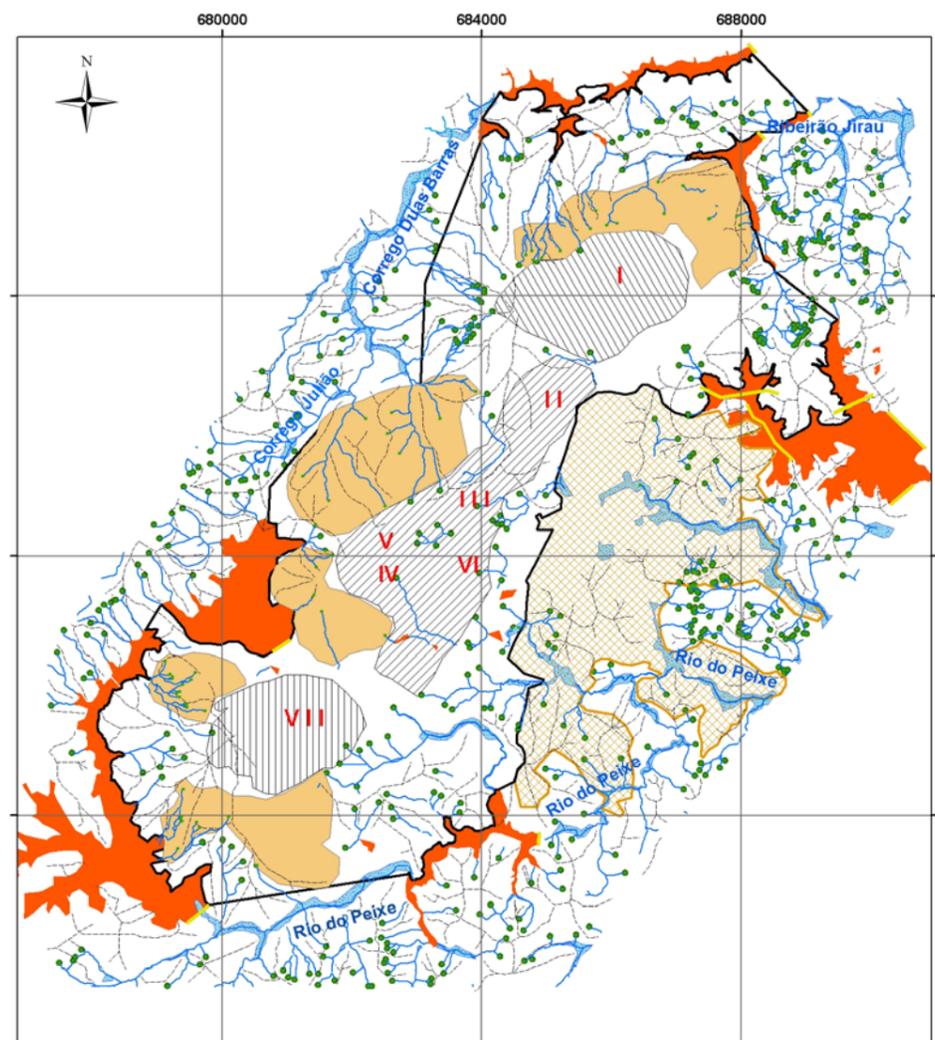
Localização das Cavas

- I Cauê
- II Chacrinha
- III Onça
- V Dois Córregos
- VI Periquito
- VII Conceição

Projeção/Datum
UTM - WGS 1984
Base dos dados:
DNPM

0 1 2 4 Km

Esboço Geomorfológico (2008)



Legenda

- Nascente
- Dique
- Rede de Drenagem
- - - Interflúvio
- ▨ Limite das minas do Meio
- ▨ Limite da mina da Conceição
- ▨ Limite da mina do Cauê
- ▭ Limite do Complexo Itabira
- Pilha de estéril
- ▨ Área Urbana
- Planície de inundação
- Barragem de rejeito

Localização das Cavas

- I Cauê
- II Chacrinha
- III Onça
- IV Esmeril
- V Dois Córregos
- VI Periquito
- VII Conceição

Projeção/Datum
UTM - WGS 1984
Base dos dados:
DNPM
Imagem RapidEye
Fotografia Aérea IGA

0 1 2 4 Km

FIGURA 6.3 – Esboços geomorfológicos da região do Complexo Itabira em 1946 e 2008. Observe o traçado das linhas dos principais interflúvios, a localização das principais nascentes, a extensão das planícies de inundação, bem como a localização das minas, em 1946, e as feições do relevo antropogênico em 2008.

FONTE: ANDRADE, C.F. (2012).

Após análise de ambos os esboços geomorfológicos, observa-se que a mina do Cauê teve início no pico homônimo (Figura 6.4). Atualmente, é uma cava de dimensões consideráveis, desativada em 2004 (Figura 6.5). No seu entorno está sendo depositado material estéril proveniente das minas do Meio (Chacrinha, Onça, Esmeril, Periquito e Dois Córregos) e da mina de Conceição, na reconstituição topográfica do antigo pico.



FIGURA 6.4. Foto ilustrativa do livro da CVRD demonstrando a prospecção mineral nas proximidades do Pico do Cauê, 1920-1930. Observe em primeiro plano a perfuratriz utilizada na exploração do minério.

FONTE: CVRD (1992).



FIGURA 6.5. Nota-se no entorno da cava a reconstituição topográfica da Mina do Cauê através de material estéril.

FONTE: VALE (2011).

A reconstituição topográfica se faz mediante a disposição do estéril, pelo método ascendente de bancada. De acordo Galbiatti (2006), a movimentação total de estéril e minério na mina do Cauê era enorme, e somou de 1942 até 2004 o valor de 1,54 bilhão de toneladas, sendo 1,027 bilhão de minério e 0,512 bilhão de estéril. A relação estéril-minério global foi da ordem de 0,50.

Dentre as formas antropogênicas decorrentes da exploração do minério de ferro, têm-se as formas erosivas e deposicionais. De acordo com Estaiano (2007), as formas erosivas são resultantes das escavações realizadas na área minerada, como as cavas, caracterizadas por fortes rupturas de declividades nas encostas e taludes. As cavas no Complexo Itabira são caracterizadas por bancadas, que possuem altura de 15 m, espaçamento de 8 m e profundidade de aproximadamente 400 m (Figura 6.6).



FIGURA 6.6. Fotografias registradas no trabalho de campo em 2011 referentes a cava da mina de Conceição. Observe a parte mais escura no corte, que corresponde ao minério de ferro, rico em hematita, a parte mais clara, ao estéril.

FONTE: ANDRADE, C.F. (2011).

As formas deposicionais são formadas por processos de deposição de material estéril na reconstituição topográfica do relevo. Outra forma de deposição são os diques, que desencadeiam forte ruptura de declividade. São destinados à contenção de material descartado, resultante do processo de beneficiamento do minério, lavagem, moagem, britagem e tratamento químico,³⁰ constituindo as barragens de rejeitos. A localização delas, diante da declividade do terreno, constitui-se em área de convergência de fluxos hídricos e zonas de acumulação de sedimentos nos reservatórios.

³⁰ Definição para rejeito conforme a Deliberação Normativa COPAM n° 87/2005.

Diante do mapa síntese, conjuntamente com a Tabela 6.1, observamos as alterações quanto às feições ao longo de 62 anos de exploração do minério. Mediante a expansão das minas, de 14,42 km², ocorreu uma diminuição significativa da rede de drenagem na área do Complexo de Itabira. Algumas drenagens foram também canalizadas, na área urbana, e outras deram lugar às barragens de rejeitos. Outra alteração importante está relacionada à decapitação das nascentes, o que vem comprometer a dinâmica de infiltração, percolação, escoamento superficial e de subsuperfície.

TABELA 6.1 – ALTERAÇÕES DOS ELEMENTOS CONSTITUÍDAS NOS ESBOÇOS GEOMORFOLÓGICOS

Elementos do esboço	1946	2008
Área urbana	2,1 km ²	16,2 km ²
Interflúvio	486	448
Nascentes	199	93
Planície de inundação	7,1 km ²	1,55 km ²

Quanto aos interflúvios, houve diminuição significativa na área minerada, da qual resulta um redirecionamento dos fluxos hídricos. Outra modificação diz respeito à diminuição expressiva das planícies de inundação, atualmente ocupadas pela expansão urbana e pelo empreendimento minerário.

As barragens de rejeito, totalizando 47,23 km², ocupam área expressiva na região, estando localizadas próximas às pilhas de estéril e à área urbana do

município de Itabira. Essas barragens armazenam rejeitos líquidos e sólidos que após o processo de decantação aos poucos se instalam no fundo da barragem e próximo aos diques, devido à topografia do relevo. Nota-se também a extensão da recomposição topográfica através das pilhas de estéril, com o total de 13,70 km².

Em 62 anos de exploração do minério de ferro, o Complexo de Itabira é o retrato de empreendimentos minerários que promoveram desmatamento, alterações topográficas diante das escavações de terras em grande extensão linear e em profundidade, como também produção de rejeitos e efluentes lançados nas encostas (ANDRADE, 1983; KOPPE, 2007; SCILIAR, 1996; CHIOSSI, 1984; IBRAM, 1992).

7 INTERFERÊNCIA DA ATIVIDADE MINERÁRIA DO COMPLEXO ITABIRA NA ORGANIZAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DA REDE DE DRENAGEM E NA DINÂMICA DE CALHAS FLUVIAIS

7.1 ORGANIZAÇÃO DA REDE DE DRENAGEM E HIERARQUIAS DOS CANAIS FLUVIAIS

Ao considerar a hierarquia da rede de drenagem da área de estudo para o ano de 1946, constatou-se que os canais fluviais dentro do polígono atingem a quarta ordem. No esboço geomorfológico de 2008, há uma redução dos canais de primeira ordem na área correspondente ao Complexo Itabira, ocasionando grandes alterações na ordem dos canais e nos seus fluxos de base. Decorrentes das instalações dos diques e a formação das barragens de rejeito (Figura 6.3). No trabalho realizado por Levanteza e Perez Filho (2009) verificou-se que nas obras de engenharia houve uma reativação da rede de drenagem com o incremento dos canais de primeira ordem.

Quanto ao padrão de drenagem as sub-bacias do Jirau e do Peixe apresentavam em 1946 forma retangular. Ao analisar a drenagem a partir do esboço de 2008, constatou-se que elas deixaram de existir. Ao comparar a região à jusante, nas mesmas datas, constatou-se que a área foi substancialmente alterada, com destaque para a canalização de alguns canais fluviais e a instalação de barragens de rejeito. Nesse contexto, têm-se alterações quanto à rede de drenagem diante da exploração do minério de ferro: geometria dos canais, e a inexistências de alguns canais, como também na movimentação da água. Esses resultados podem ser verificados nos trabalhos desenvolvidos por Wohl (2006), Hao *et al.* (2009) e James (2006).

7.2 IMPACTOS DAS OBRAS DE ENGENHARIA: EXPLOTAÇÃO MINERÁRIA E ALTERAÇÕES NO SISTEMA FLUVIAL NA ÁREA DE ESTUDO

As obras de engenharia ao serem realizadas visam o melhor aproveitamento das águas fluviais através da canalização, criação de reservatórios, implantação de usinas hidrelétricas, maior produtividade em empreendimentos minerários, etc. Essas obras implicam em alterações significantes no sistema fluvial.

a. Barragem de rejeitos

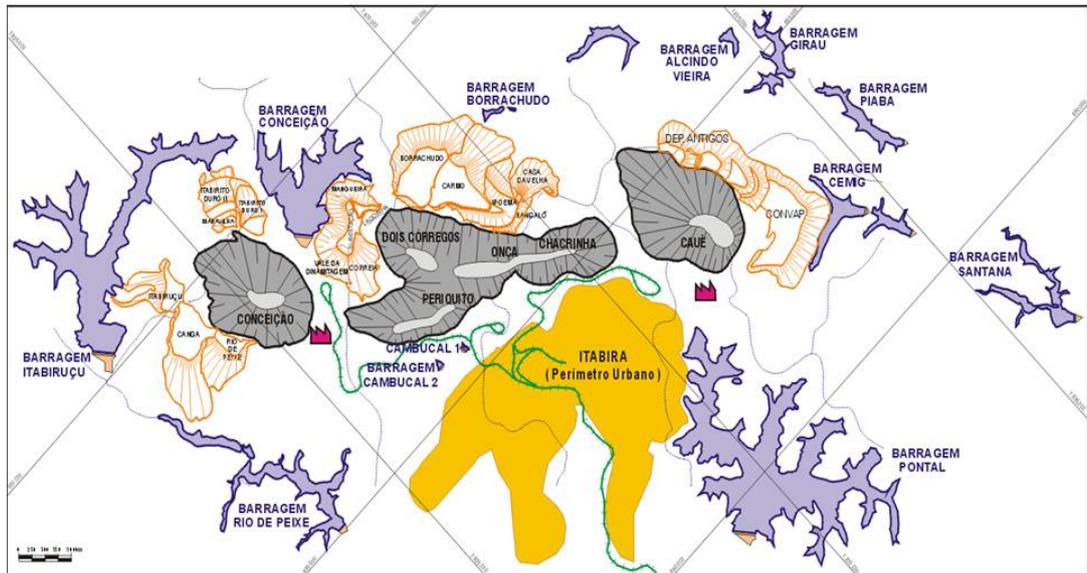


FIGURA 7.1 – Mapa das doze barragens de rejeito (em azul) existentes com seus respectivos diques (em laranja) e em laranja hachurado as pilhas de estéril.

FONTE: Vale (2011)³¹.

No Complexo Itabira existem doze barragens (Figura 7.1), construídas com o objetivo de promover a retenção de rejeitos decorrentes do beneficiamento do minério de ferro e de materiais sólidos carreados pela erosão.

De acordo com a Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), 2009, das doze barragens fiscalizadas dez estão classificadas como alto potencial de dano ambiental. Esta classificação está conforme a Deliberação Normativa da COPAM nº. 062/2002 cujos critérios estão relacionados com a altura da barragem, volume do reservatório, ocupação humana, interesse ambiental e instalações na área à jusante.

Todas as barragens estão estáveis³² e apresentam áreas à jusante totalmente descaracterizadas com relação as suas condições naturais, sendo assim de baixo interesse ambiental. Com exceção das barragens CEMIG I, II e Jirau, todas as demais estão próximas às áreas ocupadas por passagem, pessoas e veículos e por bairros.

Cinco barragens estão destinadas ao armazenamento de água e rejeito, como, por exemplo, a barragem do Pontal, considerada a maior barragem e

³¹ Figura apresentada na visita técnica da Vale.

³² A estabilidade é garantida pelo auditor de uma empresa privada contratada pelo empreendimento minerário.

localizada próxima da área urbana do município, com altura de 60 metros e um volume no reservatório de 122.550.000 m³ (Figura 7.2).



FIGURA 7.2 – Imagem orbital do *Google Earth* em 2011. Verifica-se a extensão da barragem do Pontal.

FONTE: *Google Earth*, 2011.

A carga de sedimentos foi evidenciada também no trabalho realizado por Jesus (2004) na porção centro-leste de Anápolis (GO), cuja intensificação do processo erosivo, intitulada de “agradação antrópica”, desencadeou no acúmulo expressivo de sedimentos no córrego Água Fria e em uma represa à jusante, chegando a ficar totalmente assoreada em 2002. De acordo com Mcsvaney e Whitehouse (1989), a ação antrópica na intensificação dos processos erosivos pode ser considerada mais significativa e extensiva do que a erosão natural.

As demais barragens, a exemplo das Barragens Cambucal I e II, estão destinadas ao depósito de sólidos carreados pelos processos erosivos. Nota-se nessas barragens a presença de material líquido proveniente da atividade minerária (Figura 7.3).



FIGURA 7.3 – Imagem orbital do *Google Earth* ano 2011 das barragens Cambucal I (A) e II (B). Nota-se a presença de processos erosivos a jusante das barragens, podendo contribuir para a instabilidade dos barramentos.

FONTE: *Google Earth*, (2011).

As barragens de rejeitos alteram significativamente a dinâmica da rede de drenagem – trechos onde o sistema lótico passam para um sistema lântico com volumoso acúmulo de rejeitos. Estas alteram também os processos morfodinâmicos nas vertentes, tal como a aceleração da erosão nos segmentos com maior declividade, proporcionando um aumento na quantidade de material sedimentar transportado, podendo causar, numa perspectiva sistêmica, impactos à fauna aquática dos cursos fluviais.

a. Volume das cavas

Para analisar o material que poderá ser depositado nos barramentos e à jusante do empreendimento, foram calculados os volumes das cavas nas temporalidades de 1946, 1989 e 2000, através do *3D Analysty* (Tabela 7.1). Na cava do Cauê verifica-se que, no período de 1946 a 1989 foi retirado um volume de material correspondente à $263.197.397,00 \text{ m}^3$. Considerando o estudo realizado por Galbiatti (2006), considera-se que para cada tonelada retirada, 66,7% desse total é minério de ferro e 33,3% é estéril. Assim, dos $263.197.397,00 \text{ m}^3$ retirado,

175.552.663,80 foi minério e 87.644.733,20 foi estéril. No período de 1989 a 2000, na cava do Cauê, dos 134.366.273,33 m³ retirados, 89622304,31 foi minério e 44743969,02 foi estéril.

O processo inicial de exploração do minério ocorreu nas cavas pertencentes às minas do Cauê e Conceição. Não havia, naquela época, nenhum dispositivo legal para o destino do material descartado. Acredita-se que grande parte desse material foi, ao longo dos anos, carregado e depositado a jusante do empreendimento, comprometendo, assim, a dinâmica do sistema fluvial.

Diante da análise realizada no Complexo Itabira, registrou-se uma quantidade expressiva de carga de material gerado mediante à exploração do minério de ferro. Comparando os dois períodos, conforme pode ser observado nas tabelas 7.1 e 7.2 ,observou-se que a produção mineral anual praticamente dobrou.

Apesar da mina de Conceição ter começado a sua exploração no mesmo ano que a mina do Cauê, a produção foi bem menor, quando comparado os dois períodos. Observou-se que a produção mineral anual teve um aumento superior à 300% da produção total.

As minas do Meio apresentavam uma média baixa no primeiro período (1946 a 1989), realidade decorrente do fato que elas começaram a ser exploradas a partir da década de 1960. No segundo período analisado (1989 a 2000), observou-se um grande aumento da produção.

CAVAS	VOLUME (m ³) 1946	VOLUME (m ³) 1989	VOLUME (M ³) RETIRADO NO PERÍODO	VOLUME (m ³) POR ANO	MINÉRIO (m ³)	ESTÉRIL (m ³)
Cauê	1.117.263.147,28	854.065.750,28	263.197.397,00	6.120.869	4.082.620	2.038.249
Meio*	1.603.267.403,32	1.600.400.026,05	2.867.377,27	66.683	44.478	22.205
Conceição	721.635.885,60	623.789.157,85	97.846.727,75	2.275.505	1.517.762	757.743

TABELA 7.1 – CÁLCULO DO VOLUME ENTRE 1946 E 1989, VOLUME POR ANO E QUANTIDADE DE MINÉRIO E ESTÉRIL. FOI CONSIDERADO O SOMATÓRIO DAS CINCO CAVAS EXISTENTES NAS MINAS DO MEIO.

FONTE: ANDRADE, C.F, (2012).

CAVAS	VOLUME (m ³) 1989	VOLUME (m ³) 2000	VOLUME (m ³) RETIRADO NO PERÍODO	VOLUME (m ³) POR ANO	MINÉRIO (m ³)	ESTÉRIL (m ³)
Cauê	854.065.750,28	719.699.476,95	134.366.273,33	12.215.115	8.147.482	4.067.633
Meio*	1.600.400.026,05	1.510.263.421,79	90.136.604,26	8.194.236	5.465.555	2.728.681
Conceição	623.789.157,85	522.011.491,17	101.777.666,68	9.252.515	6.171.428	3.081.087

TABELA 7.2 – CÁLCULO DO VOLUME ENTRE 1989 E 2000, VOLUME POR ANO E QUANTIDADE DE MINÉRIO E ESTÉRIL FOI CONSIDERADO O SOMATÓRIO DAS CINCO CAVAS EXISTENTES NAS MINAS DO MEIO.

FONTE: ANDRADE, C.F (2012).

O ser humano têm causado um aumento expressivo na erosão e desnudação dos continentes, tanto diretamente, através da agricultura e construção, e indiretamente, pelo represamento dos rios mais importantes, que agora excedem a produção de sedimentos naturais (HOOKE, 2000; WILKINSON, 2005). Sobre a mineração, Langedal (1997), em estudo sobre a influência antropogênica na produção de sedimentos dos rios de Knabeina-Gina (Noruega), observou que a descarga de rejeitos de mineração tem muito contribuído para o acúmulo de banco de areias dentro do canal fluvial, causando sua instabilidade e aumento das taxas de sedimentação sobre as planícies de inundação. Conforme Brierley e Fryirs (2006), as atividades minerárias perturbam o regime hidrológico (por meio da remoção da vegetação e modificação de drenagem), aceleram a erosão e aumentam os sedimentos para os rios.

Trabalhos desenvolvidos por Marchetti (2002), Beach (*et al.*, 2008), Rosen (2008), Butler (2006), Hooke (2006), Hewawasam (*et al.*, 2003), Harden (2006) e L. Allan James e W. Andrew Marcus (2006) evidenciam mudanças significativas na dinâmica fluvial. Alterações geomórficas, contaminação de sedimentos fluviais, desestabilização de encostas (contribuindo para o desencadeamento de movimento de massas), comprometem a dinâmica existente na bacia hidrográfica, com o acúmulo expressivo de sedimentos nas planícies de inundações.

As análises dos esboços geomorfológicos de 1946 e 2008, conjuntamente com a mensuração do volume das cavas, atrelado à imagem orbital do *Google Earth*, contribuíram para comprovar as alterações significantes na dinâmica do sistema fluvial diante da exploração do minério de ferro na área de estudo. Assim, a interferência antrópica é significativa, comprometendo à fisiografia fluvial.

8 CONCLUSÃO

8.1 DINÂMICA DAS ENCOSTAS E TALUDES NA ATIVIDADE MINÉRIA A CÉU ABERTO

No Complexo de Itabira foram reconhecidos e mapeados as alterações relacionadas às formas onde se localiza o empreendimento. Observa-se também o rebaixamento dos flancos (no sentido leste), compreendidos por Cauê, Dois Córregos e Conceição, onde se localizam as cavas. Próximo às cavas, ocorre a recomposição topográfica, constituída por material estéril, criando feições antropogênicas do tipo morrotes artificiais. A exploração do minério de ferro proporcionou a inversão do relevo: as áreas com saliências (convexas) (onde ocorria a dispersão de água) tornaram-se áreas de reentrâncias (côncavas).

Assim, as feições antropogênicas, identificadas na área de estudo, são: taludes artificiais ascendentes, representadas pela recomposição topográfica intitulada de morrotes artificiais; taludes descendentes, representadas pelas cavas diques, onde ocorrem a formação das barragens de rejeitos e a canalização de parte da rede de drenagem em relação à expansão urbana e ao próprio empreendimento analisado.

8.2 A AÇÃO ANTRÓPICA NOS PROCESSOS GEOMORFOLÓGICOS

Na área em estudo, foi reconhecida a inversão dos processos, onde apresenta os processos degradativos passam a desencadear processos de aggradação, como as cavas. Os processos de aggradação ocorrem também diante da recomposição topográfica, no entorno das cavas, com a utilização das pilhas de estéril.

8.3 CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA FLUVIAL MEDIANTE A EXTRAÇÃO DO MINÉRIO DE FERRO NO COMPLEXO ITABIRA

A análise na área em estudo permitiu verificar a interferência da atividade minerária na dinâmica do sistema fluvial. Dentre as alterações, estão: alteração no padrão de drenagem, redução dos canais de primeira ordem e instalação de barragens de rejeitos que proporcionaram alterações dos corpos hídricos, ou seja, de lótico para água lântico.

As modificações do padrão de drenagem, conjuntamente à diminuição dos canais, decorrente da exploração do minério de ferro, alteram o regime hidrológico, comprometendo o abastecimento de água no município.

A remoção da vegetação, conjuntamente com as condições ambientais existentes na área de estudo (chuva, solo, rocha, relevo e a atividade minerária), contribuem na intensificação dos processos erosivos existentes na região.

8.4 REAÇÃO DO SISTEMA FLUVIAL COM A CARGA DE SEDIMENTO MATERIAL PÓS-EXTRAÇÃO DO MINÉRIO DE FERRO

Diante da análise realizada no Complexo Itabira, registrou-se uma quantidade expressiva de carga de material gerado mediante a exploração do minério de ferro. Nos primeiros 43 anos de exploração, a mina do Cauê gerou uma média de 6.120.869 m³ por ano. Entre 1989 a 2000, esse valor atingiu uma média de 12.215.115 m³.

A mina de Conceição, também começou a sua exploração no mesmo ano que a mina do Cauê, nos primeiros 43 anos o valor é menor nessa mina, em torno de 2.275.505 m³. No entanto, esse valor atingiu uma média de 9.252.515 m³ por ano entre 1989 a 2000.

As minas do Meio apresentam uma média de 66.683 m³ por ano. Esse fato é decorrente das mesmas terem sido exploradas a partir da década de 1960, porém nessa década a mina de Esmeril ainda não era explorada. No entanto, esse valor é acentuado entre 1989 a 2000 apresentando uma média de 8.194.236 m³ por ano.

Nesse contexto, a ação antrópica é significativa, na área de estudo, com expressiva carga de material gerado mediante a exploração do minério de ferro, o que vem a comprometer a fisiografia fluvial.

8.5 LEGISLAÇÃO MINERÁRIA E AMBIENTAL NA EXPLOTAÇÃO DO MINÉRIO DE FERRO COMO INSTRUMENTO PARA MITIGAR OS IMPACTOS/DANOS AMBIENTAIS INSTALADOS

Através das leituras realizadas nos decretos e normativas da legislação ambiental e minerária, conclui-se que, após a implementação da legislação ambiental, a legislação minerária busca adequar a exploração dos recursos minerais em consonância com a legislação ambiental. O planejamento e o desenvolvimento

da atividade minerária visam a busca permanente da produtividade, atenuando os impactos ambientais e corrigindo os danos provenientes das mineradoras que foram implantadas antes de vigorar a legislação ambiental.

Outro fator responsável pela adequação da exploração minerária às normativas ambientais, está relacionado com as exigências de investidores e agentes financiadores internacionais, exigindo dos empreendimentos minerários medidas mais racionais e sustentáveis junto ao seu processo produtivo. Essas exigências nem sempre se aportam à dimensão socioeconômica das áreas mineradas.

A atividade minerária causa impactos ambientais significantes (positivos e negativos), atingindo áreas em escalas regionais e afetando municípios não minerados, localizados em seu entorno. Os empreendimentos que surgiram antes de vigorar a legislação ambiental vigente buscam minimizar os danos, comumente por meio do emprego de novas tecnologias. Porém, empreendimentos com longo histórico de exploração, como a área investigada neste trabalho, caracterizam-se pela ocorrência de expressivos danos ambientais no meio físico, biótico e antrópico. Todavia, esses empreendimentos vêm, recentemente, colocando em prática medidas mitigadoras em razão de adequações exigidas pela legislação ambiental vigente.

REFERÊNCIAS

- ABRÃO, P.C; OLIVEIRA, S.L. Mineração. In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. (editores). *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. p.431-438.
- ALKMIM, F.F; MARSHAK, S. Transamazonian orogeny in the southern São Francisco Cráton region, Minas Gerais, Brazil: Evidence for paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research*, 90, p. 29-58, 1998.
- ALVES, A.O; LEAL, A.C. Análise ambiental do processo de canalização do córrego da colônia Mineira – Presidente Prudente/SP: ocupação e degradação ambiental dos fundos dos vales. *Revista Formação*, v. 2, n. 10, p. 259-276, 2003.
- AMORIM, R.R.; OLIVEIRA, R.C. Análise geoambiental dos setores de encostas da área urbana de São Vicente – SP. *Sociedade & Natureza*, Uberlândia. Ano 19, n. 37, p. 123-138, dez. 2007.
- ANDRADE, M. C. Mineração e Meio Ambiente. ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS SOBRE O MEIO AMBIENTE, 2.,1989, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis:Editora ENESMA, v. 3,1983. p.40-49.
- AUGUSTO FILHO, O.; VIRGILI, J.C. Estabilidade de taludes. In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. (Ed.). *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. p.243-269.
- AZAMBUJA, R. N. *Análise geomorfológica em áreas de expansão urbana no Município de Garanhuns – PE*. 153 f. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal de Pernambuco, CFCH, Recife, 2007
- BALTAZAR, O.F.; BAARS F.J.; LOBATO, L.M.; REIS, L.B.; ACHTSCHIN, A.B.; BERNI, G.V.; SILVEIRA, V.D. Integração geológica dos projetos USGS/DNPM e CPRM/DNPM na escala de 1:25000. In: LOBATO et al.. *Projeto de Geologia do Quadrilátero Ferrífero: integração e correção cartográfica em SIG*. Belo Horizonte: CODEMIG, 2005. Nota explicativa.
- BARBOSA, A.L.M. 1968. *Contribuições recentes à Geologia do Quadrilátero Ferrífero*.SBG–MG, reimpressão (1985): Universidade Federal de Minas Gerais – Instituto Geociências, Departamento de Geologia
- BARBOSA, G.V. *O manto de alteração no sudoeste do quadrilátero ferrífero*.155 f. Tese (Livre Docência) – Instituto de Geociências - IGC, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1960.
- BARBOSA, G.V. Superfícies de erosão no Quadrilátero Ferrífero. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 10, p. 89-101, 1980.
- BARBOSA, G.V.; RODRIGUES, D.M.S. *Quadrilátero Ferrífero*. Universidade Federal de Minas Gerais UFMG. Instituto de Geociências – IGC, Belo Horizonte. 1967.
- BARROS, L.F.P.; MAGALHÃES JÚNIOR, A.P; RAPOSO, A.A. O parâmetro de turbidez das águas como indicador de impactos humanos na dinâmica fluvial da

bacia do rio Maracujá – Quadrilátero Ferrífero/MG. *Rev. Geografias*. Belo Horizonte, jul./dez. 2010, p. 102–117.

BARROS, L.F.P.; MAGALHÃES JÚNIOR, A.P.; RAPOSO, A.A. Fatores condicionantes da produção e escoamento de sedimentos na bacia do Rio Maracujá – Quadrilátero Ferrífero/MG. *Rev. Geografias*. Belo Horizonte, v. 6, n. 2, p. 102-117, jul./dez. 2010.

BARROS, R.S.; COELHO, A.L.; OLIVEIRA, L.F.; MELO, M.F.; CORREIA, J.D. Avaliação geométrica de imagens ALOS/PRISM níveis 1B2G e 1B2R ortorretificada – estudo de caso: Itaguaí-RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2009, Natal. *Anais...* Natal: 2009. p.1731-1738.

BEACH, T.; LUZZADDER-BEACH, S.; DUNNING, N.; COOK, D. Human and natural impacts on fluvial and karst depressions of the Maya Lowlands. *Geomorphology*. n.101, 2008, p. 308–331.

BIGARELLA, J.J.; BECKER, R.D.; SANTOS, G.F. *Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais*. 2 ed. Florianópolis: Editora UFSC, 2007, v.3, p.884-1436.

BOEIRA, J.L.F. *Gestão da qualidade total e a indústria brasileira do minério de ferro: limites e possibilidades*. 204 f. Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação em Geociências. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

BRIERLEY, G.J.; FRYIRS, K.A. *Geomorphology and river management: applications of the river styles framework*. Oxford :Blackwell Publishing, 2006..

BRUM, I. A. S. *Recuperação de áreas degradadas pela mineração*. 22 f. Especialização – Escola Politécnica – Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2000.

BUTLER, D. R. Human-induced changes in animal populations and distributions, and the subsequent effects on fluvial systems. *Geomorphology*. Amsterdam: Elsevier Science B. V. v. 79, n. 3-4, p. 448-459, 2006.

CABRAL JÚNIOR, M.; OBATA, O.R.; SINTONI, A. *Minerais industriais: orientações a regularização e implantação de empreendimentos*. São Paulo: IPT - Instituto de Pesquisa Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2005.

CAMARGO, F.F.; FLORENZANO, T.G.; ALMEIDA, C.M.; OLIVEIRA, C.G. Abordagens cognitivas para a identificação de unidades geomorfológicas por meio de dados ASTER/Terra. *Rev. Brasileira de Geociências*, v. 39, n.2, p. 276-288, jun. 2009.

CARDOSO, R.L. SISNAMA – Sistema Nacional do Meio Ambiente. *Revista Ação Ambiental*, v. 7, n. 27, p. 10-13, mar./abr. 2004.

CARDOSO, R.N. *Mapa preliminar de ocorrência de minério de ferro de Minas Gerais*. s.d.

CARVALHO, H.D; BRASIL, E.R. *Conjuntura socioeconômica do município de Itabira*. Itabira: Funcesi, 2009.

CARVALHO, R.D; LUCAS, L.M.; TELLES, R.M. O uso de Sistema de Informação Geográfica (SIG) na identificação dos avanços dos depósitos tecnogênicos nas margens do Saco Mangueira, Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brasil. ENCUESTRO DE GEÓGRAFOS DE AMÉRICA LATINA - EGAL, 11., Bogotá, 2009. *Anais...* Bogotá: Editora, EGAL 2009, p. 4046-4058.

CASSETI, V. *Ambiente e apropriação do relevo*. 2. ed. São Paulo: Contexto, 1995.

CHARTIN, C. A; BOURENNANE, H. B; SALVADOR-BLANES, S. A.; HINSCHBERGER, F. A.; MACAIRE, J.-J. Classification and mapping of anthropogenic landforms on cultivated hillslopes using DEMs and soil thickness data – Example from the SW Parisian Basin, France. *Geomorphology*, Amsterdam: Elsevier Science B., 2011.

CHAVES, A.P. *Teoria e prática do tratamento dos minérios*. São Paulo: Signus Editora, 1996.

CHIOSSI, N.J. Impactos ambientais e sociais uso e ocupação do solo. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 4., Belo Horizonte, 1984, v. 2, p. 253-266. *Anais...*Belo Horizonte: ABGE, 1984.

COELHO, A.L.N. Geomorfologia fluvial de rios impactados por barragens. *Rev. Caminhos de Geografia*, Uberlândia, v.9, n. 26, p. 16-32, jun. 2008.

COMPANHIA VALE DO RIO DOCE (CVRD). *A mineração no Brasil e a Companhia Vale do Rio Doce*. Editora CVRD: Rio de Janeiro, 1992.

COMPANHIA VALE DO RIO DOCE (CVRD). *O eixo do sistema*. Editora CVRD: Rio de Janeiro, 2001.

COPAM - *Comissão de Política Ambiental*. Disponível em: <<http://www.conselhos.mg.gov.br//copam/page/institucional/conselho-231>>. Acesso em: 28/12/2011.

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.

CRISTOFOLETTI, A.; TAVARES, A.C. Relação entre declividade de vertentes e litologia na área do Quadrilátero Ferrífero (MG). *Not. Geomorfologia*, Campinas, v. 16, n. 32, p. 55– 70, dez. 1976.

CUNHA, M.A. (coord.). *Ocupação de encostas*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1991.

CUNHA, S.B. Geomorfologia fluvial. In: GUERRA, A.J.T; CUNHA, S.B. *Geomorfologia: uma atualização para bases e conceitos*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994. p. 211-246.

DAL'ASTA, A.P. RECKZIEGEL, B.W.; ROBAINA, L.E.S. Análise de áreas de risco geomorfológico em Santa Maria -RS: o caso do morro Cechela. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 11., São Paulo, 2005. *Anais...* São Paulo: Edusp –Departamento de Geografia, USP, 2005. p.896-904.

DAVID, L. Quarrying: an Anthropogenic Geomorphological Approach. *Acta Montanística*. Slovaca Ročník 13 (2008), číslo 1, 66-74.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). *Mineração sustentável e meio ambiente: o que é verdade? Gestão mineral em destaque*. Boletim Informativo do DNPM, Ministério de Minas e Energia, ano 1, n.7, jul. 2005.

DORR II, J.V.N. Physiographic Stratigraphic and Structural Development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. USGS, Prof. Paper, 641-a, 1969.

DORR, J. V. N. II; GAIR, J. E.; POMERONE, J. B.; RYNEARSON, G. A. *Revisão Estratigráfica Pré-Cambriana do Quadrilátero Ferrífero*. Rio de Janeiro: DNPM/DFPM, 1957. (Avulso 81).

DUARTE, A.P. *Classificação das barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais no estado de Minas Gerais em relação ao potencial de risco*. 114f. Dissertação (Mestrado em Saneamento), Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), 2008.

DUTRA, G. M.; RUBBIOLI, E. L.; HORTA, L. S. Gruta do Centenário, Pico do Inficionado (Serra do Caraça), MG. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E, T; WINGE, M. & BERBET-BORN, M. *Sítios Paleontológicos do Brasil*. Brasília: SIGEP-UNB, 2002. p. 41-59

ENDO, I.; ROSEIERE, C.A.; CHEMALE JÚNIOR, F. Roteiro de excursão geológica no Quadrilátero Ferrífero e regiões adjacentes. SIMPÓSIO DE GEOLOGIA: NÚCLEO MINAS GERAIS E XX SEMANA DE ESTUDOS GEOLÓGICOS, 6.,1990, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: SICEB.

ENRÍQUEZ, M.A. *Mineração: maldição ou dádiva? Os dilemas do desenvolvimento sustentável a partir de uma base mineira*. São Paulo: Editora Signus, 2008.

ESTAIANO, J. C. *Impactos da Mineração de Areia em Planícies Aluviais Meândricas da Bacia hidrográfica do Alto do Tietê: o caso do Rio Embu-Guaçu, São Paulo – SP*.176f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

FIDALGO, E. C. C.; ABREU, M. B. Uso de imagens ASTER para o mapeamento do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio São Domingos, RJ. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. *Anais...* Goiânia: INPE, 2005. p. 3747-3753.

FIGUEIRA, R. M. *Evolução dos sistemas tecnogênicos no município de São Paulo*. 127 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Sedimentar) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2007.

FORNAZARI FILHO, N. F.; BRAGA, T. O.; GALVES, M. L.; BITAR, O. P.; AMARANTE, A. *Alterações no meio físico decorrentes de obras de engenharia*. São Paulo: Instituto de Pesquisa Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), 1992.

FUJIMOTO, N. S. V. M. Considerações sobre o ambiente urbano: um estudo com ênfase na geomorfologia urbana. *Revista do Departamento de Geografia*, São Paulo, v. 16, p. 76-80, 2005.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (FEAM). *Avaliação do potencial do dano ambiental das barragens de contenção de rejeitos, de resíduos e de reservatório de água em empreendimentos industriais e de mineração no estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte: 2004. Relatório final.

GALBIATTI, H.F. *Ruptura Obliqua condicionada por falha transcorrente na cava a céu aberto da mina do Cauê, Itabira, MG*. 99f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Núcleo de Geotecnia da Escola de Minas, Universidade de Ouro Preto (UFOP), Ouro Preto, 2006.

GIRÃO, O.; CORRÊA, A. C. B. A contribuição da geomorfologia para o planejamento da ocupação de novas áreas. *Revista Geografia*. Recife: UFPE, DCG/NAPA, v. 21, n. 2, jul./dez. 2004. p. 38-58.

GONSALVES, A. D. *O ferro na economia nacional*. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura; Diretoria de Estatística da Produção, 1937.

GUERRA, A. J. T.; MENDONÇA, J. K. S. Erosão dos solos e a questão ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (Org.). *Reflexões sobre a geografia física no Brasil*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

GUERRA, A. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. *Geomorfologia: uma atualização para bases e conceitos*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994. p. 149-195.

HAFF, P. K. *Neogeomorphology, Prediction, and the Anthropic Landscape*. Durham: Duke University; Division of Earth and Ocean Sciences; Nicholas School of the Environment and Earth Sciences, 2001.

HAO, X.; CHEN, Y.; LI, W. Impact of Anthropogenic Activities on the Hydrologic Characters of the Mainstream of the Tarin River during the past 50 Years. *Rev. Environmental Geology*, v. 57, p. 435-445, 2009.

HARDEN, C. P. Human Impacts on Headwater Fluvial Systems in the Northern and Central Andes. *Geomorphology*, v. 79, p. 249-263, 2006.

HEWAWASAM, T; BLANCKENBURG, F. V.; SCHALLER, M. Increase of Human over Natural Erosion Rates in Tropical Highlands Constrained by Cosmogenic Nuclides. *Geology*, v. 31, n. 7, p. 597-600, 2003.

HOOKE, J. M. Human Impacts on Fluvial Systems in the Mediterranean Region. *Geomorphology*, v. 79, p. 311-335, 2006.

HOOKE, R. L. On the History of Humans as Geomorphic Agents. *Geology*, v. 28, n. 9, p. 843-846, sept. 2000.

INFANTI JR., N.; FORNASARI FILHO, F. Processos de dinâmica superficial. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (Org.). *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Oficina de Textos: São Paulo, 1998. p. 131-151.

Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM). *Grupo de Trabalho de Redação*. Brasília: Comissão Técnica do Meio Ambiente, 1992.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). *Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação*. Brasília: IBAMA, 1990.

JAMES, A. Time and the Persistence of Alluvium: River Engineering, Fluvial Geomorphology, and Mining Sediment in California. *Geomorphology*, v. 31, p. 265-290, 1999.

JAMES, L. A.; MARCUS, W. A. The Human Role in Changing Fluvial Systems: Retrospect, Inventory and Prospect. *Geomorphology*, v. 79, p. 152-171, 2006.

JESUS, A. S. Geomorfologia antrópica, riscos geomorfológicos e hidrológicos na porção centro-leste de Anápolis (GO). *Boletim Goiano de Geografia*, Goiânia, v. 24, n. 1-2, jan./dez. 2004.

KOPEZINSKI, I. *Mineração x meio ambiente: considerações legais, principais impactos ambientais e seus processos modificadores*. Porto Alegre: Editora Universidade UFRGS, 2000.

KOPPE, J. C. A lavra e a indústria mineral do Brasil: estado da arte e tendências tecnológicas. In: FERNANDES, A. B. L.; MATOS, M. M. G.; CASTILHOS, Z. C. *Tendências Tecnológicas Brasil 2015: Geociências e Tecnologia*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007.

KORB, C. C. *Identificação de depósitos tecnogênicos no reservatório Santa Bárbara, Pelotas (RS)*. 189 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

LAMOSO, L. P. *A exploração de minério de ferro no Brasil e no Mato Grosso do Sul*. 306 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

LANDAU, E. C.; GUIMARÃES, D. P. Análise comparativa entre os modelos digitais de elevação ASTER, SRTM e TOPODATA. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR), 15., Curitiba, 2011. *Anais...* Curitiba: INPE, 2011, p. 4003-4010.

LANGEDAL, M. The Influence of a Large Anthropogenic Sediment Source on the Fluvial Geomorphology of the Knabeina-Gina Rivers, Norway. *Geomorphology*, v. 19, p. 117-132, 1997.

LEVANTEZA, M. B.; PEREZ FILHO, A. Geomorfologia antropogênica: alterações na evolução dos canais de primeira ordem na bacia hidrográfica do córrego da Aroeira (Mira Estrela-SP), decorrentes da construção da barragem de Água Vermelha. SIMPÓSIO BRASILEIRO GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA (SBGFA), 12., Natal *Anais...* Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Nore, 2009.

LISBÔA, T. H. C. *Os depósitos tecnogênicos e a alteração da linha de costa do distrito sede de Florianópolis/SC*. 96 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) –

Departamento de Geografia do Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A.; AIMEIDA, S. L. M. 4. ed. *Tratamento de minérios*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004.

LUZ, J. *Imagens ALOS para o mapeamento da vegetação arbórea e outros usos do solo em área de floresta ombrófila mista*. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná (UFPR), 2009. 121p.

MARCHETTI, M. Environmental Changes in the Central Po Plain (Northern Italy) due to Fluvial Modifications and Anthropogenic Activities. *Geomorphology*, v. 44, p. 361-373, 2002.

MCSAVENEY, M. J.; WHITEHOUSE, I. E. *Anthropic Erosion of Mountain Land in Canterbury*. *Journal of Ecology*, v. 12, p. 151-163, 1989. Suplemento.

MEDINA, A. I. M.; DANTAS, M. E.; SAADI, A. Projeto APA Sul: estudo do meio físico, escala de 1:50. 000. *Geomorfologia*, v.6, 2005.

MELO, M.T.V; BORBA, R.R.; COELHO, W.A. O distrito ferrífero de Itabira: minas do Cauê, Conceição, Dois Córregos, Periquito, Onça, Chacrinha e Esmeril. In: BRASIL. *Ministério das Minas e Energia*. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. Brasília, 1984..

MERGAJETO NETTO, M.; SOBREIRA, F. G. Os processos erosivos lineares da bacia hidrográfica do ribeirão Carioca, Itabirito/MG e seus condicionantes principais: observações preliminares. *Rev. Brasileira de Geomorfologia*. v. 7, n. 2, p. 13-21, 2006.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa COPAM n. 87, de 17 de junho de 2005. *Diário do Executivo de Minas Gerais*. Altera e complementa a Deliberação Normativa COPAM n. 62, de 17/12/2002, que dispõe sobre critérios de classificação de contenção de rejeitos, de resíduos e reservatório de água em empreendimentos industriais e de mineração no Estado de Minas Gerais.

MINAS GERAIS. Diário do Executivo. Deliberação Normativa COPAM n. 62, de 17 de dezembro de 2002. *Diário do Executivo de Minas Gerais*. Dispõe sobre critérios de classificação de contenção de rejeitos, de resíduos e reservatórios de água em empreendimentos industriais e de mineração no Estado de Minas Gerais.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). *Relatório Técnico 18*. Brasília: agosto de 2009.

NAKAHORI, A. A.; SOUZA, S. F. Geração e avaliação de ortoimagem ALOS/PRISM 1b1. estudo de caso para São Gabriel-RS. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 3., Recife. *Anais...*, Recife, 2010. p. 1-4.

NOLASCO, M. C. História ambiental da chapada diamantina/lavras diamantinas (BA), de 1842 a 2001 – 300 anos de controle internacional: o brilho do diamante.

SIMPÓSIO DE HISTORIA AMBIENTAL AMERICANA, Santiago. *Anais...* Santiago, 2003.

OLIVEIRA, A. M. S.; BRANNSTROM, C.; NOLASCO, M. C.; PELOGGIA, A. U. G.; PEIXOTO, M. N. O.; COLTRINARI, L. Tecnógeno: registro da ação geológica do homem. In: SOUZA, C. R. G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A. M. S.; OLIVEIRA, P. E. *Quaternário do Brasil*. Ribeirão Preto: Holos Editora, 2005. p. 363-378.

OLIVEIRA, N. M. G. A.; CARVALHO, J. A. R.; SILVA NETO, M. A. Instabilidade do compartimento dos glaciais de acumulação, setor leste do município de Camaragibe: deslizamentos e voçorocas. *Cadernos de Cultura e Ciência – Universidade Regional do Cariri (URCA)*, v. 2, n. 2, p. 3-8, 2007.

PARMA, G.C. Processamento de imagem ASTER para obtenção do MDE e da imagem ortorretificada do Município de Palhoça, SC, Brasil. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR), 13., Florianópolis. *Anais...* Florianópolis, 2007, p. 6019-6026.

PASSARELA, S. M.; MACHADO, F. B.; RIEDEL, P. S.; LOPES, E. S. S.; FERREIRA, M. V.; MOREIRA, M. R.; AZZI, A. A. análise da relação entre escorregamento e formas de vertentes no município de Cubatão (SP) e seus arredores. *Rev. Geociências*, UNESP, São Paulo, v. 27, n. 1, p. 7-20, 2008.

PAULA, P. M.; ROBAINA, L. E. S. Mapeamento de unidades geológicas-geomorfológicas da bacia do Arroio Lajedo Grande (RS). *Rev. Geociências*. São Paulo, UNESP, v. 22, n. 2, p. 175-184, 2003.

PEDRO, L. C. Geomorfologia urbana: impactos no ambiente urbano decorrente da forma de apropriação, ocupação do relevo. *Rev. Geografia em Questão*, v. 4, n. 1, p. 153-172, 2011.

PEDRO, L. C.; NUNES, J. O. R. As ações antrópicas e as formações tecnogênicas: o caso do Jardim Humberto Salvador em Presidente Prudente – SP. *Revista Geografar*, Curitiba, v. 4, n. 2, p. 119-142, jul./dez. 2009.

PEDROSA, F. J. A. *Aspectos de evolução da linha de costa e da paisagem litorânea do município de costa e da paisagem litorânea do município de Olinda entre 1915 e 2004: evidências do tecnógeno em Pernambuco*. 175 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, 2007.

PELOGGIA, A. *O homem e o ambiente geológico: geologia, sociedade e ocupação urbana no Município de São Paulo*. São Paulo: Xamã, 1998.

PELOGGIA, A. U. G. A cidade, as vertentes e as várzeas: a transformação do relevo pela ação do homem no município de São Paulo. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 16, p. 24-31, 2005.

PETRONILHO, M. R. *Avaliação do comportamento geotécnico de pilhas de estéril por meio de análise de risco*. 137 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Núcleo de Geotecnia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 2010.

PINTON, L. G.; CUNHA, C. M. L. Avaliação da dinâmica dos processos erosivos e sua relação com a evolução do uso da terra. *Rev. Geociências*, São Paulo, v. 27, n. 3, p. 329-343, 2008.

PINTON, L. G.; CUNHA, C. M. L. Implicações geomorfológicas da dinâmica do uso da terra da bacia do Córrego do Cavalheiro – Analândia/SP – Brasil. ENCUESTRO DE GEÓGRAFOS DE AMÉRICA LATINA (EGAL), 12., 2009, Montevideo. *Anais...* Montevideo, 2009.

PODOBNIKAR, T.; SHONER, M.; JANSKA, J.; PFEIFER, N. Spatial Analysis of Anthropogenic Impact Karst Geomorphology (Slovenia). *Rev. Environmental Geology*, v. 58, p. 257-268, 2009.

PRESS, F.; SIEVER, R.; GROTZINGER, J.; JORDAN, T.H. *Para entender a Terra*. 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

RADAMBRASIL. *Levantamento de recursos naturais. Rio de Janeiro; Vitória*. (Folhas SF 23/24). Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia, 1983. v. 32.

RAPOSO, A. A.; BARROS, L. F. P.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. O uso de taxas de turbidez da bacia do alto Rio das Velhas – Quadrilátero Ferrífero/MG – como indicador de pressões humanas e erosão acelerada. SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOGRAFIA (SINAGEO), 8., Recife. *Anais...* Recife: Revista de Geografia, UFPE – DCG/NAPA, 2010, p. 34-50.

RAPOSO, A. A.; CARVALHO, A.; OLIVEIRA, L. A. F.; RIGHI, R.B.S.; MAGALHÃES JR., A. P. Reflexos de pressões antrópicas e da erosão acelerada sobre a dinâmica fluvial da bacia do ribeirão Sardinha – Quadrilátero Ferrífero/MG. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 13., Viçosa. *Anais...* Viçosa, 2009. p. 230-245.

RECKZIEGEL, B. W.; ROBAINA, E. S.; OLIVEIRA, E. L. A. Mapeamento de áreas de risco geomorfológico nas bacias hidrográficas dos arroios Cancela e Sanga do Hospital, Santa Maria – RS. *Revista do Departamento de Geociências*, v. 14, n.1, p. 5-18, jan/jun. 2005.

REIS, L. B. Correção geométrica das cartas geológicas do projeto USGS/DNPM. In: LOBATO et al.. *Projeto de Geologia do Quadrilátero Ferrífero: integração e correção cartográfica em SIG*. Belo Horizonte: CODEMIG. 2005. 68p. Nota explicativa.

RENGER, F. E.; NOCE, C. M.; ROMANO, A. W.; MACHADO, N. Evolução sedimentar do Supergrupo Minas: 500 Ma. de registro geológico no Quadrilátero Ferrífero, MG, Brasil. *GEONOMOS*, v. 2, p. 1-11, 1994.

RODRIGUES, C. Morfologia original e morfologia antropogênica na definição de unidades espaciais de planejamento urbano: exemplo da metrópole paulista. *Revista do Departamento de Geografia*, São Paulo, n. 17, p. 101-111, 2005.

ROS, G. A.; POZ, A. P. D.; HASEGAWA, J. K. Visualização 3D de uma imagem digital: metodologia e potencial cartográfico. *Rev. Pesquisas em Geociências*, Porto Alegre, v. 29, n. 2, p. 77-87, 2002.

ROSEN, A. M. The Impact of Environmental Change and Human Land Use on Alluvial Valleys in the Loess Plateau of China during the Middle Holocene. *Geomorphology*, v. 101, p. 298-307, 2008.

ROSS, J. L. S. *Geomorfologia: ambiente e planejamento*. São Paulo: Ed. Contexto, 1991.

ROSSATO, M. S.; BASSO, L. A.; SUERTEGARAY, D. M. A. Formação de depósitos tecnogênicos em barragens: o caso da lombada do Sabão, Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Bibliográfica de Geografia y Ciencias Sociales*, Barcelona, v. 7, n. 407, out. 2002.

ROSSATO, M. S.; SUERTEGARAY, D. Repesando o tempo da natureza em transformação. *Rev. Ágora*, Santa Cruz do Sul, v. 6, n. 2, p. 93-98, 2000.

ROSSI, B. M. C.; GOULART, B. P.; SANTANA, D. J.; SANTOS, J. P. K; OLIVEIRA, L. H.; CARINHANHA, R. S. Movimentos de massas. 44 f. Trabalho (disciplina de Geologia) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP), São Paulo, 2010.

RUBIN, J. C. R.; OLIVEIRA, A. M. S.; SAAD, A. R.; BRITO, G. S. Amostragem dos depósitos tecnogênicos associados ao Rio Meia Ponte na área urbana de Goiânia – GO. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 9, n. 2, p. 3-14, 2008.

SALGADO, A. A. R. *Estudo da evolução do relevo do quadrilátero ferrífero, (MG – Brasil) através da quantificação de dados erosivos e denudacionais*. 101 f. Tese (Doutorado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2006.

SALOMÃO, F. X. T e IWASA, O. Y.. Erosão e a ocupação rural e urbana. In: BITAR, O. Y. (Org.). *Curso de Geologia aplicada ao meio ambiente*. São Paulo: ABGE/IPT, 1995. p. 31-57.

SÁNCHEZ, L. E. Mineração e Meio Ambiente. In: FERNANDES, A. B. L.; MATOS, M. M. G.; CASTILHOS, Z. C. *Centro de Tecnologia Mineral: Tendências Tecnológicas Brasil 2015: Geociências e Tecnologia Mineral*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007.

SANTOS, F. M. *A mineração de ferro no Quadrilátero Ferrífero*. 131 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Departamento de Geografia do Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1973.

SANTOS, R. F. *Planejamento Ambiental: teoria e prática*. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SCLIAR, C. *Geopolítica das minas do Brasil*. Rio de Janeiro: Revan, 1996.

SILVA, E. *Técnicas de Avaliação de Impactos Ambientais: vídeo-curso*, Viçosa: CPT, 1999.

SILVA, E.; ROCHA, E. C.; CANTO, J. L.; FINGER, F. A.; FAIS, C.L. *Agenda Verde: sistemática de licenciamento do Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais*. Viçosa: Editora UFV, 2006.

SILVA, F. R. *A paisagem do Quadrilátero Ferrífero, MG: potencial para o uso turístico da sua geologia e geomorfologia*. 144 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. – UFMG. 2007.

SILVA, J. M. F. *Caracterização e mapeamento das unidades geomorfológicas da bacia do rio Periquito, Antonina – PR*. 93 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Paraná, 2010.

SILVA, J.P.; RODRIGUES, C.V. Expansão urbana e evolução geomorfológica em remansos de reservatórios: análise comparativa de duas bacias hidrográficas em Guarapiranga, São Paulo. SIMPÓSIO DE GEOMORFOLOGIA/REGIONAL CONFERENCE ON GEOMORPHOLOGY, 5., Goiânia. *Anais...Goiânia*, 2006.

SILVA, M.G.S E. *A Terceira Itabira – os espaços político, econômico, socioespacial e a questão ambiental*. 224 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 2002.

SILVA, S. H. L.; BRAGA, F. A.; FONSECA, A. R. Análise de conflito entre legislação e uso da terra no município de Itabira – MG. *Rev. Caminhos de Geografia*, Uberlândia, v. 11, n. 34, p. 131-144, jul. 2010.

SILVESTRE, M. *Mineração em Área de Preservação Permanente: intervenção possível e necessária*. São Paulo: Signus, 2007.

SIMON, A. L. H.; CUNHA, C. M. L. As obras de engenharia e as alterações morfo-hidrográficas na bacia do arroio santa Bárbara – Pelotas (RS). SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA/REGIONAL CONFERENCE ON GEOMORPHOLOGY, 6., Goiânia. *Anais... Goiânia*, p. 1-9, 2006.

SIMON, A. L. H.; PEREZ FILHO, A. Análise da morfologia original nos estudos sobre a evolução do relevo antropogênico. SEMINÁRIO LATINO AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA E SEMINÁRIO IBERO AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA, 6., 2., Coimbra. *Anais... Coimbra*, p. 1-10, 2010. 1

SOUZA, O.; OLIVEIRA, A. M. S.; QUEIROZ, W. Produção de sedimentos na região metropolitana de São Paulo. O caso da microbacia do córrego do Pau d'álho, Guarulhos, SP. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v.10, n. 1, p. 63-72, 2009.

SPIAZÚ, C.; ALVES, L.M.; VALENTE, O.F. Modelos digitais de terrenos conceituação e importância. *Boletim de Pesquisa Florestal*, Colombo, n. 21, p.27-36, dez. 1990.

SUERTEGARAY, D.M.A. *Geografia física e geomorfologia: uma (re)leitura*. Itujuí: Editora Unijuí, 2002. (Coleção ciências sociais).

SUSZCZNI, E.F. *Os recursos minerais e potenciais do Brasil e sua metodologia*. Rio de Janeiro: Interciências, 1975.

TAVARES, A.B.; CRUZ, S.P.; LOLLO, J.A. Geoindicadores para a caracterização de estado de diferentes ambientes. *Estudos Geográficos*, Rio Claro, v. 5, n. 2, p. 42-57, 2007.

TONIDANDEL, R. P. *Aspectos legais e ambientais do fechamento de mina no estado de Minas Gerais*. 146 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em Geologia Econômica Aplicada, Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

TUCCI, C. E. M. Inundações e drenagem urbana. In: TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. *Inundações urbanas na América do Sul*. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003. p. 45-150.

UHLEIN, A.; OLIVEIRA, H. A. História geológica do Quadrilátero Ferrífero. *Rev. Ciência Hoje*, v. 27, n. 160, p. 68-71, maio 2000.

VALE. Treinamento meio ambiente para recepção de visitas técnicas. Apresentação em Power Point. 2011. 162 slides.

VARAJÃO, C. A. C. A questão da correlação das superfícies de erosão do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 21, n. 2, p.138-145, jun. 1991.

VIEIRA, V. T.; CUNHA, S. B. Mudanças na rede de drenagem urbana de Teresópolis (Rio de Janeiro). In: GUERRA, A. J. T; CUNHA, S. B. (Org.). *Impactos ambientais urbanos no Brasil*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.

WAGNER, A. P. L. *Aplicação de imagens Aster para estudos territoriais no nordeste do estado do Rio Grande do Sul*. 100 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) –Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

WILKINSON, B. H. *Humans as Geologic Agents: A Deep-Time Perspective*. *Geological Society of America*, v. 33, n. 3, p. 161-164, mar. 2005.

WOHL, E. Human Impacts to Mountain Streams. *Geomorphology*, v. 79, p. 217-248, 2006.

ZALASIEWICZ, J.; WILLIAMS, M.; HAYWOOD, A.; ELLIS, M. The Anthropocene: A New Epoch of Geological Time? *Philosophical Transactions of the Royal Society*, v. x, p. 835-841, 2011.

ZALASIEWICZ, J.; WILLIAMS, M.; SMITH, A.; BARRY, T. L.; COE, A. L.; BOWN, P. R.; BRENCHLEY, P.; CANTRILL, D.; GALE, A.; GIBBARD, P.; GREGORY, F. J.; HOUNSLOW, M. W.; KERR, A. C.; PEARSON, P.; KNOX, R.; POWELL, J.; WATERS, C.; MARSHALL, J.; MICHAEL, O.; RAWSON, P.; STONE, P. Are We Now Living in the Anthropocene? *GSA Today*, v. 18, n. 2, p. 5-8, 2008.