

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**Modelo Geológico-Estrutural da região da Mina de
Furnas e Caverna de Santana, Iporanga-São Paulo**

Mariana Kozlowski Caldo

Orientador: Prof. Dr. Ginaldo Ademar da Cruz Campanha

Co-orientador: Prof. Dr. Hélio Shimada

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA

(TF-2010/34)

TF
C146
MK.m

SÃO PAULO
2010

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**Modelo Geológico - Estrutural da região da Mina de Furnas
e Caverna de Santana, Iporanga – São Paulo**

Mariana Kozlowski Caldo



Orientador: Prof. Dr. Ginaldo Ademar da Cruz Campanha

Co-orientador: Dr. Hélio Shimada

DEDALUS - Acervo - IGC



30900028427

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-10/34)

SÃO PAULO

2010

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**Modelo Geológico - Estrutural da região da Mina de Furnas
e Caverna de Santana, Iporanga – São Paulo**

Mariana K. Caldo
Mariana Kozlowski Caldo



Orientador: Prof. Dr. Ginaldo Ademar da Cruz Campanha

Co-orientador: Dr. Hélio Shimada

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA

(TF-10/34)

SÃO PAULO

2010

SUMÁRIO

RESUMO.....	v
ABSTRACT	vi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. LOCALIZAÇÃO.....	1
3. OBJETIVOS	2
4. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO.....	2
5. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
5.1. Evolução do conhecimento.....	3
5.2. Geologia regional.....	5
5.3. Geologia local	7
6. MATERIAIS E MÉTODOS	11
7. PREPARAÇÃO DOS DADOS.....	12
7.1. Curvas de Nível	12
7.2. Caverna de Santana.....	16
7.3. Mina de Furnas.....	16
7.4. Tabela com atitudes.....	17
8. INSERÇÃO DE DADOS E CONSTRUÇÃO DO MODELO	17
8.1. Inserção das curvas de nível, contatos litológicos e atitudes – <i>Move 2D</i>	18
8.2. Aumento do número de nós nos polígonos – <i>Move 2D</i>	20
8.3. Superfície topográfica – <i>Move 3D</i>	20
8.4. Ajuste da geologia à superfície topográfica– <i>Move 3D</i>	22
8.5. Criação de perfis – <i>Move 3D</i>	22
8.6. Interpretação dos perfis – <i>Move 2D</i>	23
8.7. Criação do modelo – <i>Move 3D</i>	25
8.8. Inserção da Caverna de Santana e da Mina de Furnas – <i>Move 3D</i>	25
9. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES.....	28
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29

ÍNDICE DE FIGURAS E TABELA

Figura 1. Mapa de localização da área de estudos.....	2
Tabela 1. Cronograma atualizado das atividades desenvolvidas durante o ano. 1.Preparação do plano inicial; 2.Revisão bibliográfica; 3.Treinamento no <i>software</i> ; 4.Importação, edição e inserção de dados no sistema; 5.Elaboração do modelo digital; 6.Interpretações e conclusões; 7.Redação da monografia	3
Figura 2. Mapa geológico regional, adaptado de Faleiros (2008).....	6
Figura 3. Mapa geológico da área de estudos, modificado de Faleiros (2000).....	8
Figura 4. Rocha metacarbonática bandada da Formação Mina de Furnas	9
Figura 5. Colunas estratigráficas das Formações Betari, à esquerda e Bairro da Serra, à direita, adaptadas de Faleiros (2000).....	10
Figura 6. Vetorização das curvas de nível no ambiente <i>ArcMap</i>	13
Figura 7. Mapa de relevo sombreado.	15
Figura 8. Simplificação do contorno da caverna em <i>AutoCAD</i>	16
Figura 9. Simplificação do contorno da mina em <i>AutoCAD</i>	17
Figura 10. Visualização no <i>Move</i> 2D apresentando em planta, curvas de nível, contatos litológicos e altitudes. Coordenadas UTM em metros.	19
Figura 11. Janela de importação dos pontos de campo e altitudes medidas no formato <i>ascii</i>	19
Figura 12. Curvas de nível e altitudes de acamamento. Coordenadas UTM em metros.....	19
Figura 13. Estereograma apresentado pelo <i>Move</i> para o conjunto de altitudes de acamamento utilizado	23
Figura 14. Perfis paralelos (vermelhos) em planta criados no <i>Move</i> 3D e transferidos para o 2D, com as altitudes de acamamento representadas por símbolo rosa. Coordenadas UTM em metros.....	24
Figura 15. Seção 005 com a superfície topográfica em marrom, altitudes em rosa, e contatos litológicos (topos) interpretados.	25
Figura 16. Visualização em perspectiva no módulo 3D dos perfis criados no <i>Move</i> 2D, com as altitudes de acamamento representadas por símbolos rosa. Coordenadas UTM em metros.	26
Figura 17. a, b, c, d – Visualizações em ambiente <i>Move</i> 3D, mostrando as superfícies do modelo digital tridimensional em diferentes perspectivas.....	27

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Dr. Ginaldo Campanha pela orientação deste trabalho, ao Dr. Hélio Shimada, do Instituto Geológico da Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo, pela co-orientação, principalmente em aspectos ligados à Mineração Furnas e Caverna de Santana, ao geólogo Paulo Santarém, da Petrobrás, pelo apoio e orientação na utilização do programa *Move*, ao Prof. Dr. Ivo Karmann pelo fornecimento de mapas da Caverna de Santana, e ao Prof. Dr. Carlos Henrique Grohmann de Carvalho pelo auxílio no programa *ArcGIS* e fornecimento de material. Também agradeço à colaboração da *Prominer*, empresa consultora que forneceu os dados referentes à Mina de Furnas, a *Midland Valley*, que disponibilizou licença acadêmica do programa de computador utilizado no trabalho. E à família e aos amigos, que me apoiaram.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo a elaboração de um modelo geológico-estrutural digital tridimensional das rochas supracrustais da área da Mina de Furnas e Caverna de Santana, no município de Iporanga, estado de São Paulo.

Afloram na região uma série de formações siliciclásticas e carbonáticas alternadas pertencentes ao Grupo Lajeado de idade proterozóica. Estas rochas apresentam grau baixo de metamorfismo na fácies xisto verde.

Estruturalmente ocorrem anticlinais e sinclinais sucedendo-se com eixos subhorizontais em torno de NE-SW. Estas megadobras têm ápices espessados, planos axiais empinados sem definir vergência clara, e perfis que variam de abertos a fechados.

Dados como topografia, atitudes de acamamento, mapas da caverna e da mina e geologia local foram usados para a criação do modelo, que foi executado no programa de computador *Move*, da *Midland Valley*.

O modelo permite uma visualização das superfícies do topo das camadas do Subgrupo Lajeado e a exata localização da Mina de Furnas e Caverna de Santana no contexto geológico-estrutural da área. Com este, um futuro projeto poderá ser realizado com dados complementares de forma a caracterizar a possível percolação de contaminantes entre a mineração e a caverna.

ABSTRACT

The purpose of this paper was the creation of a tridimensional digital structural – geological model of the supracrustals rocks from the Furnas Mine and Santana Cave area, in the locality of Iporanga, São Paulo state.

In the region a series of siliciclastic and carbonatic formations from Lajeado Group are exposed and show a low grade metamorphism in the greenschist facies. Structurally the region is characterized by open to tight synclines and anticlines with upright axial planes and subhorizontal NE-SW fold axis without clear vergence.

Topographic, geological and structural (bedding) data, as well cave and mine maps were used to build the model, with the software *Move*, from the *Midland Valley company*.

The model allows a view of the layers from Subgrupo Lajeado and the location of the Furnas Mine and the Santana Cave in the geological and structural context of the area. Thus in a future project with complementary data would be feasible to better evaluate the possibility of water contamination from the mine to the cave system.

1. INTRODUÇÃO

A mineração de chumbo e outros metais no Vale do Ribeira esteve ativa durante muitas décadas produzindo um passivo ambiental o qual ainda não foi totalmente avaliado.

A Mina de Furnas (Pb, Zn, Ag) particularmente esteve ativa de modo intermitente desde 1920 até 1992. O processo extrativo, a disposição das pilhas de minério e rejeito e o bombeamento de água da mina potencialmente produziram sérios problemas de contaminação do solo e das águas do córrego Furnas (Moraes *et al.*, 2002).

Muitas vezes foi discutida a possibilidade dos trabalhos de lavra da mina e a percolação de água subterrânea contaminada interferirem na Caverna de Santana, que se encontra numa cota mais baixa com relação à mina (Hasui *et al.*, 1992).

O equacionamento desse problema passa pelo correto entendimento da disposição tridimensional das estruturas geológicas, incluindo a atitude e alternância de camadas menos e mais permeáveis, os sistemas de fraturamento e dobramento, a configuração do relevo e drenagem superficial locais, bem como a malha tridimensional de galerias da mina e da caverna.

Neste trabalho será apresentado modelo digital tridimensional relativo à superfície topográfica e subsuperfície da região compreendida entre a Mina de Furnas e a Caverna de Santana na região do Vale do Ribeira, Iporanga, São Paulo, que permitirá a real caracterização das estruturas através do programa de computador a ser utilizado.

2. LOCALIZAÇÃO

A área de estudos encontra-se no Município de Apiaí divisa com Iporanga, extremo sul do estado de São Paulo. O acesso partindo da capital do estado pode ser realizado de diversas maneiras, uma delas é pela Rodovia Régis Bittencourt (BR-116) até as proximidades de Jacupiranga, onde se deve tomar as rodovias SP-193 e SP-165 (rodovia que interliga Iporanga e Apiaí) em sentido à Caverna do Diabo. Outra forma é seguir pela Rodovia Raposo Tavares (SP-270) até as proximidades de Vargem Grande Paulista e acessar a Rodovia Bunjiro Nakao (SP-250) até chegar à Apiaí.

O mapa de localização foi elaborado no *ArcGIS*, que permite sobrepor informações relativas à localização e meio físico georreferenciadas. Os arquivos utilizados para a elaboração do mapa estão disponíveis no *site* do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (Figura 1).



Figura 1. Mapa de localização da área de estudos.

3. OBJETIVOS

O presente trabalho teve como objetivo a elaboração de um modelo geológico-estrutural digital 3D das rochas supracrustais da área da Mina de Furnas até a Caverna de Santana, no município de Iporanga, estado de São Paulo.

Dessa forma, tal modelo poderá ser base para eventual trabalho que a ser realizado com dados adicionais, como fraturamento e nível d'água.

4. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Após a preparação do plano inicial de trabalho, desenvolveu-se o trabalho de pesquisa bibliográfica referentes à geologia regional e local da área, a evolução do conhecimento e as técnicas de representação do modelo tridimensional (Tabela 1).

O próximo passo foi realizar treinamento das técnicas de representação em três dimensões do *Move*, aplicativo escolhido para desenvolvimento do projeto.

Com o mapa topográfico, geológico, Caverna de Santana e Mina de Furnas realizou-se tratamento específico para cada tipo de arquivo e, inserção e modelagem destes no *Move*.

A principal dificuldade encontrada foi além da capacidade de processamento da máquina a falta de informações e profissionais que dominam o programa de computador em questão. Desta maneira houve um atraso no treinamento proposto no início do cronograma com conseqüente atraso nas outras etapas.

Tabela 1. Cronograma atualizado das atividades desenvolvidas durante o ano. 1.Preparação do plano inicial; 2.Revisão bibliográfica; 3.Treinamento no *software*; 4.Importação, edição e inserção de dados no sistema; 5.Elaboração do modelo digital; 6.Interpretações e conclusões; 7.Redação da monografia.

	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									

5. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1. Evolução do conhecimento

Com relação às rochas da região do Vale do Ribeira, objeto de estudo de muitos autores, segue uma descrição sucinta dos principais trabalhos.

Oliveira (1916, 1925, 1927), um dos autores pioneiros da região, introduziu o termo *Série Açungui* para as rochas metamórficas localizadas a oeste e noroeste de Curitiba, e as separou de um embasamento cristalino arqueano.

Moraes Rego (1933) denominou de *Série São Roque* os epimetamorfitos encontrados próximos a São Paulo, e os distinguiu de gnaisses arqueanos do complexo cristalino. Devido à contigüidade entre a *Série São Roque* e a *Série Açungui*, em trabalhos que se seguiram os termos foram escolhidos de acordo com o autor, sendo adotado unicamente o termo *Açungui* em trabalhos futuros.

A Formação Iporanga foi nomeada por Leonardos (1934, 1941), mais tarde essa designação foi modificada para *Série Ribeira*, por descobrir que essas rochas estavam expostas em uma área maior do que se observou anteriormente.

A Série Açungui foi designada por Barbosa (1941) após defini-la, na região entre Apiaí e Iporanga, como seqüências da Série São Roque. O autor propõe a extinção da designação Série Ribeira para os conglomerados de Iporanga, proposta por Leonardos (1941), e assume que esses metassedimentos são pertencentes à Série Açungui.

O MMAJ/JICA (1981, 1982, 1983) realizou um reconhecimento regional no Vale do Ribeira nas áreas limítrofes aos estados de São Paulo e Paraná, e posteriormente desenvolveu um mapeamento de semidetalhe (1:25.000), em um projeto chamado Anta Gorda desenvolvido em convênio com o DNPM, realizado em três etapas. O Grupo Açungui foi dividido em três formações, denominadas da base para o topo de Açungui I, Açungui II e Açungui III, com essa última subdividida em sete membros, denominados L1, S1, L2, S2, L3, S3 e L4, compostos alternadamente por rochas carbonáticas e terrígenas.

Campos Neto (1983) distinguiu entre Barra do Turvo e Apiaí sete seqüências litoestratigráficas, e denominou-as informalmente de seqüências Rio Pardo, Ribeirão das Pedras, Iporanga, Betari, Furnas-Lajeado, Serra da Boa Vista e Gorutuba.

Campanha *et al.* (1985) dividiram o Grupo Açungui em Subgrupo Lajeado, Seqüência Iporanga e Seqüência Rio das Pedras. O Subgrupo Lajeado foi subdividido em sete formações, segundo adaptação das proposições de Barbosa (1941), Campos Neto (1983), MMAJ/JICA (1983) e Hasui *et al.* (1984), nomeadas: Formação Betari, Formação Bairro da Serra, Formação Água Suja, Formação Mina de Furnas, Formação Serra da Boa Vista, Formação Passa Vinte e Formação Gorutuba. Posteriormente Campanha *et al.* (1986) modificam a denominação de Seqüência Rio das Pedras para Formação Perau e Seqüência Iporanga para Formação Iporanga.

Faleiros (2008), em sua tese de doutorado, adotou a denominação Grupo Lajeado em detrimento de Subgrupo (Campanha *et al.* 1985, 1986) ou ainda Formação Açungui III (MMAJ/JICA, 1981, 1982, 1983, Daitx *et al.*, 1983). Esta denominação será usada no presente trabalho.

Pires (1988) definiu na região entre Barra do Turvo e Apiaí, utilizando o termo seqüência com conotação de estratigrafia genética, cinco seqüências deposicionais (seqüência Betari, seqüência Furnas-Lajeado, seqüência Serra da Boa Vista, seqüência Gorutuba-Passa Vinte e seqüência Iporanga) e um complexo turbidítico (complexo turbidítico Rio das Pedras), agrupados por associações particulares de tipos distintos de rochas, que revelam episódios regressivos e transgressivos.

Pires (1990) estudou detalhadamente as seqüências Betari e Furnas-Lajeado (Pires, op. cit.), e as considerou como representantes de um ciclo transgressivo-regressivo, com espessura aproximada de 2000 m. Devido às similaridades litológicas e dos ambientes deposicionais entre as seqüências Betari e Serra da Boa Vista, e entre as seqüências

Furnas-Lajeado e Gorutuba-Passa Vinte, o autor sugere a configuração de uma estrutura duplex, gerada por cavalgamento através da Falha de Arapongas.

5.2. Geologia regional

O Cinturão Ribeira no sudeste do Brasil é um orógeno do Neoproterozóico ao Paleozóico inferior.

Dados geocronológicos e interpretações indicam que a região consiste em uma associação de terrenos tectono-metamórficos distintos de idade mesoproterozóica a neoproterozóica, acrescidos como um terreno composto provavelmente durante o Neoproterozóico, com os últimos estágios associados a um sistema transcorrente destal regional e uma colisão continental oblíqua (e.g. Campanha & Faleiros, 2005).

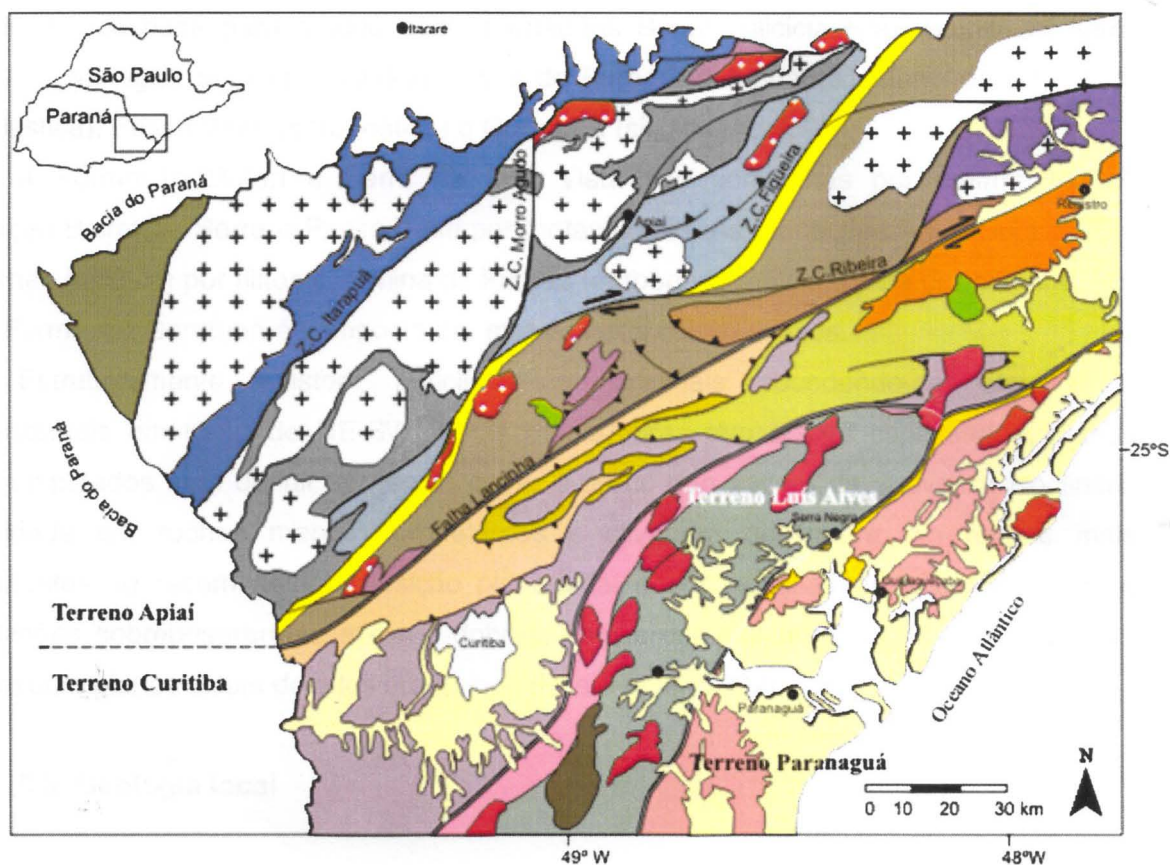
São reconhecidos na região do Vale do Ribeira quatro domínios tectônicos ou terrenos principais (Basei *et al.*, 1992; Campanha & Sadowski, 1999, Siga Júnior, 1995; Heilbron *et al.*, 2004, Faleiros, 2008): Terreno Apiaí, Terreno Curitiba, Terreno Luís Alves e Terreno Costeiro ou Paranaguá (Figura 2).

A área de estudos está compreendida no Terreno Apiaí, localizado ao norte do Lineamento Lancinha, o qual compreende rochas supracrustais metamorfizadas em condições de fácies xisto verde a anfibolito designadas como Supergrupo Açungui (Campanha, 1991; Campanha & Sadowski, 1999). Seu embasamento é caracterizado por uma associação de ortognaisses migmatíticos-miloníticos e ocorrem em núcleos isolados, principalmente em posições centrais de antiformal amplas (Faleiros, 2008).

À norte do Lineamento Lancinha ocorrem também suítes neoproterozóicas intrudidas nas supracrustais e no embasamento.

O Supergrupo Açungui, predominante neste Terreno, é subdividido em unidades dispostas lateralmente em faixas longilíneas de orientação NE (Campanha *et al.* 1987, Campanha, 1991, Campanha & Sadowski, 1999). Em geral, seus contatos são tectônicos, dado pelo sistema de zonas de cisalhamento transcorrentes. As unidades são denominadas de grupos Votuverava, Lajeado e Itaiacoca, formações Água Clara e Iporanga, e Sequência Serra das Andorinhas.

O Grupo Lajeado compreende a área de estudos. Trata-se de uma seqüência plataforma de águas rasas, porém não litorâneas (Petri & Suguieu, 1969) com alternância de pacotes de rochas de composição carbonática e psamopelítica limitada a sul pela Formação Iporanga e o Subgrupo Ribeira através da zona de cisalhamento (Lineamento) da Figueira.



Legenda

- Coberturas sedimentares fanerozóicas
- Rochas alcalinas/ultramáficas/básicas mesozoicas
- zona de cisalhamento transcorrente
- zona de cisalhamento de empurrão

Terreno Apiai

- Grupo Castro (Ediacarano-Cambriano)
- Granitoides pós-colisionais, tipo A
- Formação Iporanga (Ediacarano)
- + Suites graníticas cálcio-alcalinas (Ediacarano)
- Grupo Itaipoca (Neoproterozóico)
- Grupo Lajeado (Meso a Neoproterozóico)
- S. das Andorinhas (Meso a Neoproterozóico)
- Grupo Votuverava (Mesoproterozóico)
- Formação Água Clara (Mesoproterozóico)

Embasamento Gnáissico (Paleoproterozóico)

- Núcleos Tigre, Betara e Apiai-Mirim

Terreno Curitiba

- Província Graciosa Granitoides Tipo A
- Granito Itaipuina, Tipo S (Ediacarano)
- Supracrustais (Neo a Mesoproterozóico)*
- Formação Capiru
- Formação Setuva
- Complexo Turvo-Cajati

Embasamento Gnáissico (Paleoproterozóico)

- Complexo Atuba

Terreno Luis Alves

- Província Graciosa Granitoides Tipo A
- Bacia Guaratubinha (Ediacarano)
- Suite Rio Piên-Mandirituba (Ediacarano)

Embasamento Granulítico (Paleoproterozóico a Arqueano)

- Terreno Luis Alves
- Complexo Serra Negra

Terreno Paranaguá

- Província Graciosa Granitoides Tipo A
- Granitoides Cálcio-Alcalinos (Ediacarano)
- Supracrustais (Neo a Mesoproterozóico)*
- Sequência Cachoeira

Figura 2. Mapa geológico regional, adaptado de Faleiros (2008).

A coluna estratigráfica do Grupo Lajeado, adotada por Campanha *et al.* (1985, 1986), é composta da base para o topo pelas formações Betari (siliciclástica), Bairro da Serra (carbonática), Água Suja (siliciclástica), Mina de Furnas (carbonática), Serra da Boa Vista (siliciclástica), Passa Vinte (carbonática) e Goruruba (siliciclástica).

A Formação Betari e Serra da Boa Vista são compostas por metarenitos. A Formação Bairro da Serra e Passa Vinte por metacalcário. As formações Água Suja e Mina de Furnas (pelítica) por filitos e, a Mina de Furnas (carbonática) é composta por calcário. Por fim, a Formação Gorutuba é composta por metassiltitos calcisilicáticos.

Estruturalmente existem anticlinais e sinclinais sucedendo-se com eixos subhorizontais em torno de NE-SW. Estas megadobras têm ápices espessados, planos axiais empinados sem definir vergência clara, e perfis que variam de suaves a isoclinais. Xistosidade em rochas menos competentes e clivagem de fratura em rochas mais competentes aparecem com disposição plano-axial e em leque. Ondulações discretas e crenulações sobrepueram-se a estas dobras, com eixos em torno de NE-SW e NW-SE sempre com planos axiais de altos mergulhos (Hasui *et al.*, 1992).

5.3. Geologia local

A região estudada compreende uma área de aproximadamente 10 km² entre a Caverna de Santana e a Mina de Furnas, região a noroeste do anticlinório Serra da Biquinha e do Bairro da Serra.

A Mina de Furnas teve sua entrada principal no pacote carbonato-pelítico da Formação Mina de Furnas, que hoje se encontra soterrada. A boca da Caverna de Santana encontra-se no pacote carbonático-pelítico da Formação Bairro da Serra (Figura 5).

A Formação Betari é um pacote psamo-pelítico, reunindo filitos, xistos finos, quartzitos e metaconglomerados oligomíticos. Possui espessura superior a 500 m (Figura 5).

A Formação Bairro da Serra constitui-se de um pacote carbonático-pelítico, reunindo calcários (predominantes na base) e dolomitos, com intercalações de filitos, cálcio-filitos e calcarenitos. Possui espessura de cerca de 500 m. Nesta unidade, assim como na Formação Mina de Furnas ocorrem as mineralizações de Pb-Zn-Ag. Nela aloja-se a Caverna de Santana (Figura 3).

A Formação Água Suja é um pacote pelítico com algumas intercalações de psamitos finos. Possui comportamento impermeável.

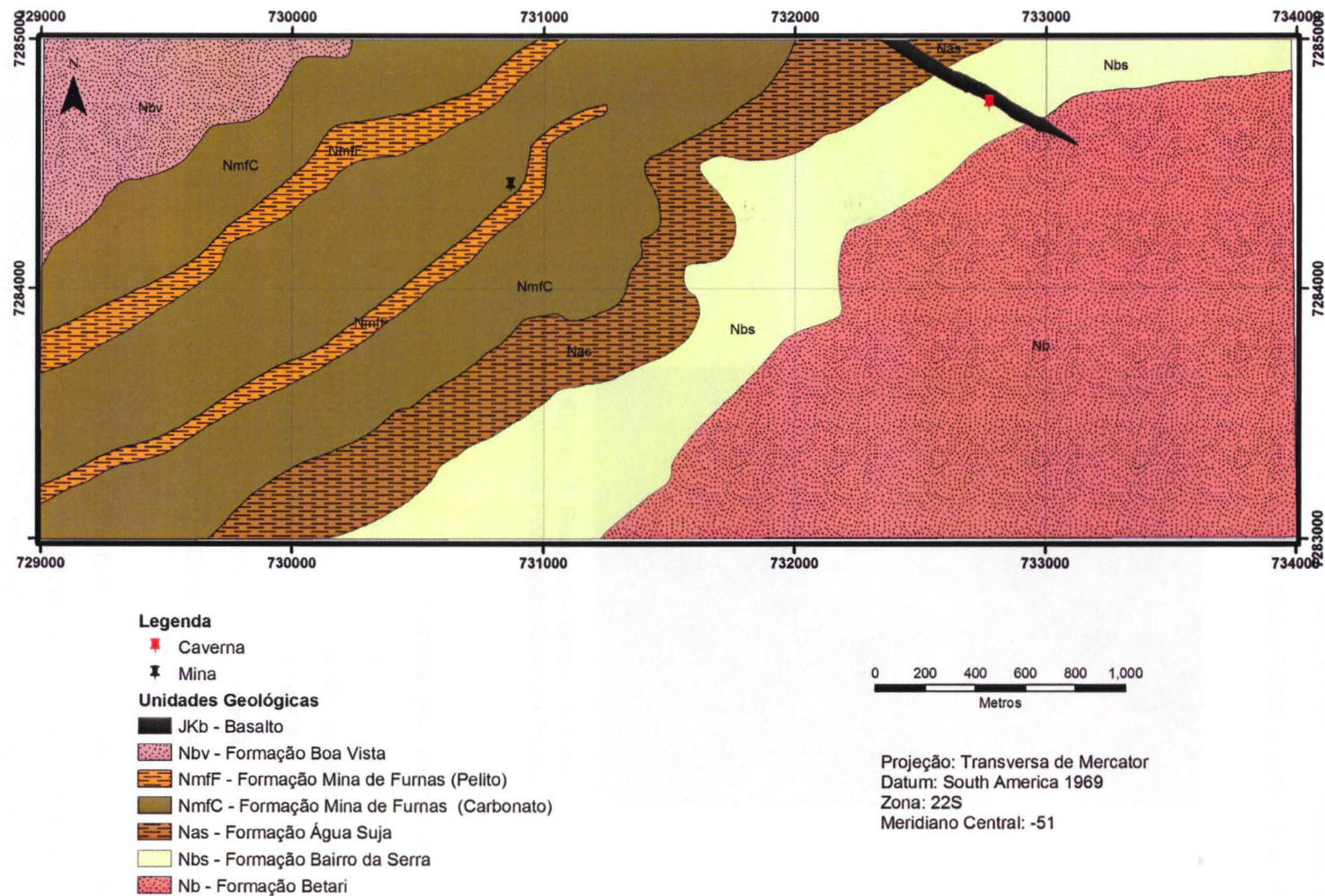


Figura 3. Mapa geológico da área de estudos, modificado de Faleiros (2000).

A Formação Mina de Furnas ou A-III-L3 (JICA 1981-84) aloja os corpos de minério de chumbo, zinco e prata da mina com nome homônimo. Sua composição consiste de um pacote de rochas metacarbonáticas bandadas, tendo faixas calcárias, de cor cinza escuro e espessuras decimétricas, e faixas dolomíticas, de cor claras e espessuras similares (Figura 4). Para o topo, o conjunto passa a ser de matacalcários e metadolomitos homogêneos, escuros e finos, com intercalações de filitos e cálcio-filitos (Hasui, *et al.* 1991).

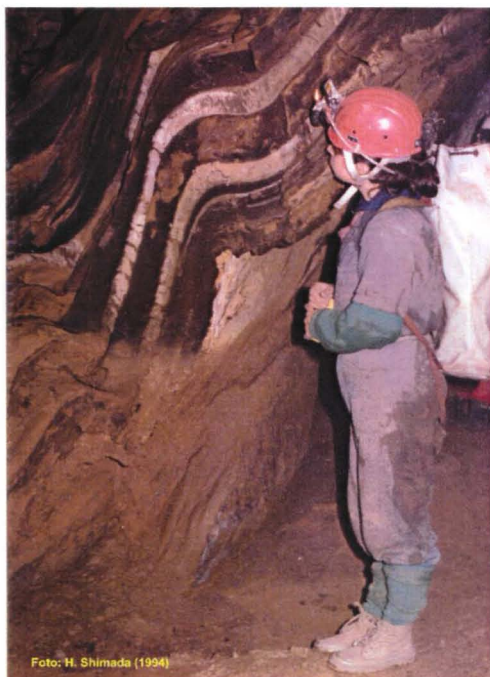


Figura 4. Rocha metacarbonática bandada Formação Mina de Furnas.

A Formação Serra de Boa Vista é composta por pacote psamo-pelítico, que tem limite superior erosivo e alcança 800 m de espessura.

A região da Mineração Furnas, objeto de estudo, possui como estruturas marcantes o acamamento (S_0), com atitude média por volta de N330/50, a xistosidade (S_1), com atitude média por volta de N320/vertical, clivagem de crenulação (S_2) em filitos e cálcio-filitos, juntas, formando quatro famílias, zona de cisalhamento com direção N350 a N000 e falhas de pequena extensão (Hasui *et al.* 1991).

Diversas famílias de juntas entrecruzadas são encontradas na área de estudos, destacando-se as de tipos transversal, longitudinal e oblíquas à direção do acamamento (e dos eixos de dobras), todas com altos mergulhos. Na área, as mais freqüentes são às de direção NE-SW, que se desenvolvem tardiamente no processo de deformação que afetou o Subgrupo Lajeado. Essas estruturas NE-SW são identificadas em toda área de estudos (Hasui *et al.*, 1992).

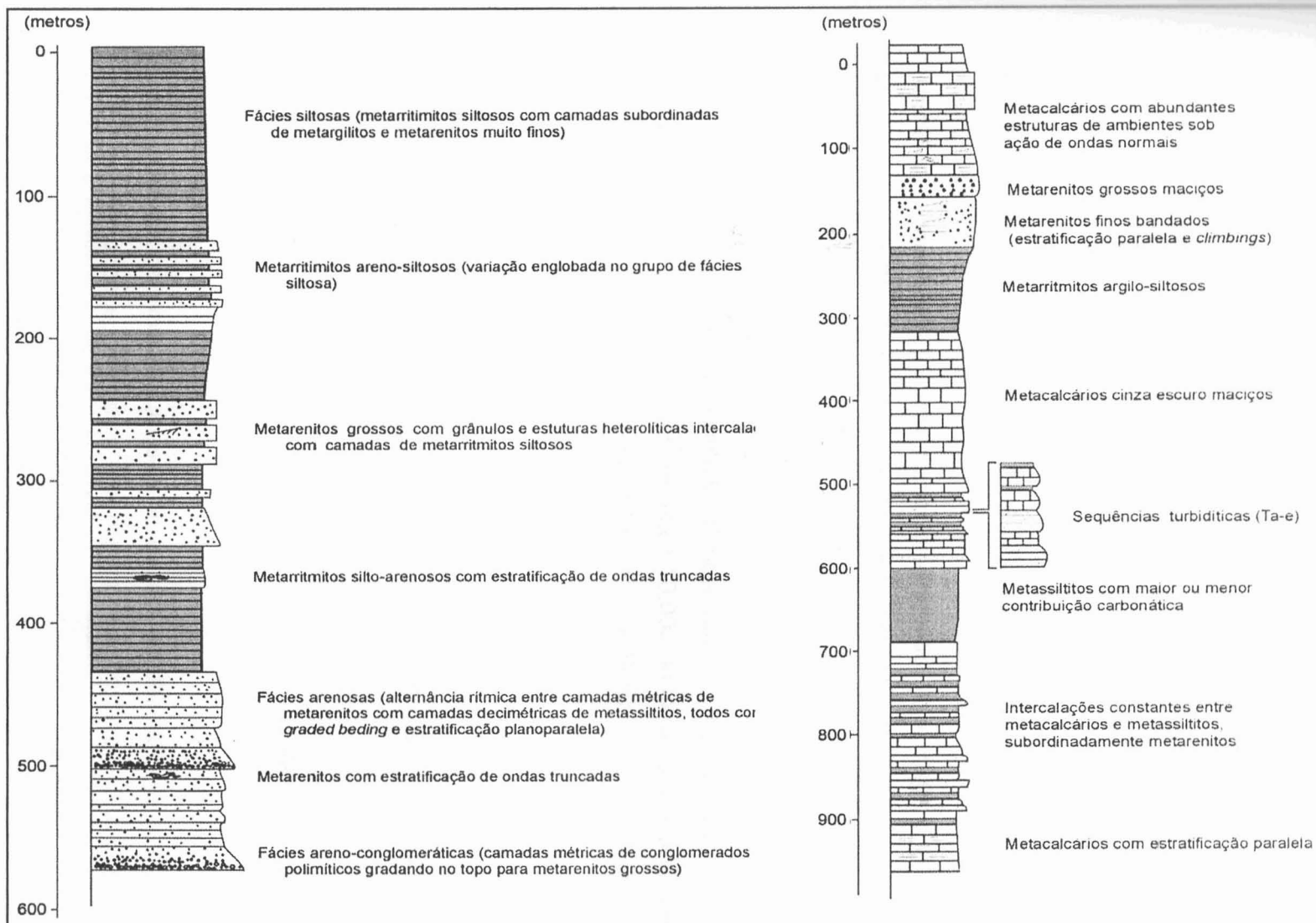


Figura 5. Colunas estratigráficas das Formações Betari, à esquerda e Bairro da Serra, à direita, adaptadas de Faleiros (2000).

6. MATERIAIS E MÉTODOS

Além da obtenção de licenças de programas de computador utilizados no projeto, para tal execução, realizou-se compilação de dados e informações cartográficas como geologia regional e local, estratigrafia, cartas topográficas e tutoriais para utilização dos programas.

Para elaboração do modelo utilizou-se principalmente o *Move™ 2010.1*, programa de computador especializado em geologia estrutural da empresa *Midland Valley Exploration Ltd.*, do qual se possui licença acadêmica para utilização fornecida pela própria empresa.

A fim de integrar os dados coletados em ambiente *Move*, utilizaram-se outros programas como, o *ArcGIS 9.3* da *ESRI*, *AutoCAD® 2010* da *AutoDESK* e *Microsoft Office Excel 2007*, para tratar e homogeneizar os formatos aceitos pelo programa. Estes foram escolhidos, pois tem seu uso bastante difundido e o Instituto de Geociências, da Universidade de São Paulo possui as licenças para utilização no Laboratório de Informática Geológica (LIG). Por fim, para conversão de formatos usou-se o *Global Mapper v11.00* da *Global Mapper Software LLC* versão *trial* (teste), disponível na internet.

Informações sobre a geologia e estratigrafia foram detalhadas com devidas referências bibliográficas no capítulo 5 – Fundamentação Bibliográfica.

As cartas topográficas com escala 1:10.000 do Instituto Geográfico e Cartográfico - IGC, Arapongas – SG-22-X-B-V-2-NO-C e Rio Betari – SG-22-X-B-V-2-NO-C, foram disponibilizadas já digitalizadas pelo professor Dr. Carlos Henrique Grohmann de Carvalho. O mapa base da Mina de Furnas utilizado no trabalho foi disponibilizado pela *Prominer*, empresa prestadora de serviços que possui o material da antiga mineração, antes administrada pela *Plumbum S/A Indústria Brasileira de Mineração*. O mapa da Caverna de Santana (Lepine *et al.* 1992) já elaborado em formato *.dxf*, extensão do *AutoCAD*, foi utilizado para a confecção do modelo digital.

Como tratamento dos dados para posterior inserção no *Move*, foram realizadas algumas etapas. Com relação às cartas topográficas foram selecionadas partes de interesse em cada uma no *ArcGIS* e suas curvas de nível vetorizadas com valores de cotas atribuídos.

O mapa da Mina de Furnas foi digitalizado e trabalhado no *AutoCAD*. O contorno da mina foi vetorizado e os valores dos pontos cotados foram atribuídos a pontos (**circle**) inseridos no mapa. Para simplificar as galerias da mina usaram-se linhas (**polylines**) para representar sua forma, interligando-se aos pontos com valores de cotas atribuídos de modo a formar uma trama.

A Caverna de Santana foi elaborada em formato *.dxf*, o que facilitou a manipulação do arquivo, sendo este trabalhado em *AutoCAD*. Como apenas o contorno da caverna foi

determinado para representá-la, apagaram-se todas as outras informações do desenho, como material encontrado nas galerias e perfis. O mesmo procedimento usado para simplificar a complexidade da estrutura da mina também foi feito na caverna. Ligaram-se linhas (**polylines**) a círculos (**circle**) com valores de cotas atribuídos.

Utilizaram-se os procedimentos mostrados no tutorial do *Move* (2010) para treinamento e posterior elaboração do modelo tridimensional proposto.

7. PREPARAÇÃO DOS DADOS

7.1. Curvas de Nível

O *ArcGIS*, sendo um programa usado em processamento de dados e Sistemas de Informações Geográficas (SIG), nos permite trabalhar com dados na forma vetorial ou *raster*. A forma vetorial permite ao usuário a edição de dados com a finalidade de desenvolver mapas temáticos, sistemáticos, topográficos, etc. O *raster* é uma imagem que pode ser sobreposta como uma camada sobre outro dado vetorial.

Como definição, o SIG é uma tecnologia que necessita usar o meio digital, devendo agir sobre uma base de dados georreferenciada, para proceder a operações algébricas não cumulativas (operações lógicas) e cumulativas (operações aritméticas), com finalidades específicas.

O georreferenciamento das cartas foi feito com a ferramenta **georeferencing**, com sistemas de projeção Universal Transversa de Mercator - UTM e o *Datum* SAD 69 – zona 22-sul.

Após georreferenciados, os trechos de interesse de cada folha foram cortados com a ferramenta **clip** colados (**mosaic**) um ao outro.

A vetorização das curvas de nível foi feita no *ArcMap*, através da ferramenta **ArcScan**, que permite a vetorização de um arquivo *raster*, como uma imagem. Para cada curva de nível foi atribuído um valor de cota de acordo com o mapa topográfico (Figura 6).

Com a ferramenta **Export To CAD** do *ArcMap* converteu-se o arquivo para **.dwg** e, por fim, este foi salvo na extensão **.dxf** através do AutoCAD, para a inserção deste no *Move*.

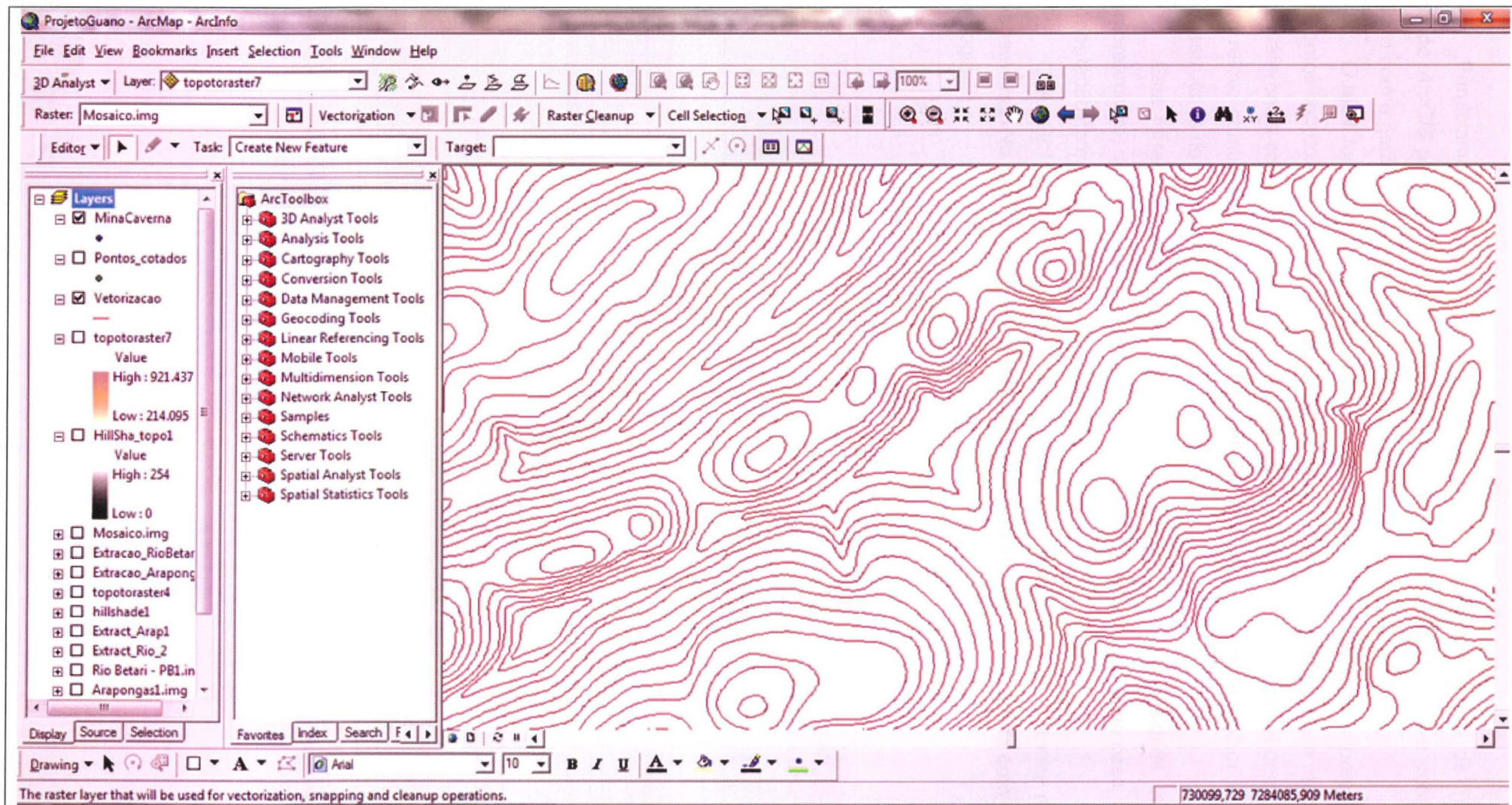


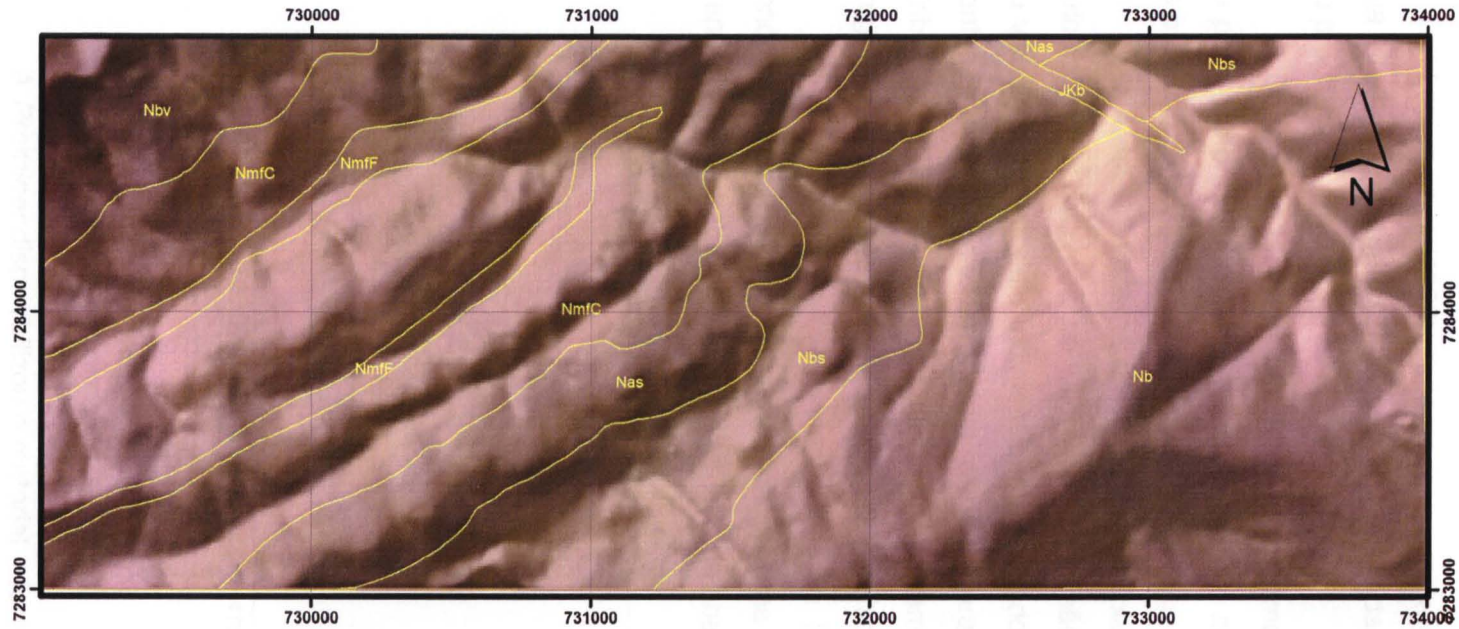
Figura 6. Vetorização das curvas de nível no ambiente ArcMap.

Paralelamente a esta etapa realizou-se o MDT – Modelo Digital de Terreno no próprio *ArcGIS* permitindo a visualização digital da superfície do terreno e correlação do relevo com a geologia e localização da mina e da caverna (Figura 7).


O MDT foi realizado através das curvas de nível vetorizadas, com valores de cotas e os pontos cotados (**ArcToolBox > 3D Analyst Tool > Topo To Raster**). Esse modelo indica com diferentes cores faixas de diferentes elevações. Com o MDT é possível gerar um mapa com relevo sombreado com a ferramenta **Hillshade**, que nos permite melhor visualização das estruturas de relevo.

Esta ferramenta possibilita a escolha da orientação da luminosidade utilizada no sombreado, dessa forma é possível ressaltar algumas estruturas. Neste caso, utilizou-se a orientação com azimuth 315 e elevação 45.

O *ArcGIS* permite o usuário que selecione as informações que pretende mostrar na imagem final. No caso, a imagem do relevo sombreado foi sobreposicionada com o *layer* da geologia.



Legenda

 Contatos Litológicos

Altimetria

Value

 High : 921.437
Low : 214.095

Litologias:

Jkb - Basalto
Nbv - Formação Boa Vista
Nmff - Formação Mina de Furnas - Filito
Nmfc - Formação Mina de Furnas - Calcário
Nas - Formação Água Suja
Nbs - Formação Bairro da Serra
Nb - Formação Betari

0 200 400 600 800 1,000
Metros

Projeção: Transversa de Mercator
Datum: South America 1969
Zona: 22S
Meridiano Central: -51

Figura 7. Mapa de relevo sombreado.

7.2. Caverna de Santana

O dado referente à caverna foi tratado de forma a simplificar a geometria do mapa, deixando apenas informações como cotas, contorno, coordenadas, norte geográfico e escala.

Lepine *et al.* (1992) mapearam a caverna e criaram um mapa com formato **.dxf**. Para sua utilização no *AutoCAD* não houve necessidade de convertê-lo para formato compatível do programa.

De forma a facilitar a construção da geometria da caverna em três dimensões, optou-se por transformá-la em linhas (**polylines**) que se ligavam através de vértices (**circle**) com valores de elevação definidos, apagando-se outras informações não essenciais.

O *AutoCAD* trabalha com modelos em planta com ou sem informações de elevação atribuídas. Por isso, quando valores de cotas são adicionados nos objetos, podemos gerar ou visualizar um modelo tridimensional. Baseado neste fato, as linhas foram interligadas nos pontos (círculos) pela ferramenta **osnap**, garantindo que valores de elevação fossem atribuídos à trama. Assim, quando essa trama é visualizada no módulo **3dorbit** do programa, consegue-se identificar além do arranjo, sua disposição no espaço.

Nessas condições, o desenho perdeu informações como volume de galerias e condutos, além de alguns trechos da caverna que não continham informação de cota mapeada. Esse tratamento é representado na abaixo (Figura 8).

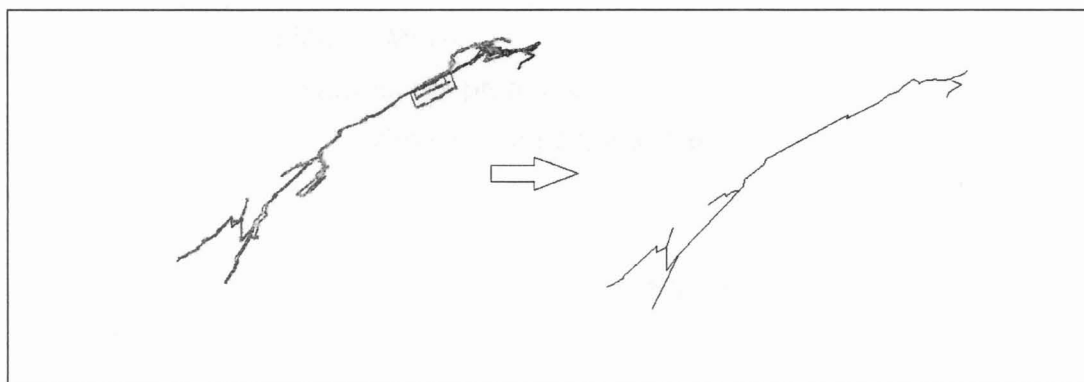


Figura 8. Simplificação do contorno da caverna em *AutoCAD*.

7.3. Mina de Furnas

A *Prominer* disponibilizou o material referente à Mina de Furnas, o qual foi analisado e um dos mapas foi selecionado, sendo o critério usado a atualidade em relação à desativação da mina. Informações como cotas topográficas, coordenada da boca da mina e geometria de condutos e galerias foram extraídas.

Digitalizou-se o mapa para tratamento e posterior inserção no *Move*. O mapa foi georreferenciado no *ArcMap* e escalado no *AutoCAD*. Neste mesmo programa realizou-se a simplificação da estrutura, da mesma forma que foi feita no mapa da caverna. Transformou-se a geometria da mina em linhas (**polylines**) que se ligavam por pontos (**circle**) com cotas de forma a garantir a conexão entre os trechos (**osnap**) e atribuição de valores às linhas. Este arquivo foi salvo em **.dxf**, formato aceito no *Move* (Figura 9).

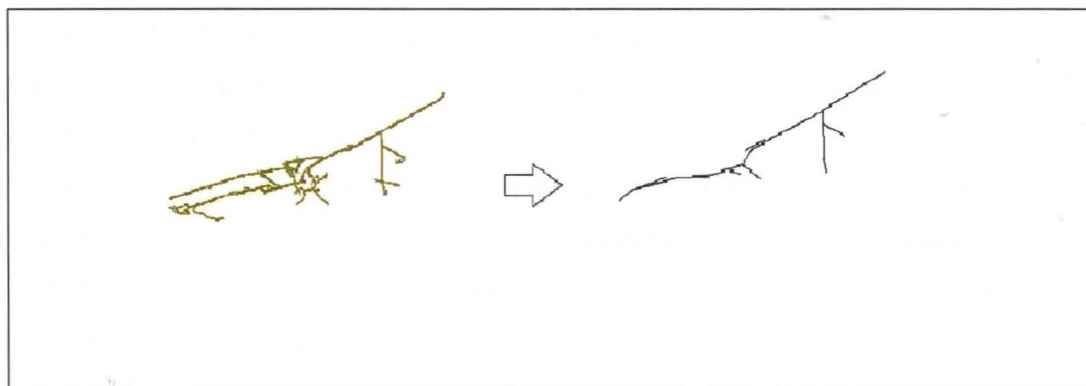


Figura 9. Simplificação do contorno da mina em *AutoCAD*.

7.4. Tabela com atitudes

Uma tabela com dados de atitudes de acamamento (rumo do mergulho e mergulho) obtidos de Faleiros (2000) foi feita no *Excel* e exportada em **.txt** (texto separado por tabulações) para ser inserida no *Move*.

A fim de usar o arquivo no programa, salvaram-se os dados como numéricos, usaram-se pontos ao invés de vírgulas para separar casas decimais e optou-se por usar o formato **.txt**.

8. INSERÇÃO DE DADOS E CONSTRUÇÃO DO MODELO

O *Move* é um programa de computador que cria e analisa modelos geológico-estruturais permitindo ao usuário inserir diversos parâmetros, como litologias, atitudes, fraturas, permeabilidade das diversas litologias, etc. Este programa possui módulos 2D, 3D e 4D, pois cada um trabalha com diferentes ferramentas nos permitindo realizar distintas tarefas.

O *Move* 2D trabalha em mapas e seções, com balanceamento, restauração cinemática, validação e análise estrutural. O módulo 3D é especializado em criar um modelo estrutural avançado com uma análise cinemática completa. O *Move* 4D, além disso, possui

uma dimensão extra com múltiplos modelos ou hipóteses que representam cenários geológicos ao longo do tempo (*Midland Valley*, 2010).

Os arquivos são salvos distintamente entre os módulos, porém o programa permite a interface entre eles. A vantagem dessa interface é a fácil transferência de arquivo para executar diferentes tarefas em cada módulo.

A organização dos arquivos inseridos nos diferentes módulos do programa é feita através de pastas que ficam visíveis ao usuário no lado esquerdo da janela do aplicativo (*Model Browser*). Utilizamos para o objetivo proposto no projeto o *Move* 2D e 3D, que trabalham com as pastas: *Surface Sets*, *Horizonts Sets*, *Section Sets*, *Fault Block Sets*, *Fracture Sets*, *Sets* e *Object Types*. A primeira guarda informações das superfícies criadas, a segunda mostra as unidades geológicas, a terceira informações das seções construídas, a quarta falhas, a quinta informações sobre fraturamento, a sexta informações sobre outros conjuntos de dados e a sétima mostra todos os arquivos criados, porém separados por tipo de dado, como linhas, vértices, etc.

A fim de realizar a inserção de dados no *Move*, em síntese, as seguintes etapas foram realizadas: importação das curvas de nível, contatos litológicos, atitudes estruturais e levantamentos topográficos da mina e da caverna, ajuste entre o mapa geológico e a topografia, criação de perfis, interpretação de dados e ajuste para o modelo em três dimensões. A seguir cada etapa é descrita detalhadamente.

8.1. Inserção das curvas de nível, contatos litológicos e atitudes – *Move* 2D

Para inserção das curvas de nível e contatos litológicos utilizou-se o aplicativo *Move* 2D. Como o programa aceita apenas alguns tipos de arquivos, utilizamos uma cópia das curvas de nível extraídas de projeto do aplicativo *ArcGIS* e salvas com extensão **.dxf**, devidamente georreferenciadas em coordenadas UTM, em metros (Figura 10).

Para salvar o arquivo **.shp**, extensão do *ArcGIS* para **.dxf**, extensão do *AutoCAD*, utilizou-se o programa de computador *Global Mapper*, pois o *ArcGIS*, apesar de possuir uma ferramenta de exportação, não o faz com valores de cotas.

Os contatos litológicos também foram exportados do *ArcGIS*, para isto utilizou-se a ferramenta **Export to CAD** a fim de converter a extensão do arquivo com o mesmo objetivo que para as curvas de nível. Os contatos foram exportados como polígonos.

Os dados de atitudes de acamamento medidos no campo por Faleiros (2000) foram usados no modelo, importando-os através de uma tabela feita em *Excel* e salva em formato **.txt** (texto separado por tabulações).

Ao inseri-la no *Move 2D* (**File > Insert > Ascii Well Data**), selecionaram-se opções de separadores, identificador, coordenadas X e Y, direção, mergulho e valores de cotas, como indicado na Figura 11.

O arquivo com as curvas de nível, atitudes de acamamento e contatos foram salvos no *Move 2D* e quando transferido para o 3D, um novo nome será dado, pois na transferência há risco de perda de informações.

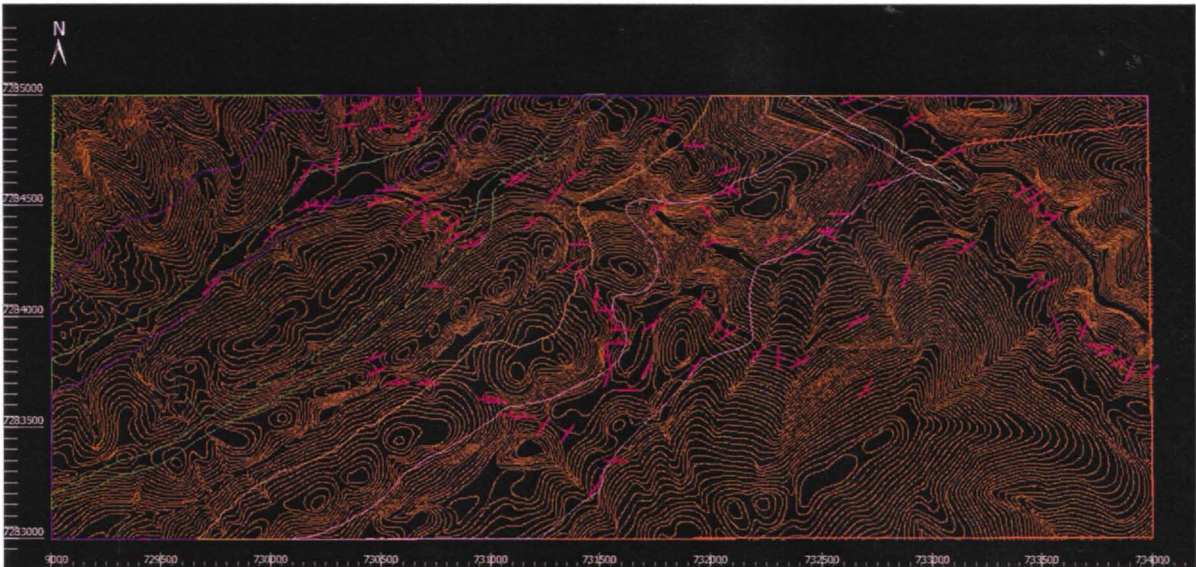


Figura 10. Visualização no *Move 2D* apresentando em planta, curvas de nível, contatos litológicos e atitudes. Coordenadas UTM em metros.

Well Import Wizard

Column Separators

☒ Tab ☒ Space ☒ Treat multiple as one

☐ Comma ☐ Semicolon

Start Import at

Select... Line

☐ First line is well position

Vertical Well / drill hole defined as:

☒ Zero degrees ☐ -90 degrees ☐ +90 degrees

☒ Null values in file Z Null Value 1.0E37

Column Specification and Preview

Id	X	Y	Dip_Azimuth	Dip	Z
FF024	731473.490000	7283136.150000	335.000000	-30.000000	638.260071000000
FF025	731480.650000	7283228.370000	310.000000	-37.000000	626.984131000000
FF225	731350.000000	7283471.000000	310.000000	-45.000000	551.506836000000
FF224	731239.000000	7283502.000000	307.000000	-55.000000	539.043701000000
FF222	731092.000000	7283552.000000	8.000000	-62.000000	566.004639000000

☒ Show import summary

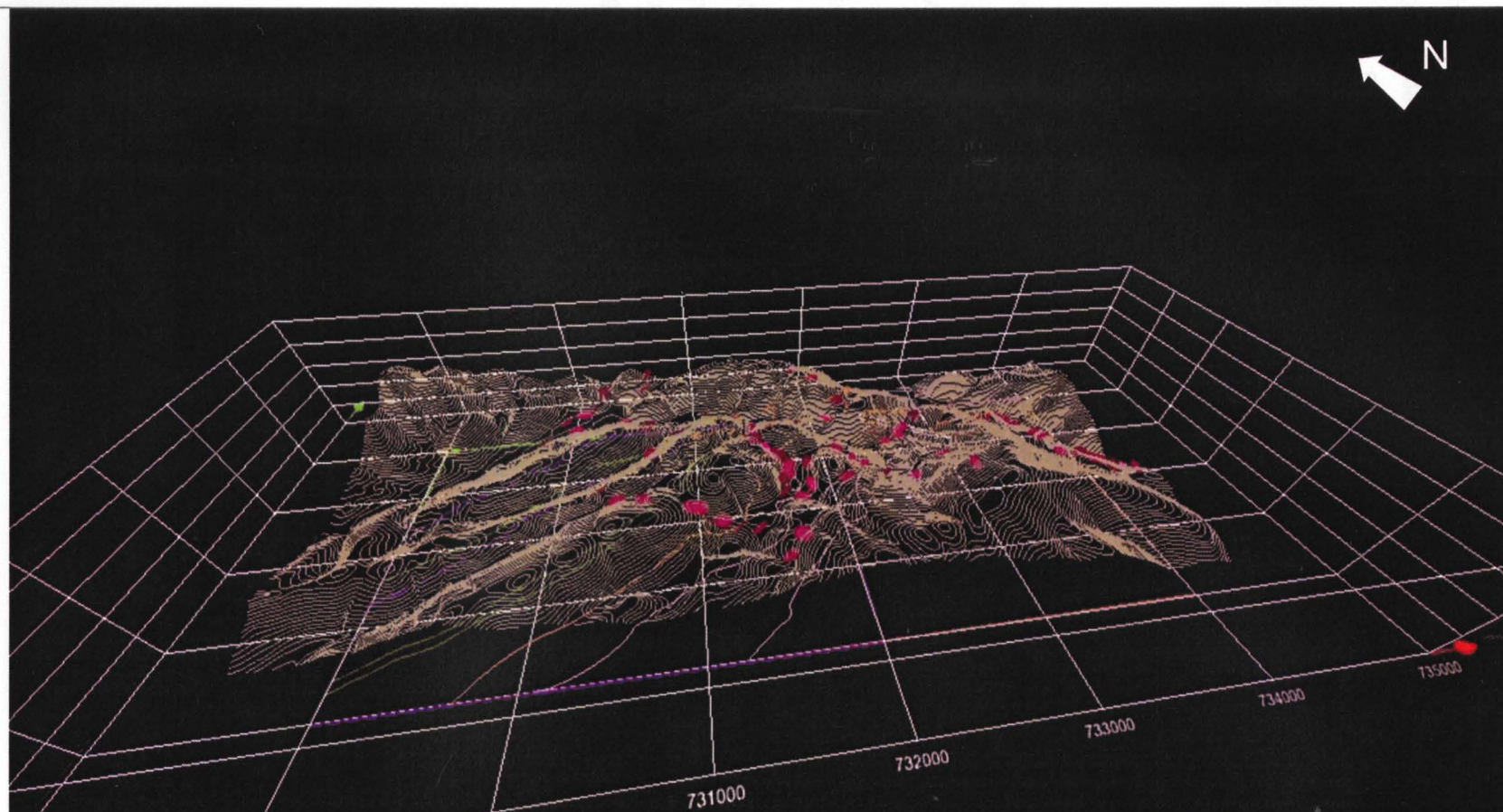
Figura 11. Janela de importação dos pontos de campo e atitudes medidas no formato ascii.

8.2. Aumento do número de nós nos polígonos – *Move 2D*

A partir do **Menu Tools > Sampling > Increase** adicionaram-se nós aos polígonos inseridos com informação dos contatos geológicos. Cada polígono teve o maior número possível de nós entre suas linhas visando um melhor ajuste deste *layer* à topografia, que é feito por meio de triangulação em etapa posterior.

8.3. Superfície topográfica – *Move 3D*

Para construir uma superfície a partir das curvas de nível, utilizou-se o *Move 3D*. Após transferência do arquivo do *Move 2D* para o 3D, utilizou-se a ferramenta **Create Surface from Lines**, que permite o usuário criar superfícies a partir de linhas (Figura 12). Assim as curvas de nível foram selecionadas, o modo linear foi escolhido como método de interpolação e uma superfície foi criada. Esta superfície é base para o desenvolvimento das seções e interpretação geológica.



- Curvas de nível
- Altitudes de acamamento

Figura 12. Curvas de nível e altitudes de acamamento. Coordenadas UTM em metros.

8.4. Ajuste da geologia à superfície topográfica – *Move* 3D

A partir da superfície topográfica criada na etapa anterior, os polígonos dos contatos litológicos puderam ser ajustados na topografia (**Menu Structural Modelling > Unfold**), de forma que ficassem o mais preciso possível.

Esse recurso foi usado, pois os contatos geológicos quando importados para o *Move* o fazem em planta. Este *layer* ajustado na superfície e coincidente com a topografia é usado como informação para interpretar os perfis.

8.5. Criação de perfis – *Move* 3D

Com os polígonos da geologia ajustados à superfície topográfica, traçaram-se alguns cortes perpendiculares às principais estruturas ou ao eixo médio de dobramento.

Para direcionar os cortes dos perfis, utilizou-se a medida geral do eixo π no domínio "A1", N54E/01 (Campanha, 1991).

Como comparação determinou-se o eixo π na área de estudo utilizando-se a ferramenta **Analysis > Orientation Analysis** do *Move* 2D.

Esta ferramenta permite a análise em estereograma dos dados selecionados (Figura 13) e indica o pólo L, que representa o eixo π . O plano perpendicular a esse pólo será a melhor direção para a projeção estereográfica mostra o pólo L, esta análise resultou em valor próximo à direção sugerida por Campanha (1991), indicando precisão na escolha da direção dos perfis.

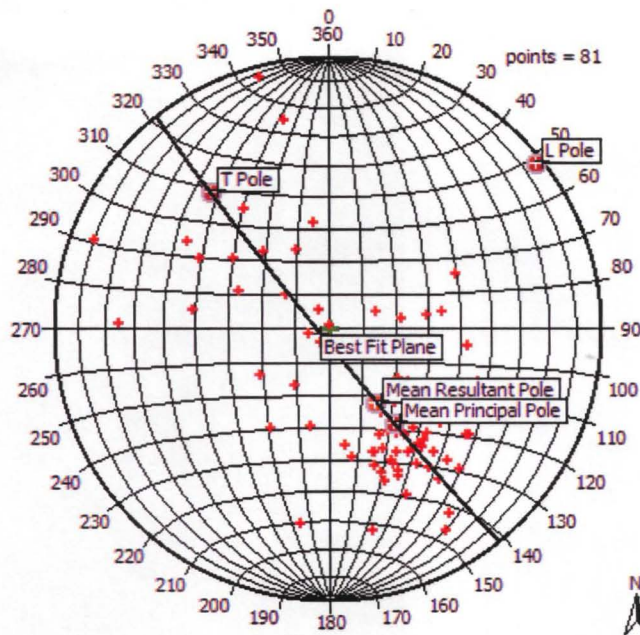


Figura 12. Estereograma apresentado pelo Move para o conjunto de atitudes de acamamento utilizado.

O traço do perfil é feito com a ferramenta **Section Tool**. Ao abri-la, um plano “fantasma” aparece no perfil e o usuário pode escolher a direção e ângulo das seções. Sendo a direção dos perfis N54°W, optou-se criar várias seções paralelas a primeira, escolhendo o número de seções desejadas.

Todos os dados foram transferidos para o módulo 2D do programa onde realizou-se interpretação dos horizontes litológicos nas seções (Figura 14).

8.6. Interpretação dos perfis – Move 2D

Com as seções traçadas, o arquivo foi transferido para o *Move 2D* a fim de realizar-se a interpretação geológica. O programa projeta a atitude dos pontos selecionados nas seções, calcula e lança os mergulhos aparentes. Cada perfil foi interpretado e os topos das camadas litológicas foram traçados (Figura 15).

Para isso, inseriu-se uma tabela com as unidades litológicas e respectivas cores e utilizou-se a ferramenta **Horizon (Use Database)**. Esta ferramenta possibilita o usuário traçar contatos no caso, do topo das camadas, com as respectivas cores para cada litologia.

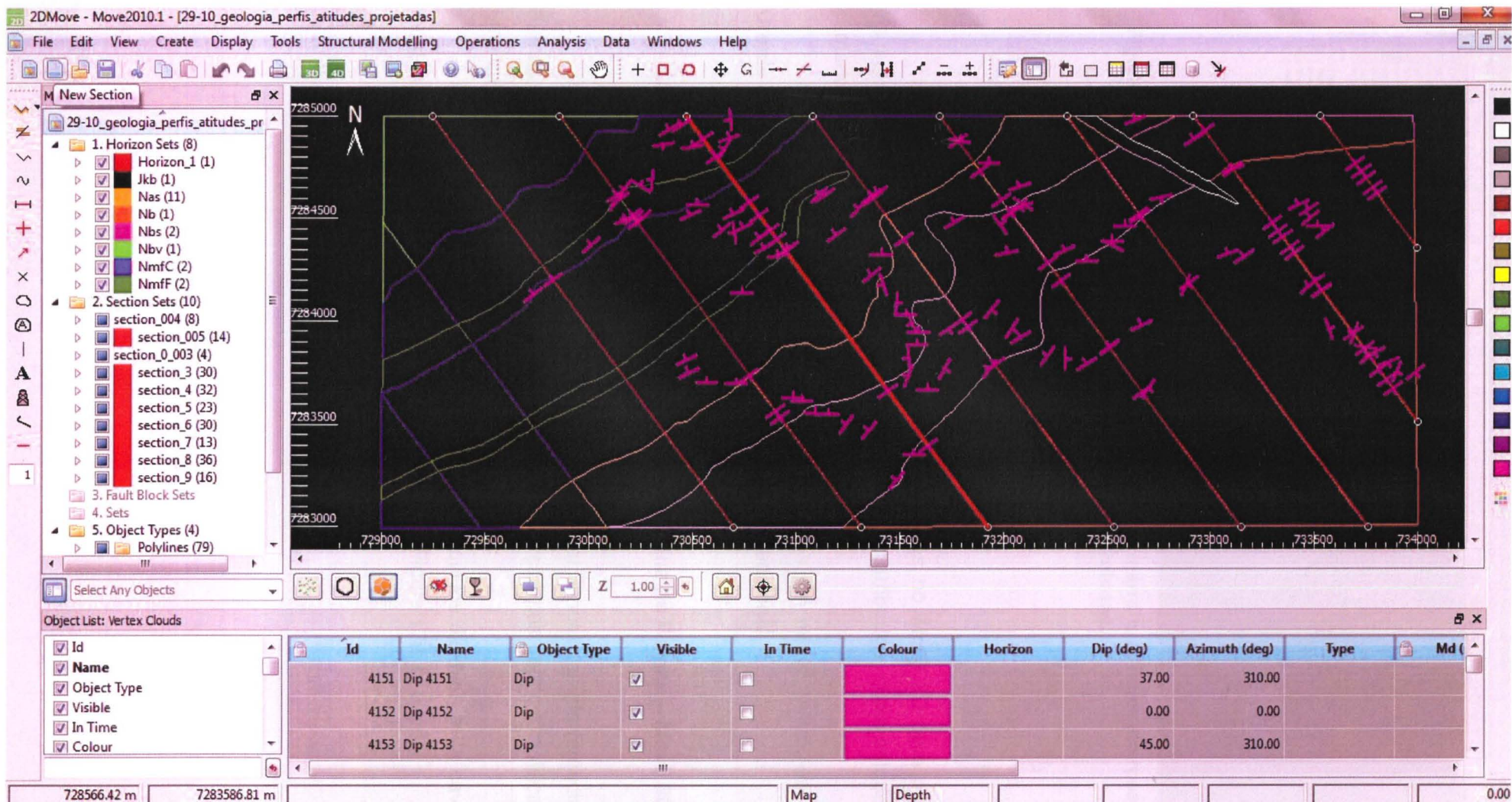


Figura 13. Perfis paralelos (vermelhos) em planta criados no Move 3D e transferidos para o 2D, com as atitudes de acamamento representadas por símbolo rosa. Coordenadas UTM em metros.

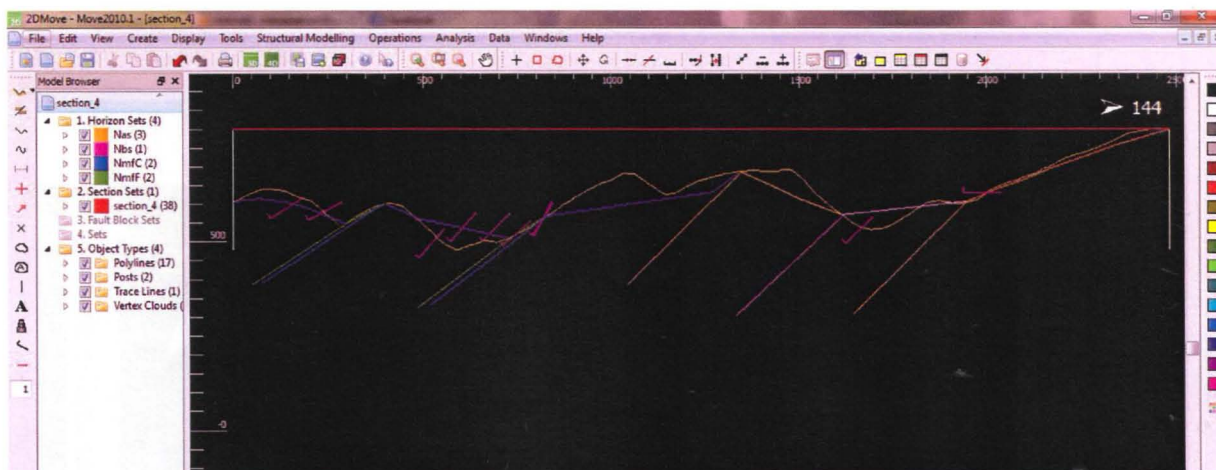


Figura 14. Seção 005 com a superfície topográfica em marrom, atitudes em rosa, e contatos litológicos (topos) interpretados.

8.7. Criação do modelo – *Move 3D*

Ao transferir o arquivo com as seções salvas no *Move 2D* para o 3D podemos visualizar a sequência de seções com as informações atribuídas, como atitudes, contatos e camadas (Figura 16).

A partir das seções e dos contatos litológicos em mapa, utilizou-se a ferramenta **Create Surface from Lines** para criar o modelo tridimensional.

8.8. Inserção da Caverna de Santana e da Mina de Furnas – *Move 3D*

Como um dos objetivos do projeto seria avaliar a possível interferência da Mina de Furnas na Caverna de Santana, foi essencial a inserção dos dados simplificados tanto de uma quanto da outra no modelo tridimensional pronto.

Em **File > Insert > Dxf** adicionaram-se os arquivos da mina e da caverna, que se mostraram com um desnível topográfico significativo (Figura 17a, b, c e d).

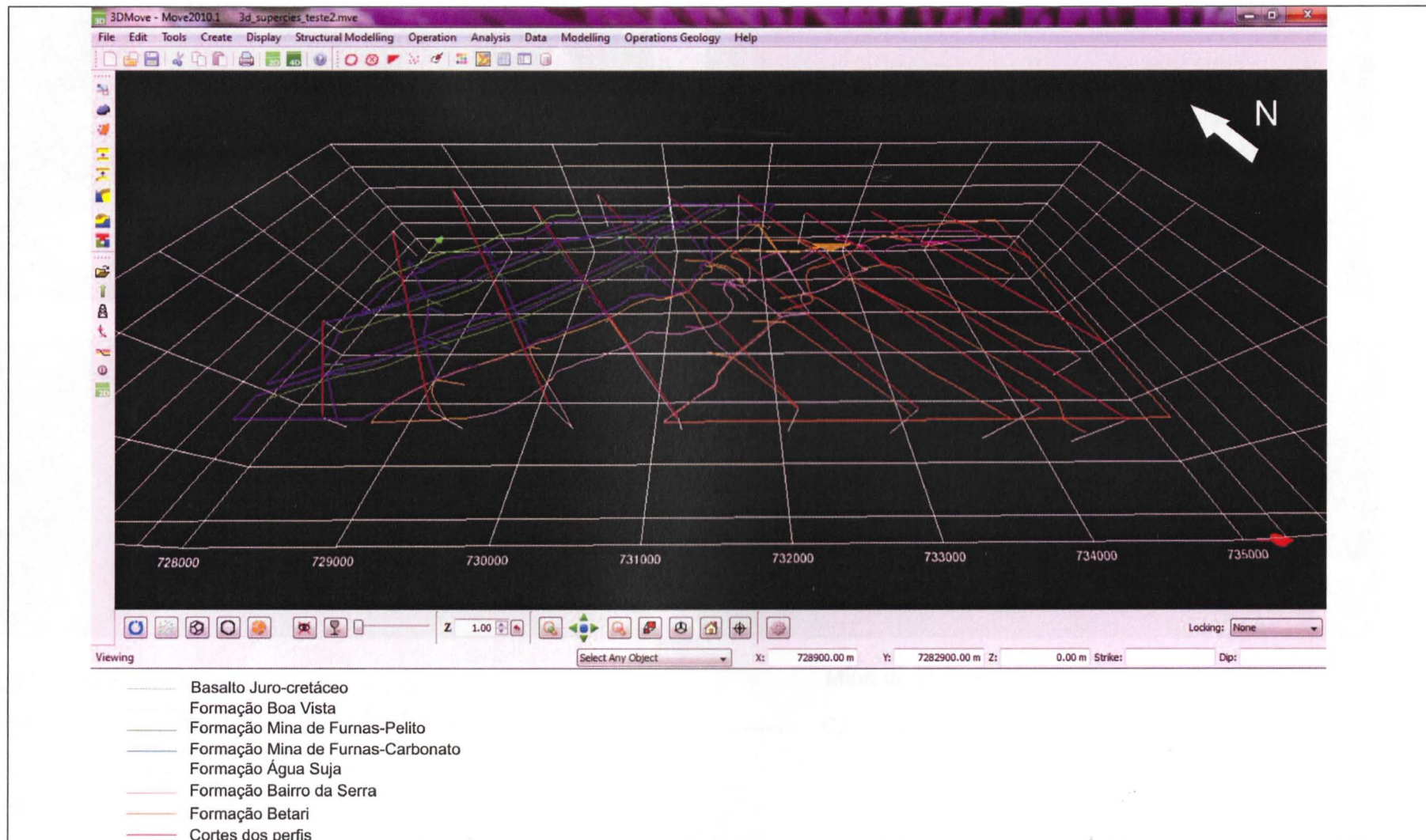
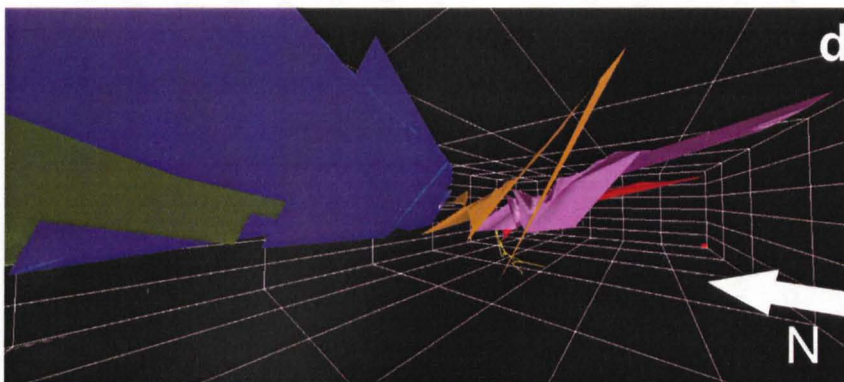
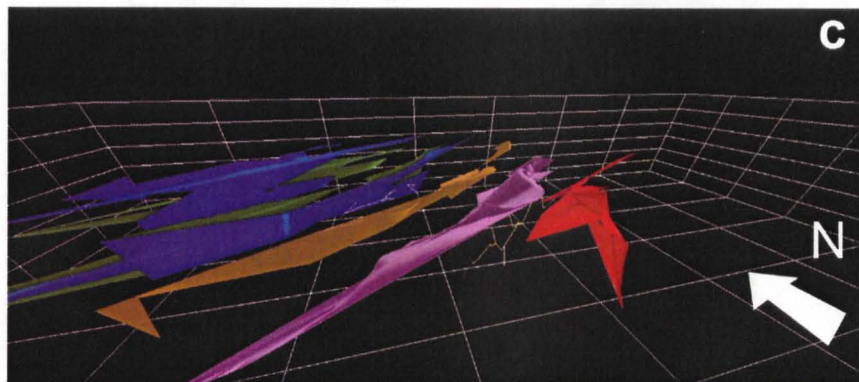
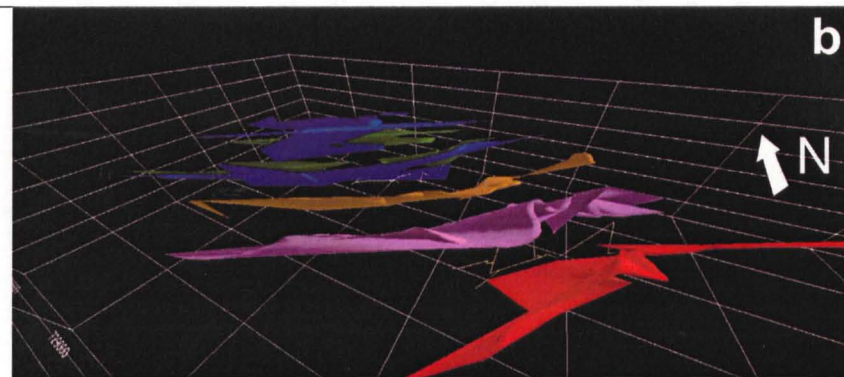
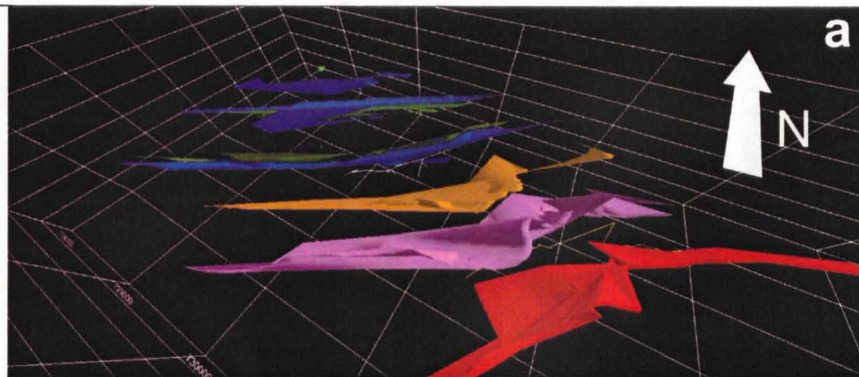


Figura 15. Visualização em perspectiva no *Move 3D* dos perfis criados no *Move 2D*, com as atitudes de acamamento representadas por símbolos rosa. Coordenadas UTM em metros.



- Formação Mina de Furnas - Pelito
- Formação Mina de Furnas - Carbonato
- Formação Água Suja
- Formação Bairro da Serra
- Formação Betari

- Mina de Furnas
- Caverna de Santana

Figura 16. a, b, c, d – Visualizações em ambiente *Move 3D*, mostrando as superfícies do modelo digital tridimensional em diferentes perspectivas.

9. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES

O *Move* oferece bom suporte para construção de modelos tridimensionais aplicados à geologia, com possibilidade de escolha de diferentes técnicas de modelagem. Para alcançar o objetivo proposto no projeto inicial utilizamos técnica de criar perfis paralelos visando interpolação de dados da subsuperfície do terreno.

O programa é uma importante ferramenta de interpretação estrutural, pois realiza projeções estereográficas com os dados inseridos, perfis topográficos e geológicos, projeção de estruturas, cálculo de mergulho aparente e até modelagem e restauração cinemáticas, as quais não foram usadas neste projeto.

Dessa forma, o programa usa os perfis criados e interpretados para construir superfícies que representam o topo ou a base de cada unidade litológica. O modelo criado no projeto optou por representar os topos das unidades.

A exigência em termos de processamento de dados foi um ponto negativo, alguns dados demoraram a serem inseridos no sistema.

A vantagem da visualização em 3D com relação às representações em mapas, perfis e contornos estruturais é a possibilidade da observação do corpo em diferentes perspectivas nos permitindo melhor avaliação e interpretação dos dados inseridos e trabalhados.

Através da avaliação do modelo tridimensional, constatou-se que a Caverna de Santana e a Mina de Furnas estão geologicamente separadas pela Formação Água Suja, pacote pelítico com comportamento impermeável.

Observou-se desnível topográfico entre a caverna e a mina, indicando carga hidráulica entre a mina e a caverna, e dessa forma o fluxo de água poderia ir da mina para a caverna. Esta informação condiz com o fato da caverna ser formada pela percolação de fluidos e controlada pelo acamamento e fraturamento das rochas.

O modelo final mostra a disposição das camadas, mergulhando para NW e o dobramento oblíquo destas, com eixo inclinado com caimento também NW cortando as estruturas anteriores. Portanto o modelo construído mostra que a forma localmente encurvada das camadas em mapa corresponde de fato a dobras tardias e não simplesmente a um efeito de intersecção das camadas com a topografia.

Com os resultados, a possível percolação de contaminantes entre as duas estruturas, questão ainda discutida entre especialistas, poderá ser melhor avaliada através de trabalhos complementares a este, adicionando-se ao modelo tridimensional dados como fraturamento, drenagens e nível d'água.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barbosa, O. 1941. Geologia e petrologia na região de Apiaí, Estado de São Paulo. Tese para concurso da cadeira de "Geologia, Petrografia e Mineralogia", Escola Politécnica Universidade de São Paulo, 76 p.
- Basei, M.A.S., Siga Júnior, O., Machiavelli, A., Mancini, F. 1992. Evolução tectônica dos terrenos entre os cinturões Ribeira e Dom Feliciano (PR-SC). *Revista Brasileira de Geociências*, 22 (2): 216-221.
- Campanha, G.A. da C. *et al.* *Geologia das folhas Iporanga (SG.22-X-B-V-2) e Gruta do Diabo (SG.22-X-B-VI-1), Estado de São Paulo*. São Paulo, Contrato IPT/Pró-Minério (IPT. Relatório, 22 352) (inédito), 1985.
- Campanha, G.A. da C., Gimenez Filho, A., Caetano, S.L.V., Pires, F.A., Dantas, A.S.L., Teixeira, A.L., Dehira, L.K. 1986. Geologia e estratigrafia da região das folhas Iporanga e Gruta do Diabo, Vale do Ribeira, São Paulo. *In: Congresso Brasileiro de Geologia*, 34, Goiânia. *Anais...* Goiânia, SBG., 1986 v. 2, p. 1058-1073.
- Campanha, G.A. da C.; Bistrichi, C.A.; Almeida, M.A. de. 1987. Considerações sobre a organização litoestratigráfica e evolução tectônica da faixa de dobramentos Apiaí. *In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO de GEOLOGIA*, 3. Curitiba, 1987. *Atas...* Curitiba, SBG. v. 2, p. 725-742.
- Campanha, G.A.C., 1991. Tectônica proterozóica no alto e médio Vale do Ribeira, estados de São Paulo e Paraná. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 296 p.
- Campanha, G.A.C. & Sadowski G.R. 1999. Tectonics of the Southern Portion of the Ribeira Belt (Apiaí Domain). *Precambrian Research*, 98 (1):31-51.
- Campanha, G.A.C., Faleiros, F.M. 2005. Neoproterozoic terrane collage in the southern and central Ribeira Belt, Brazil. *In: Gondwana 12*, 2005, Mendoza. Abstracts, 2005. p. 82-82.
- Campos Neto, M. da C. 1983. Contribuição à litoestratigrafia do Grupo Açungui no sudeste do Estado de São Paulo. *In: SIMPÓSIO REGIONAL de GEOLOGIA*, 4, São Paulo, 1983. *Atas...* São Paulo, SBG. p.103-112.
- Daitx, E.C. *et al.* 1983. *Projeto Anta Gorda, mapeamento geológico da área norte, fase III*. São Paulo, convênio DNPM/CPRM, relatório (inédito).

- Faleiros, F.M. 2000. Estratigrafia e Tectônica de parte do Subgrupo Lajeado, Iporanga, SP. Monografia de Trabalho de Formatura, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 40 p.
- Faleiros, F.M. 2008. Evolução de terrenos tectono-metamórficos da Serraria do Ribeira e Planalto Alto Turvo (SP, PR). Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 306 p.
- Hasui, Y., Cremonini, O.A., Born, H. Considerações sobre o Grupo Açungui em São Paulo e porção adjacente do Paraná. *In: CONGRESSO BRASILEIRO de GEOLOGIA*, 33, Rio de Janeiro, 1984. *Anais...* Rio de Janeiro, SBG., 1984, v. 7p. 3297-3306.
- Hasui, Y., Oliveira, M.A., Morales, N., Silva, E.R.R., Shimada, H. 1991. Geometria e Controle da Mineralização da Jazida de Pb-Ag-Zn de Furnas. SNET 91. Boletim – Resumo estendidos e roteiros das excursões. SBG-Núcleo São Paulo. Unesp-Universidade Estadual Paulista.
- Hasui, Y., Coppedê, A., Caetano, A.C., Sanches, L.H. 1992. Aspectos geológico-estruturais da área da Mina de Furnas (Município de Iporanga, SP) e o problema do fluxo de efluentes. *In: Hasui, Y., Mito, J.A (Eds.). Geologia Estrutural Aplicada*. São Paulo – ABGE; 1992, Votorantim. p.399-410.
- Heilbron, M., Pedrosa-Soares, A.C., Campos Neto, M.C., Silva, L.C., Trouw, R.A.J., Janasi, V.A. 2004. Província Matiqueira. *In: Mantesso-Neto, V., Bartorelli, A., Carneiro, C.D.R.; Brito-Neves, B.B. 2004. Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obras de Fernando Flávio Marques de Almeida*. 203-234pp.
- Leonardos, O.H. 1934. Nota sobre a geologia do distrito de Iporanga, SP. Rio de Janeiro (DNPM. *Relatório*, 564).
- Leonardos, O.H. 1941. Notas petrográficas sobre a Série Ribeira do Sul do Estado de São Paulo. São Paulo, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras - USP, p. 7-13. (Boletim, 21. Mineralogia, 4).
- Lepine, R.D., Karmann, I., Kaminsky, A.C., Viana Jr. O., Marinho, M., Ferrari, J., Gambarini, A., Philadelphi, M.A., Penteado, J.G. de O., Barbieri, A. 1992. Mapa da Caverna de Santana. Grupo da geo de espeleologia. Trabalho de Iniciação Científica. Fapesp.
- Metal Mining Agency of Japan. Japan International Cooperation Agency. 1981. Report on geological survey of Anta Gorda; phase I. Convênio DNPM/MMAJ/JICA.

- Metal Mining Agency of Japan. Japan International Cooperation Agency. 1982. Report on geological survey of Anta Gorda; phase II. Convênio DNPM/MMAJ/JICA.
- Metal Mining Agency of Japan. Japan International Cooperation Agency. 1983. Report on geological survey of Anta Gorda; phase III. Convênio DNPM/MMAJ/JICA.
- Metal Mining Agency of Japan. Japan International Cooperation Agency. 1984. Report on geological survey of Anta Gorda; phase IV. Convênio DNPM/MMAJ/JICA.
- Midland Valley* 2010. Move Tutorials 2010.1 *Midland Valley* (DVD).
- Moraes Rego, L.F. 1933. Contribuição ao estudo das formações Pré-devonianas de São Paulo. São Paulo, Instituto Astronômico e Geofísico de São Paulo.
- Moraes, R., Gerhard, P., Andersson, L., Shimada, H., Sturve, J., Rauch, S., Molander, S. 2002. *Assessing Ecological Risks of Abandoned Lead Mines to Aquatic Fauna*. Department of Environmental Systems Analysis, Chalmers University of Technology, ESA-Report 2002:3 (ISSN 1404-8167), Göteborg, Sweden, 33 p.
- Oliveira, E.P. 1916. Geologia do Estado do Paraná. *Bol.Min. Agric. Ind. Com.*, Rio de Janeiro, 5 (1): 77-143.
- Oliveira, E.P. 1925. *Mapa geológico do Estado do Paraná, escala 1:1 000 000*. Rio de Janeiro, DNPM. Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil.
- Oliveira, E.P. 1927. Geologia e recursos minerais do Estado do Paraná. Rio de Janeiro, DNPM. Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil, 172 p. (*Monografia, 6*).
- Petri, S. & Sugui, K. 1969. Sobre os metassedimentos do grupo Açungui do extremo sul do Estado de São Paulo. Secretaria de Serviços e Obras Públicas – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, USP, São Paulo, p.1-98.
- Pires, F.A. 1988. Uma nova concepção para os ambientes do Grupo Açungui, na região de Iporanga e Apiaí, sul de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO de GEOLOGIA, 35. Belém, 1988. *Anais...* Belém, SBG. v.2, p.606-616.
- Pires, F.A. 1990. Análise paleoambiental e estratigráfica de seqüências metassedimentares (Grupo Açungui), na região de Iporanga e Apiaí- SP. São Paulo. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

Siga Júnior, O., Basei, M.A.S., Reis Neto, J.M., Machiavelli, A., Harara, O.M., 1995. O Complexo Atuba: Um Cinturão Paleoproterozóico Intensamente Retrabalhado no Neoproterozóico. *Geologia USP-Série Científica*, **26**: 69-98.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Arquivos digitais, mapas de municípios. Disponível em <http://www.ibge.gov.br>. Acessado em 02 mar 2010.

