



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI-3325

LAVRA DE MINAS: MINERAÇÃO A CEU ABERTO

AULA 3 - 2023

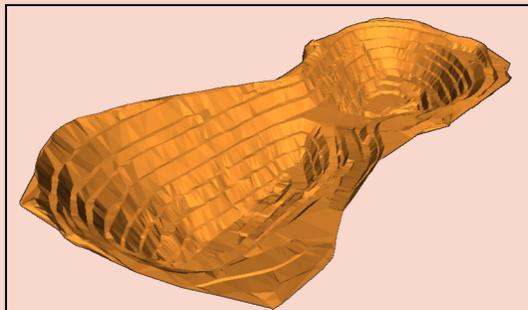
Dados para Desenho de Cava

Prof. Giorgio de Tomi

Prof. Ricardo Cabral de Azevedo

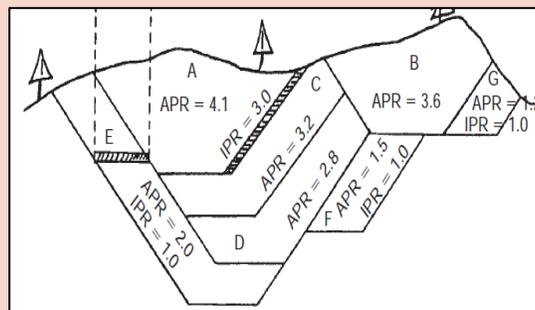
PMI-3325 LAVRA A CÉU-ABERTO

- Métodos de Lavra (Lavra em bancadas, em tiras, de rochas ornamentais, métodos hidráulicos)
- Desenho de cava (atividades [Modelo Geológico, Topográfico e Geotécnico, Termo de Referência, Mecanismos, Produtos], geometrias básicas)
- IPCC
- Micromine (projeto prático de desenho de cava)



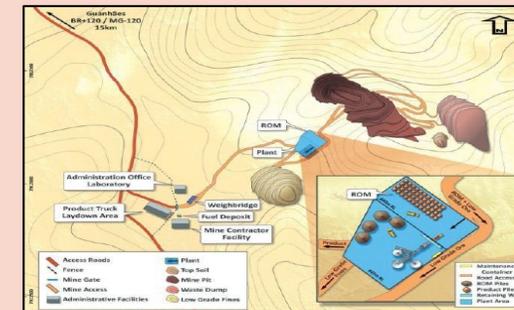
PMI-3220 PLANEJAMENTO DE LAVRA DE MINAS

- Cadeia de Produção Mineral (Conceito, Gestão e Governança)
- Códigos internacionais de Recursos e Reservas Mineiras
- Fatores Modificadores de conversão de recursos para reservas
- Planejamento de Lavra (Ciclo, Horizonte [Longo, médio e curto])
- Micromine (Projeto prático de planejamento de lavra)



PMI-3236 PROJETO DE LAVRA DE MINA

- Revisão (desenho de cava, ciclo de planejamento de lavra)
- Fases do Projeto (FEL1, FEL2, FEL3, Detalhamento, Construção, outros)
- Planejamento (PMBok, Project charter, EAP...)
- Aspectos socioambientais
- Gerenciamento de Risco
- Documentação
- Trade-offs
- Plano Diretor de Mineração

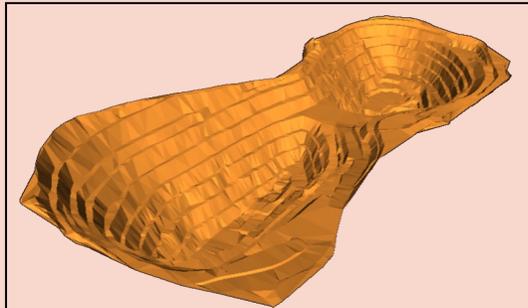


**PMI-3325
LAVRA A CÉU-ABERTO**

- Métodos de Lavra (Lavra em bancadas, em tiras, de rochas



- Micromine (projeto pratico de desenho de cava)

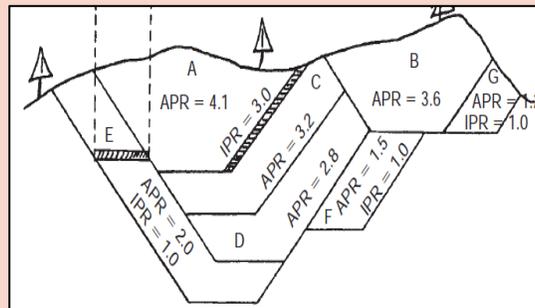


**PMI-3220
PLANEJAMENTO DE LAVRA
DE MINAS**

- Cadeia de Produção Mineral (Conceito, Gestão e



- Micromine (Projeto pratico de planejamento de lavra)

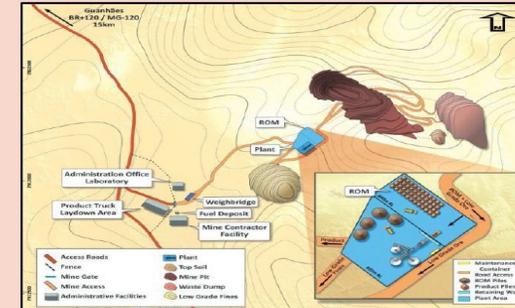


**PMI-3236
PROJETO DE LAVRA DE MINA**

- Revisão (desenho de cava, ciclo de planejamento de lavra)



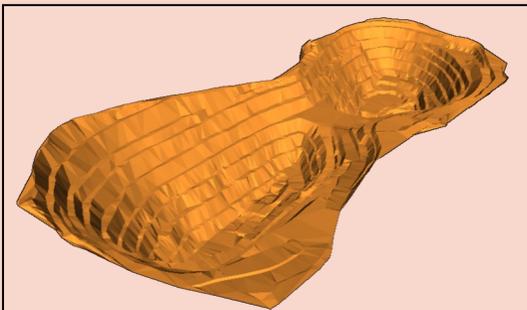
- Plano Diretor de Mineração



**PMI-3325
LAVRA A CÉU-ABERTO**

- Métodos de Lavra (Lavra em bancadas, em tiras, de rochas

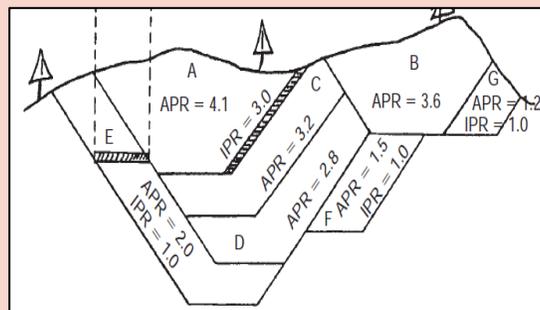
• Micromine (projeto pratico de desenho de cava)



**PMI-3220
PLANEJAMENTO DE LAVRA DE MINAS**

- Cadeia de Produção Mineral (Conceito, Gestão e

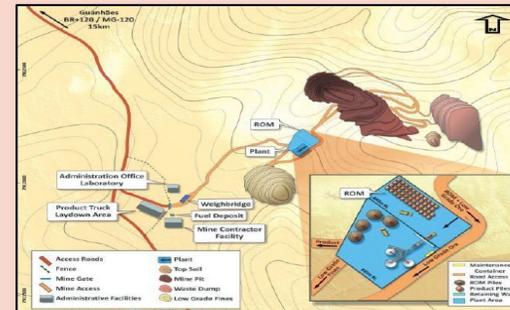
• Micromine (Projeto pratico de planejamento de lavra)



**PMI-3236
PROJETO DE LAVRA DE MINA**

- Revisão (desenho de cava, ciclo de planejamento de lavra)

• Plano Diretor de Mineração



META: Proporcionar produtos efetivos para a empresa colaboradora



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI3325: Lavra a Céu Aberto

CONTEÚDO 2023

Introdução da disciplina e método de aprendizado
Introdução - visão geral de lavra a céu-aberto
Fluxo de informações de desenho de cava
Lavra por métodos hidráulicos
Lavra em tiras
Oficinas (bloco de aulas práticas)
Entrega dos trabalhos e apresentação dos grupos



Rules of Engagement

- **Trabalhos em grupo: mínimo** de um computador/notebook por grupo. O acesso será via rede WIFI do laboratório (orientado pelos monitores)
- **Responsável:** Professores G. de Tomi e Ricardo C. de Azevedo, com apoio dos monitores Alunos de Pós-Graduação (Rafael, Irfan e Gaby) e monitores Alunos de Graduação (Eduardo e Joao Vittor)
- **Empresa colaboradora:** a ser definida junto aos monitores
- **Gravações:** Os docentes não permitem gravação de vídeo e áudio.
- **Atenção:** Respeitar os horários de início das aulas



SUMARIO

- Fluxo de Informações para Desenho de Cava
- Fontes de dados
 - Topográficos
 - Geológicos
 - Geotécnicos
- Pós-aula:
 - Prática com Micromine, MinePlan e/ou Deswik
 - Importação de dados e avanço nos trabalhos do grupos



Quiz

Atividade (em grupo):

Elabore um **croqui** com a representação dos componentes principais de um desenho de cava e indique onde se aplicam os modelos de entrada no desenho da cava:

- modelo geológico;
- modelo geotécnico;
- modelo topográfico.

Salvar o croqui em PDF e fazer o upload individual no fórum do QUIZ da Aula 03 de PMI3325 no e-disciplinas.
Trabalho em grupo.

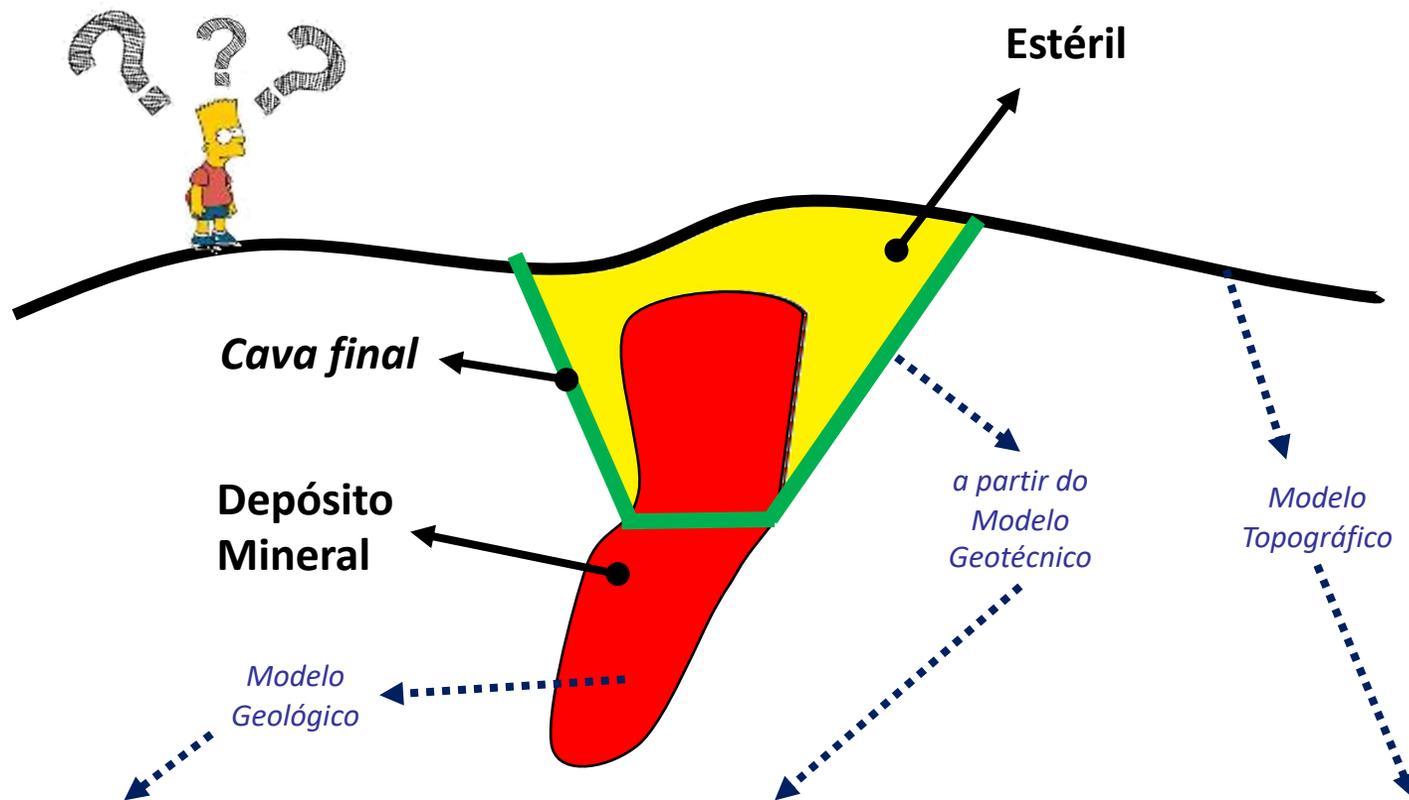
No próprio croqui, **inclua três caixas de texto** com a explicação do formato em que são normalmente fornecidos os modelos: Modelo Geológico (ou de blocos), Modelo Geotécnico e Modelo Topográfico

Tempo: 30 minutos

Resultado: ao terminar, envie individualmente o croqui em formato PDF na seção de QUIZ no e-disciplinas de PMI3325. e *fazer o upload de seu croqui no fórum do Quiz da Aula 03 até o final do horário da aula*



QUIZ - Resposta



Modelo Geológico:

Arquivo digital com a listagem dos blocos, coordenadas X, Y, Z do centro do bloco, suas dimensões e seus parâmetros (teores, tipos de rocha, entre outros)

Modelo Geotécnico:

Arquivo digital com a setorização (2D ou 3D) da área e os parâmetros geotécnicos dos setores: ângulo de talude geral, ângulo de face e largura de berma

Modelo Topográfico:

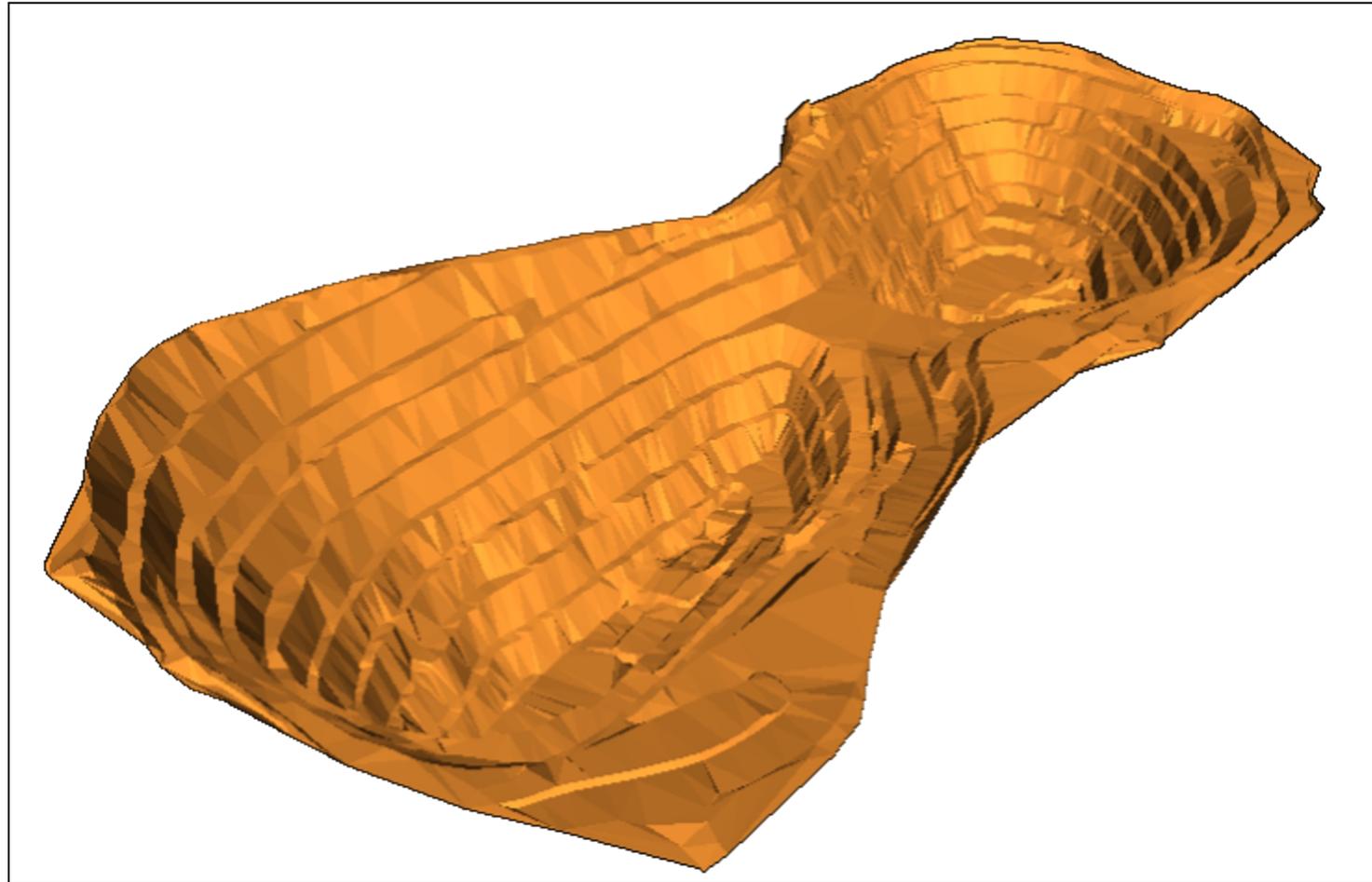
Arquivo digital georreferenciado com as curvas de nível da superfície (em 3D) e demais componentes de interesse (acessos, drenagens, estruturas)



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI3325: Lavra a Céu Aberto

DESENHO DE CAVA

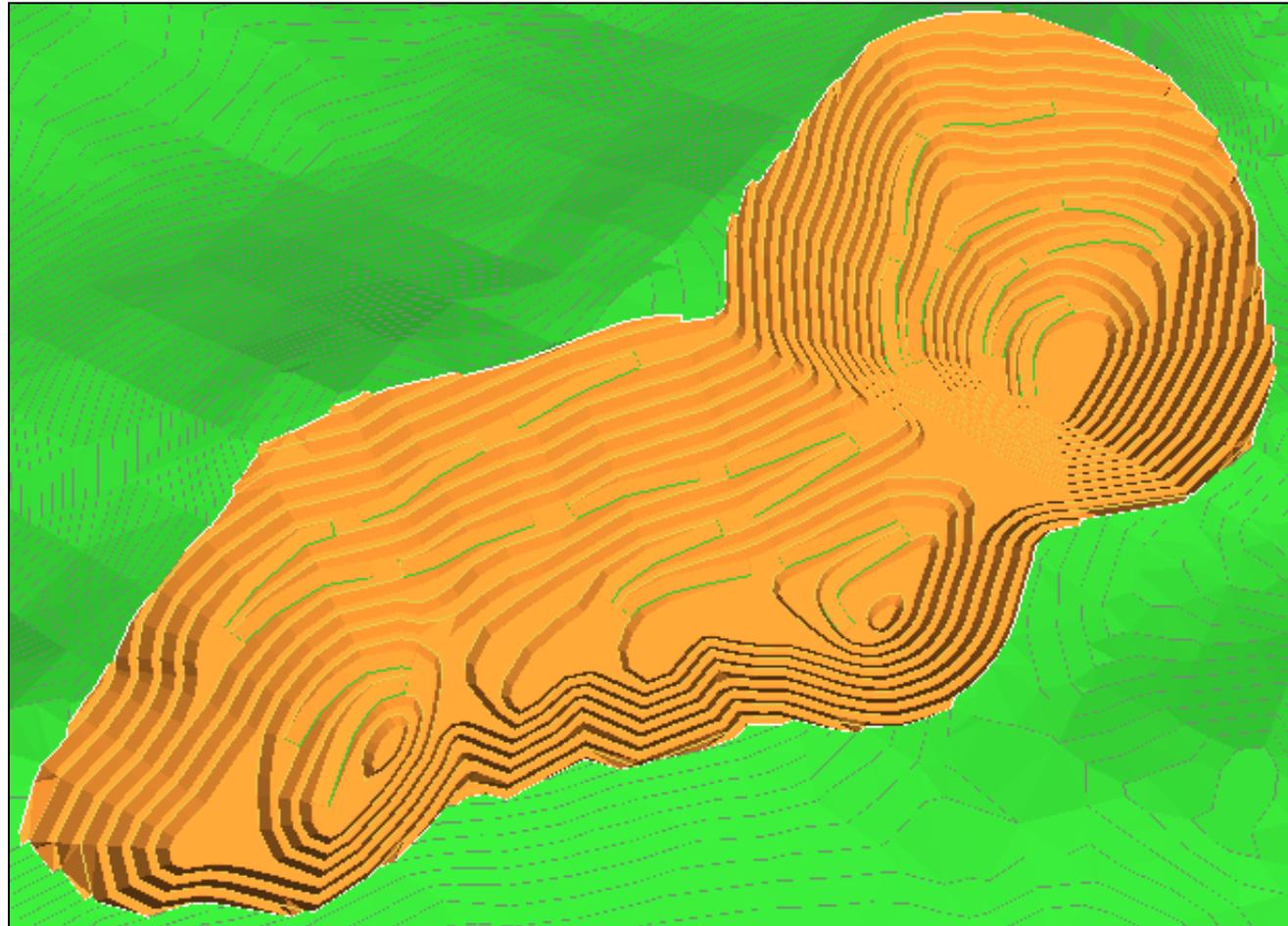




ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

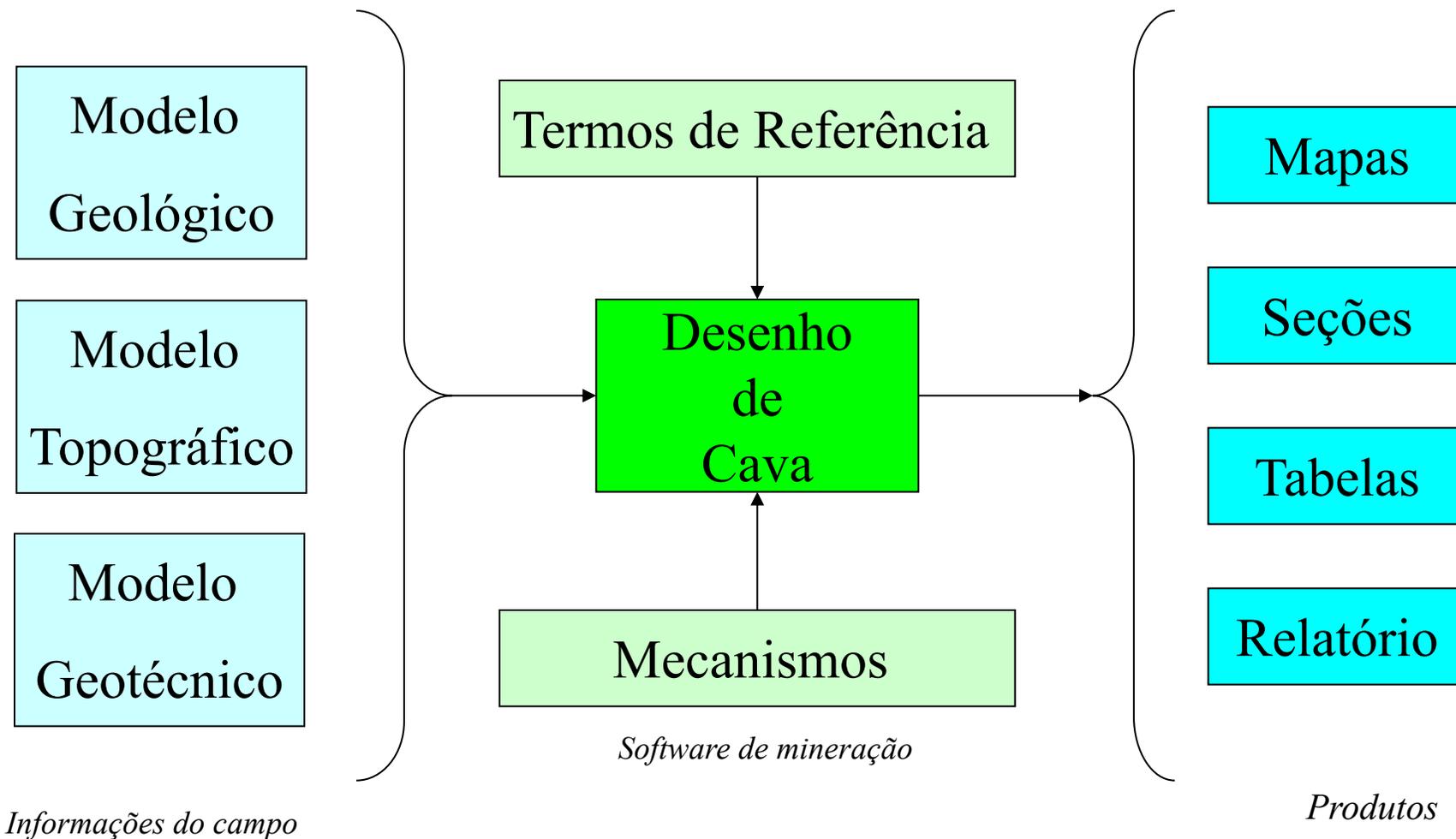
PMI3325: Lavra a Céu Aberto

DESENHO DE CAVA



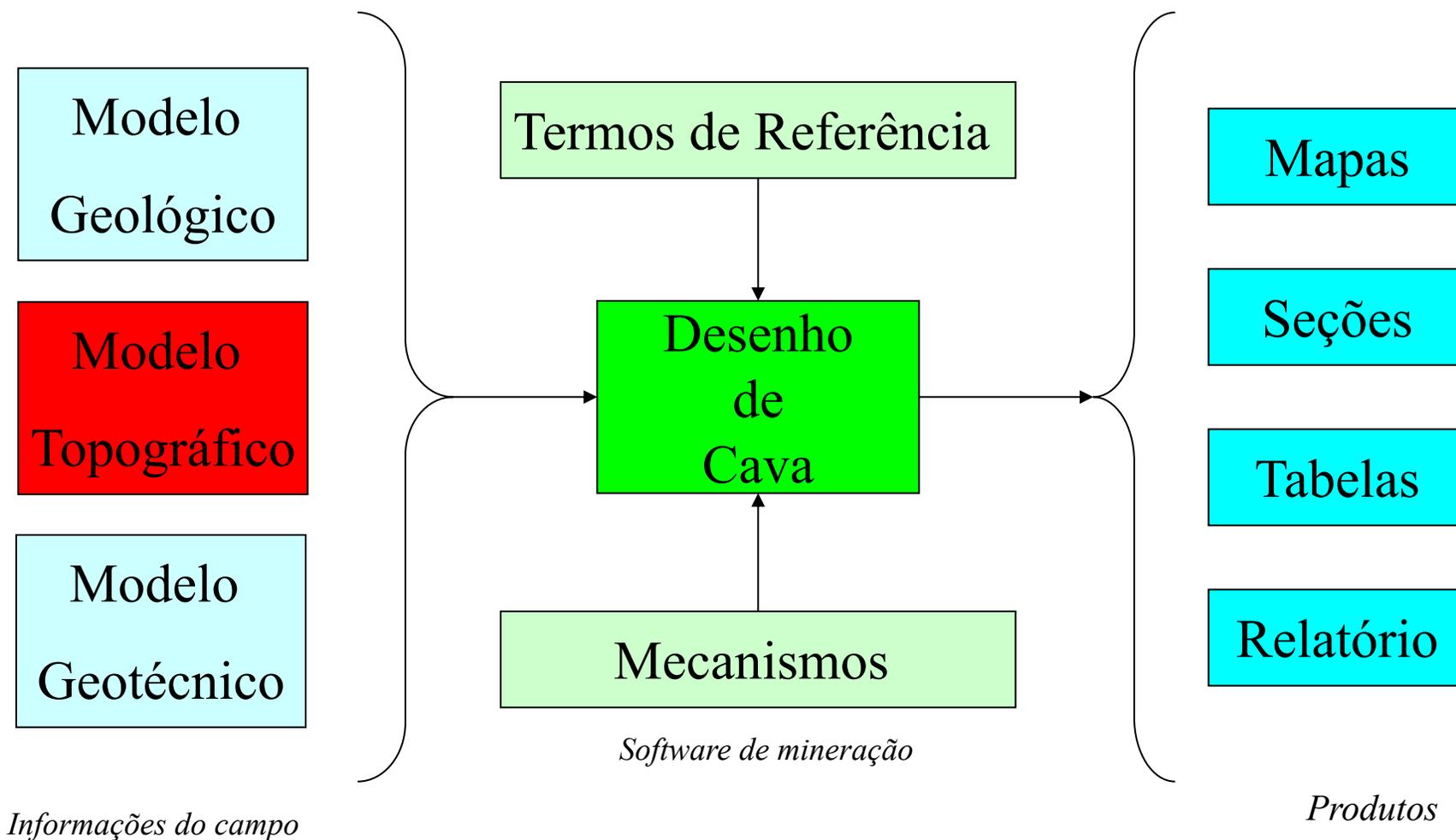


ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA





ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA



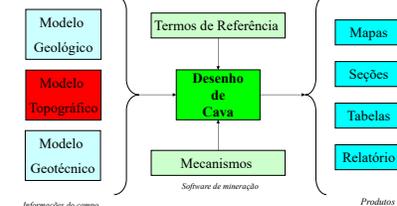


ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

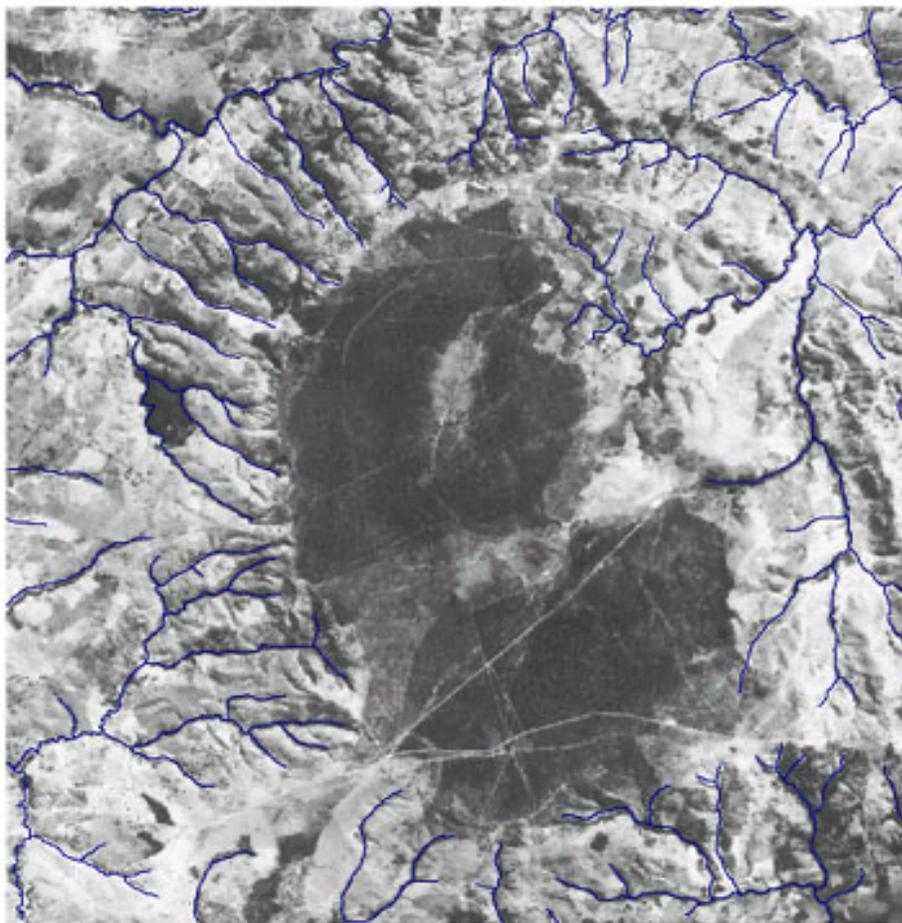
PMI3325: Lavra a Céu Aberto

LEVANTAMENTO POR IMAGENS AÉREAS (SATELITE E/OU DRONE)

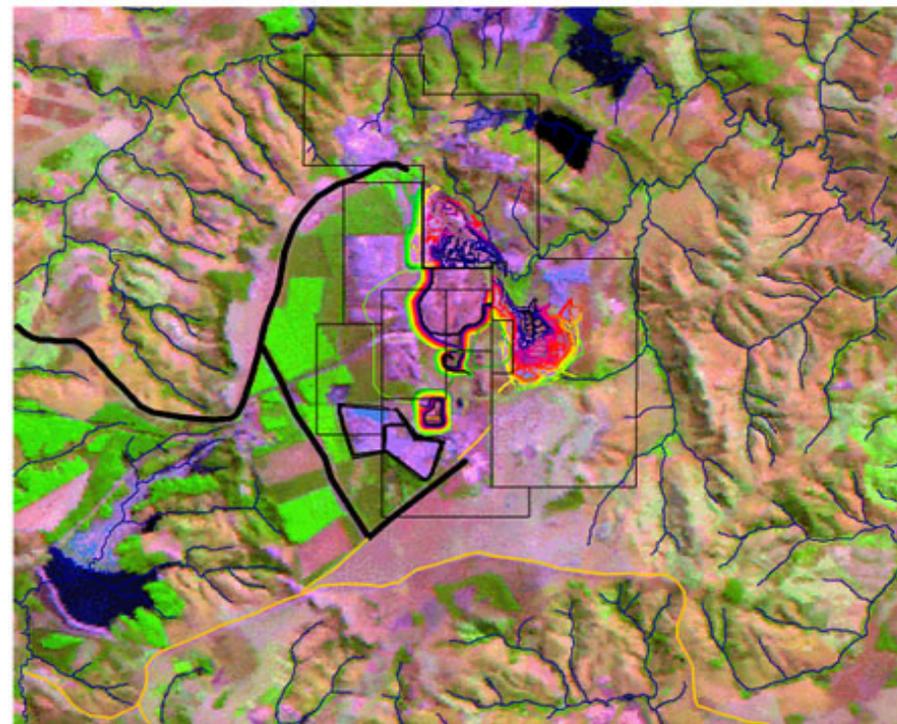
ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA



ft_domo resampled



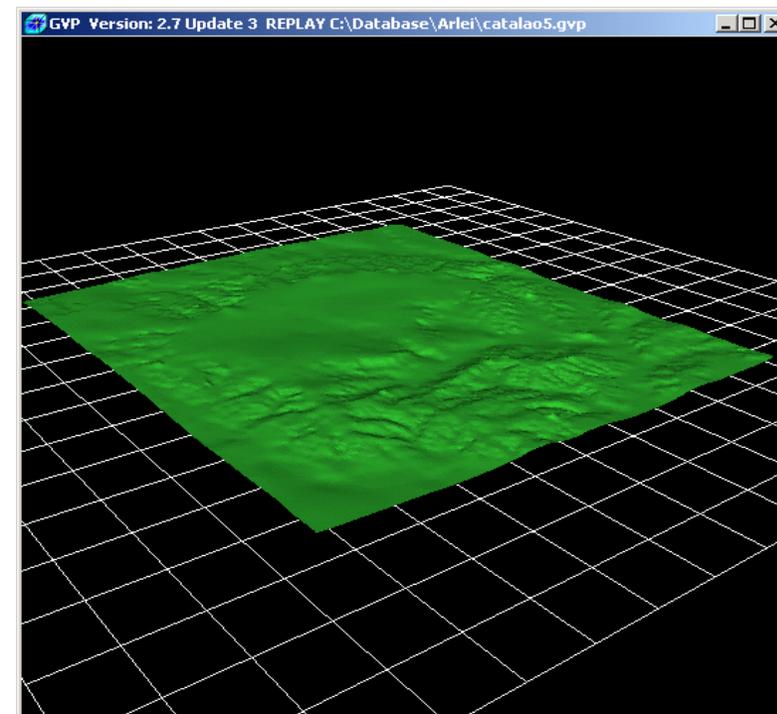
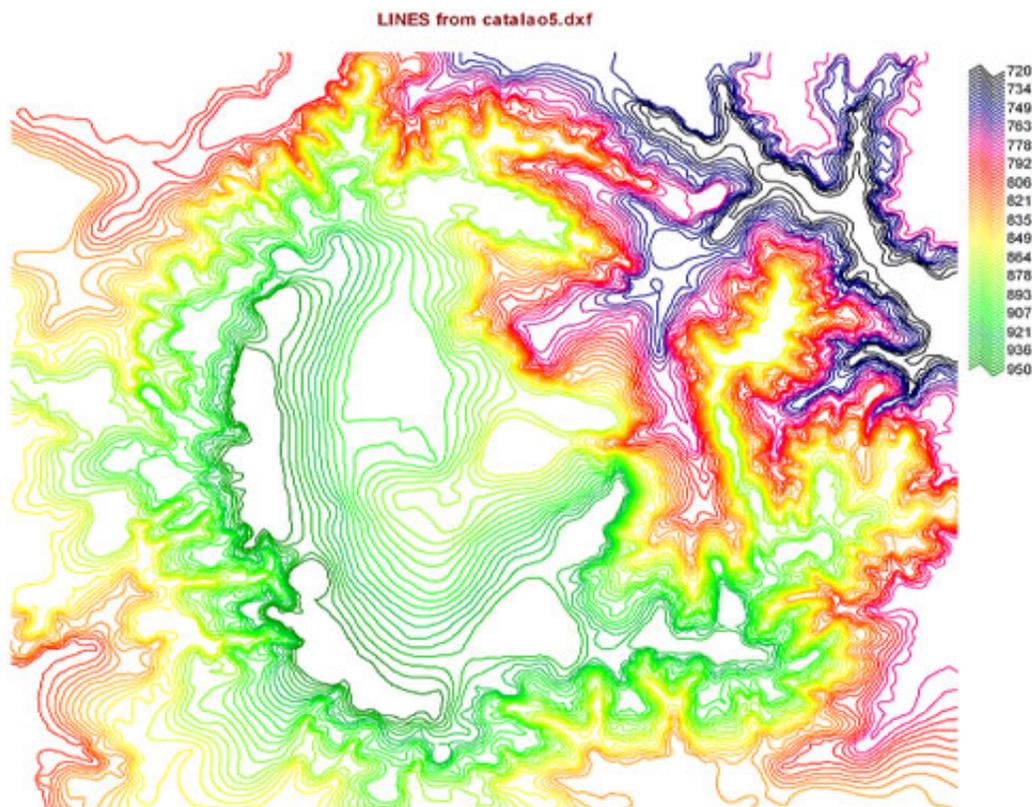
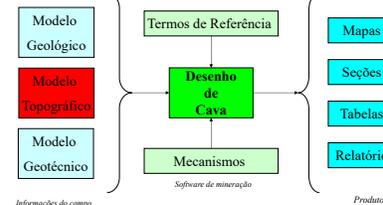
domo_cl_sat resampled





INTERPRETAÇÕES A PARTIR DE FOTOS AÉREAS

ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA



- Curvas de nível
- Modelo sólido 3D (Modelo Digital de Terreno ou MDT)

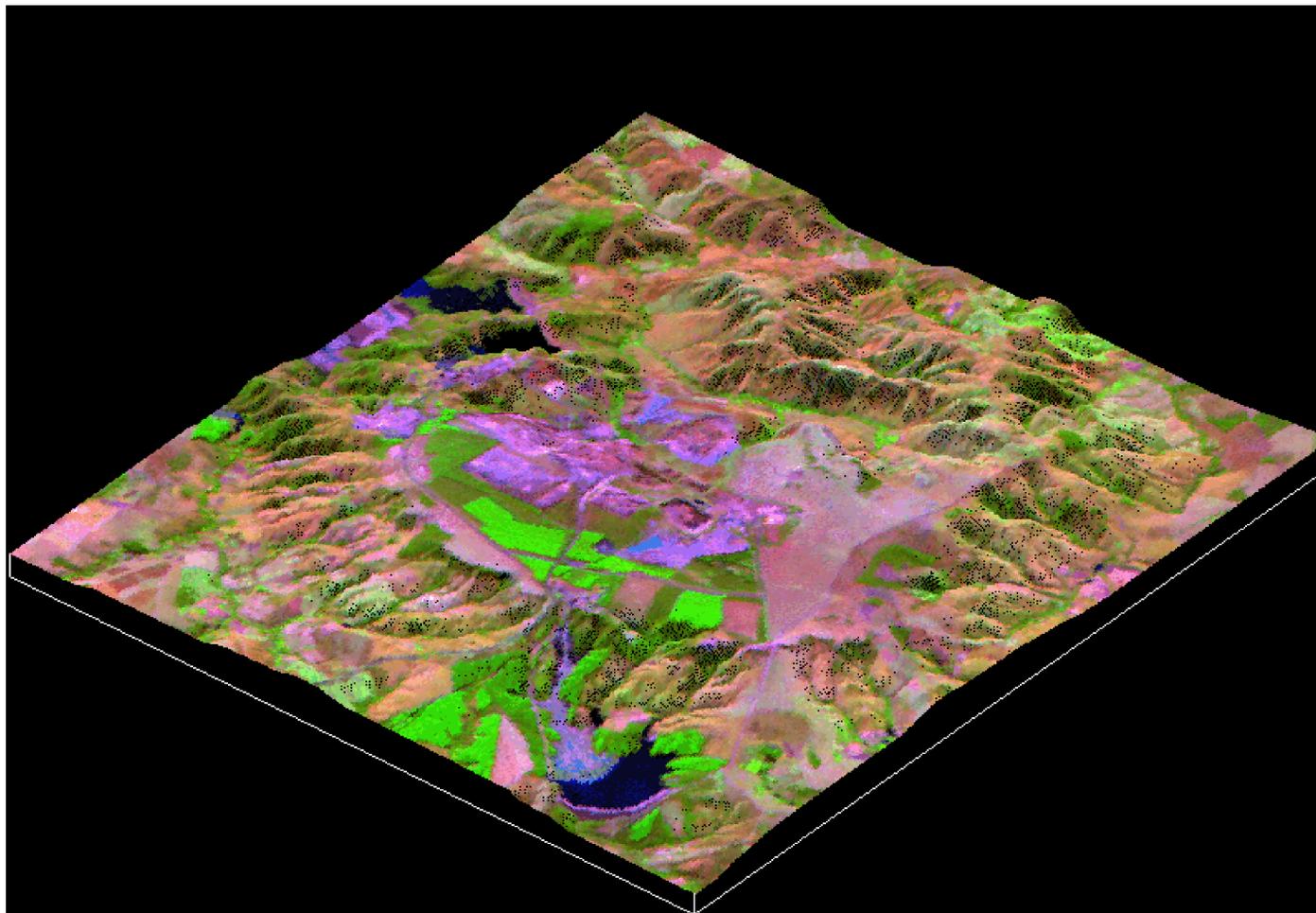


ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI3325: Lavra a Céu Aberto

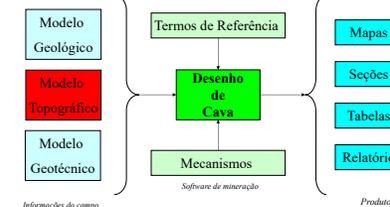
MODELAGEM TOPOGRÁFICA POR IMAGEM AÉREA

domo_cl_sat resampled



- Modelo Digital de Terreno (MDT) com informações do mapeamento geológico

ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA



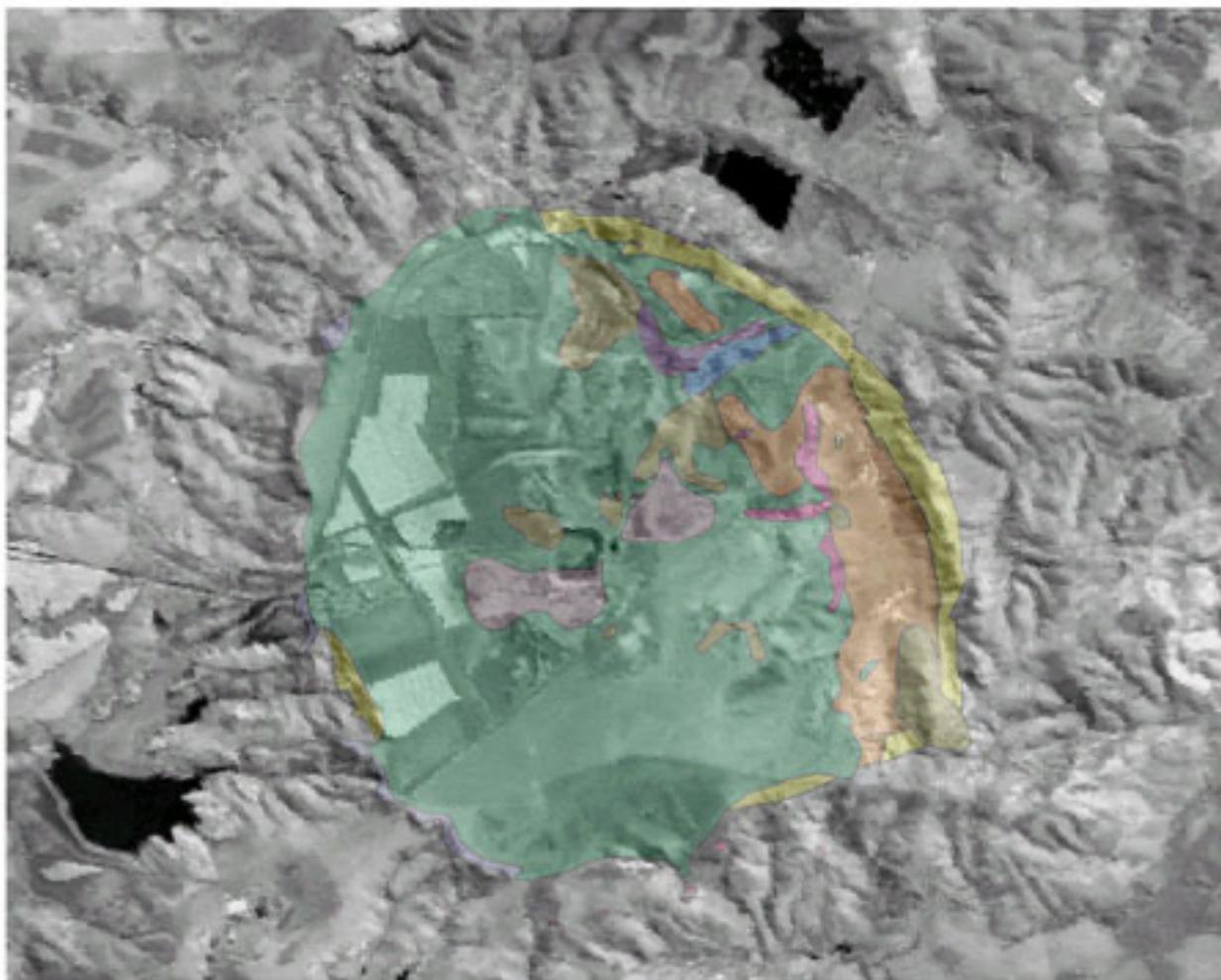


ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI3325: Lavra a Céu Aberto

MODELAGEM TOPOGRÁFICA POR IMAGEM AÉREA

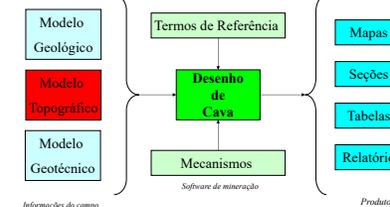
domo_bp_sat resampled



- Modelo Digital de Terreno (MDT) com informações do mapeamento geológico

-  Sedimentos Recentes
-  Solo Laterítico Rico em Magnetita
-  Solo Laterítico Rico em Vermiculita
-  Laterito Nodular
-  Canga Laterítica Rica em Magnetita
-  Conglomerado Limonítico
-  Sedimentos Argilosos
-  Silexito
-  Quartzito Fenitizado

ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA



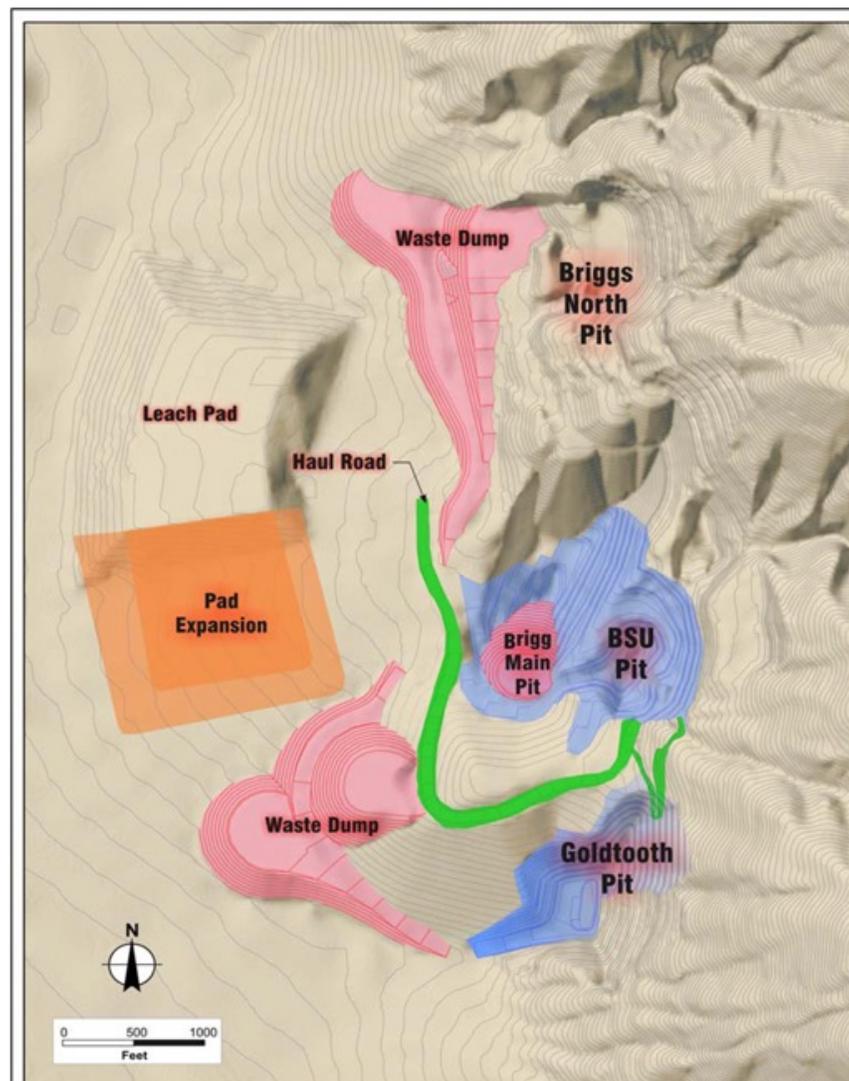


ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI3325: Lavra a Céu Aberto

MODELO TOPOGRÁFICO

- Modelo Digital de Terreno (MDT) com informações do PLANO DIRETOR DE MINERAÇÃO



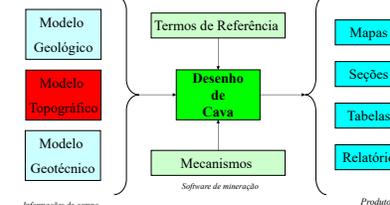
Canyon Resources Corporation

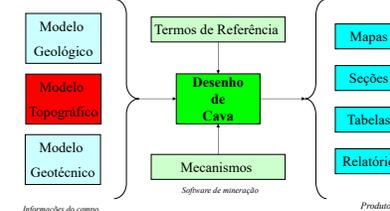
Briggs Mine Layout

Final Open Pit Mine Design

Inyo County, California

ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA





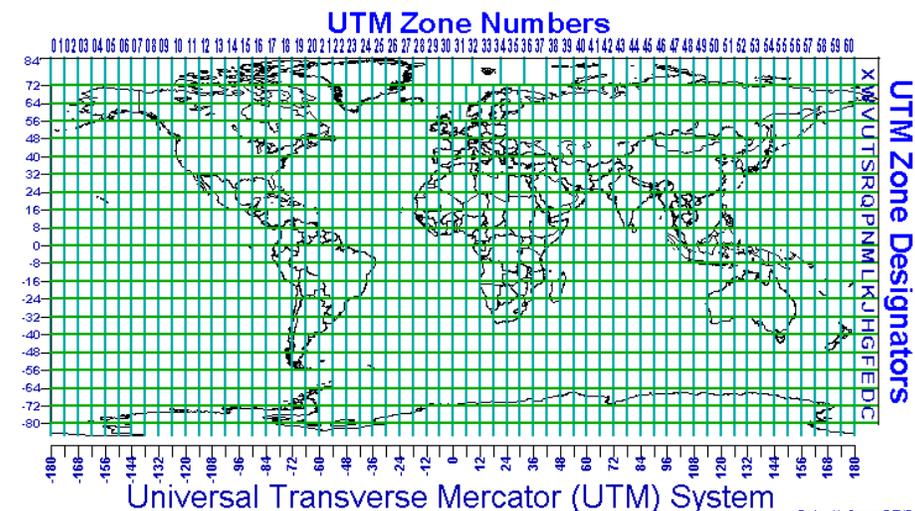
MAPAS TOPOGRÁFICOS

- Segundo o IBGE,

“Mapa é a representação no plano, em escala adequada, dos aspectos geográficos, naturais, culturais e artificiais de uma área tomada na superfície terrestre, e delimitada por elementos físicos, político-administrativos.

- Sistema de coordenadas:
Coordenadas UTM (“Universal Transverse Mercator system”), que é o sistema de coordenadas mais utilizado na mineração.

IMPORTANTE: Informar sempre o DATUM referente ao levantamento topográfico



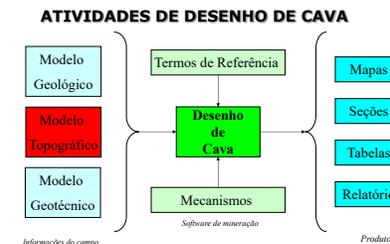


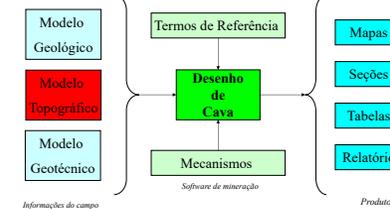
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI3325: Lavra a Céu Aberto

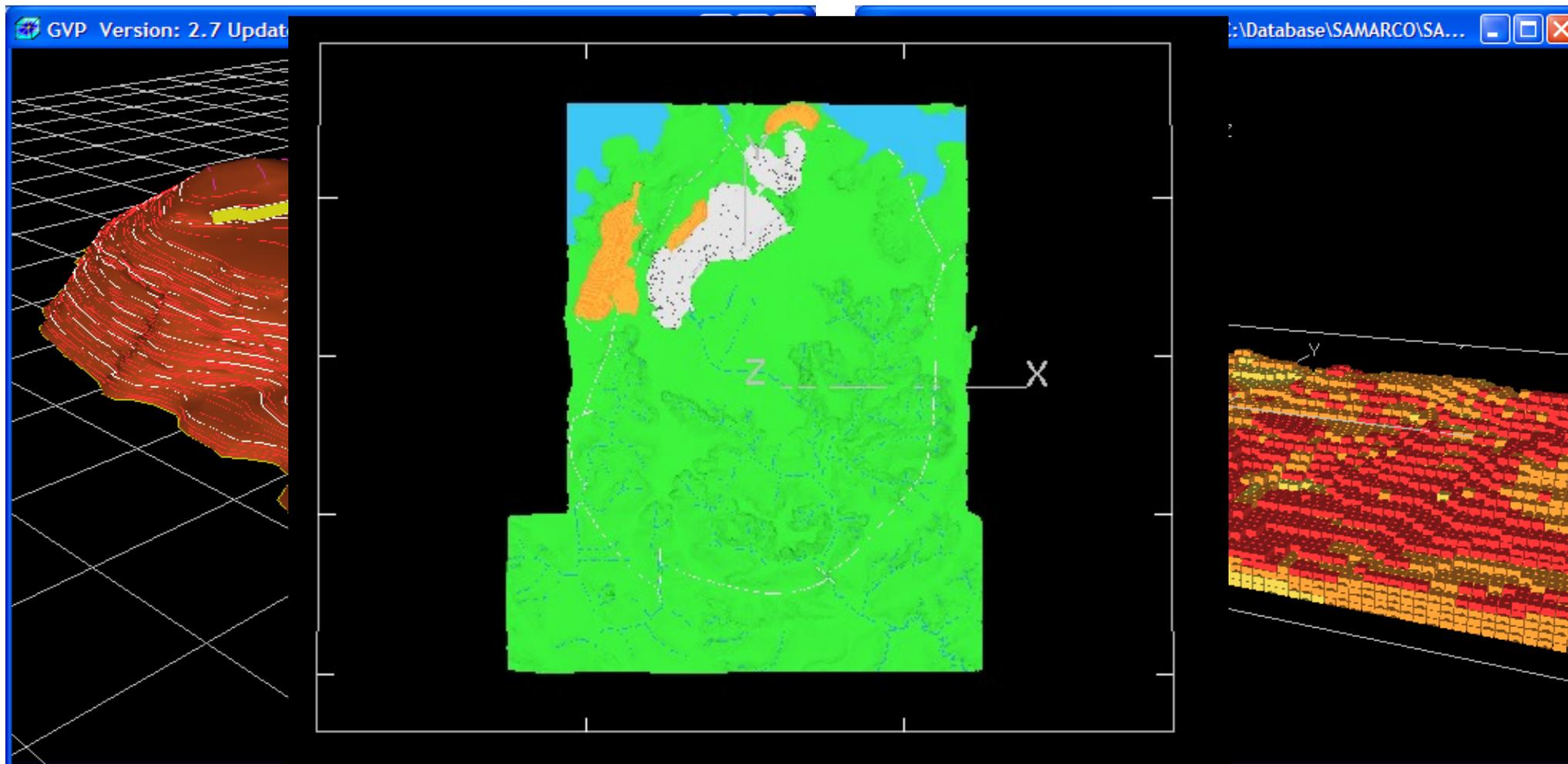
INFORMAÇÕES TOPOGRÁFICAS RELEVANTES PARA A MINERAÇÃO

- Curvas-de-nível da superfície
- Pontos e marcos topográficos presentes na área
- Poligonais de limites
- Título Minerário ANM;
- Limites dos superficiários;
- Limite do licenciamento ambiental
- Zonas de proteção;
- Zonas urbanas
- Outras feições locais (estradas, acessos, drenagens, obras civis).



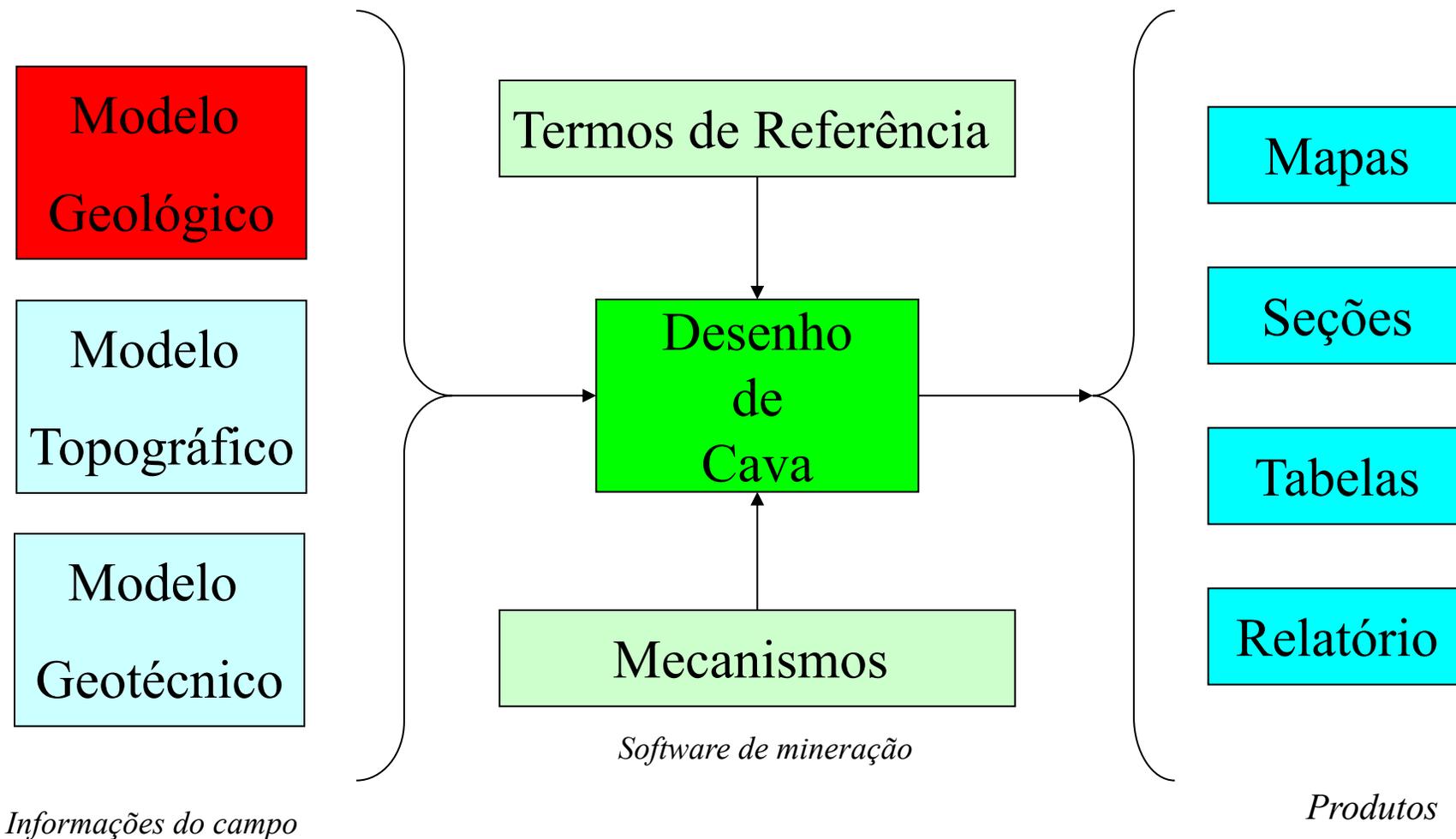


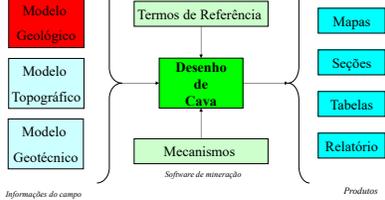
MODELAGEM TOPOGRÁFICA



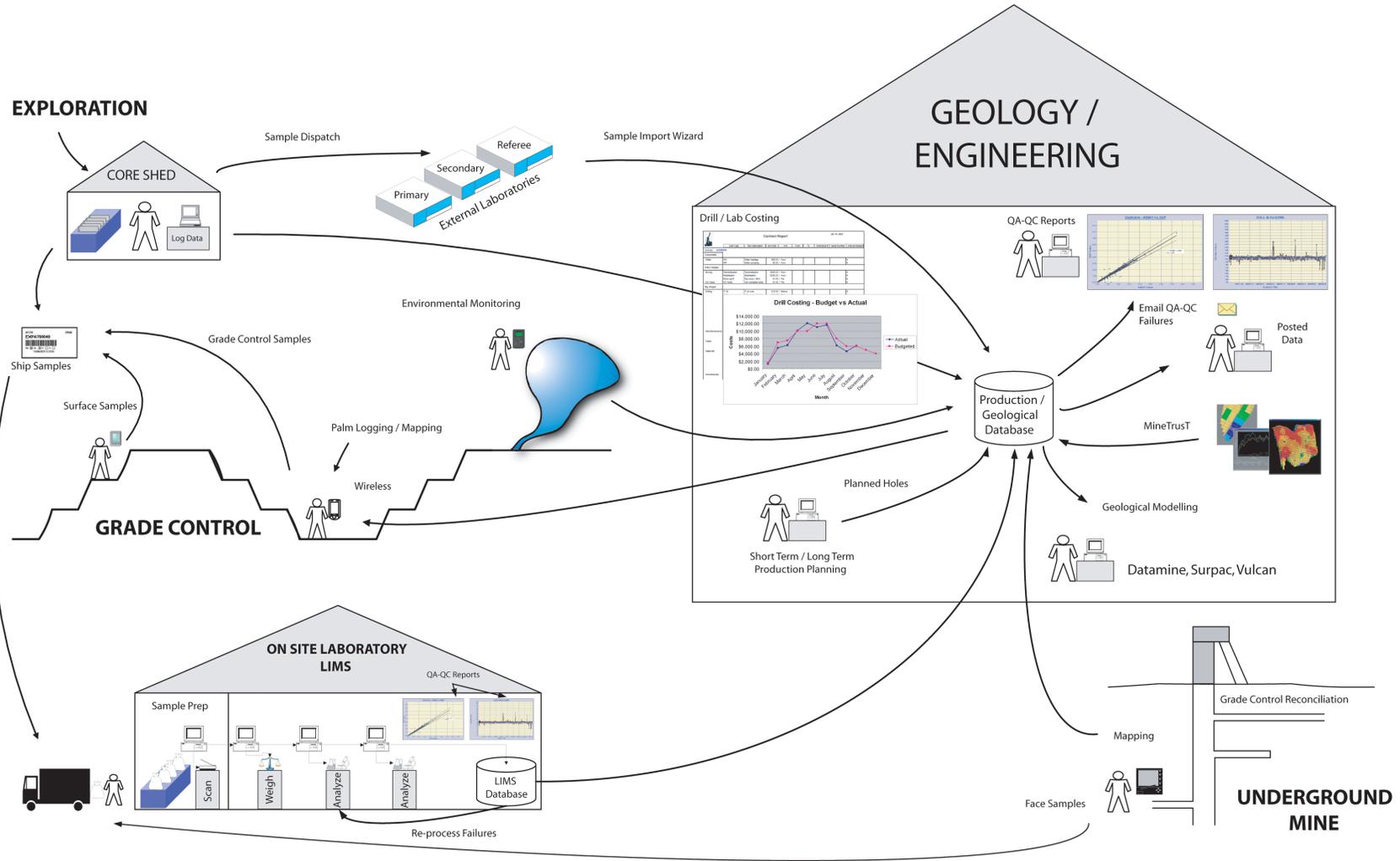


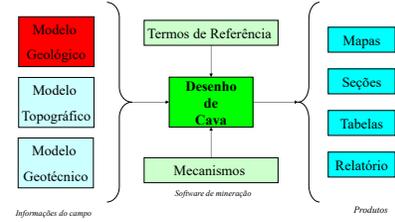
ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA



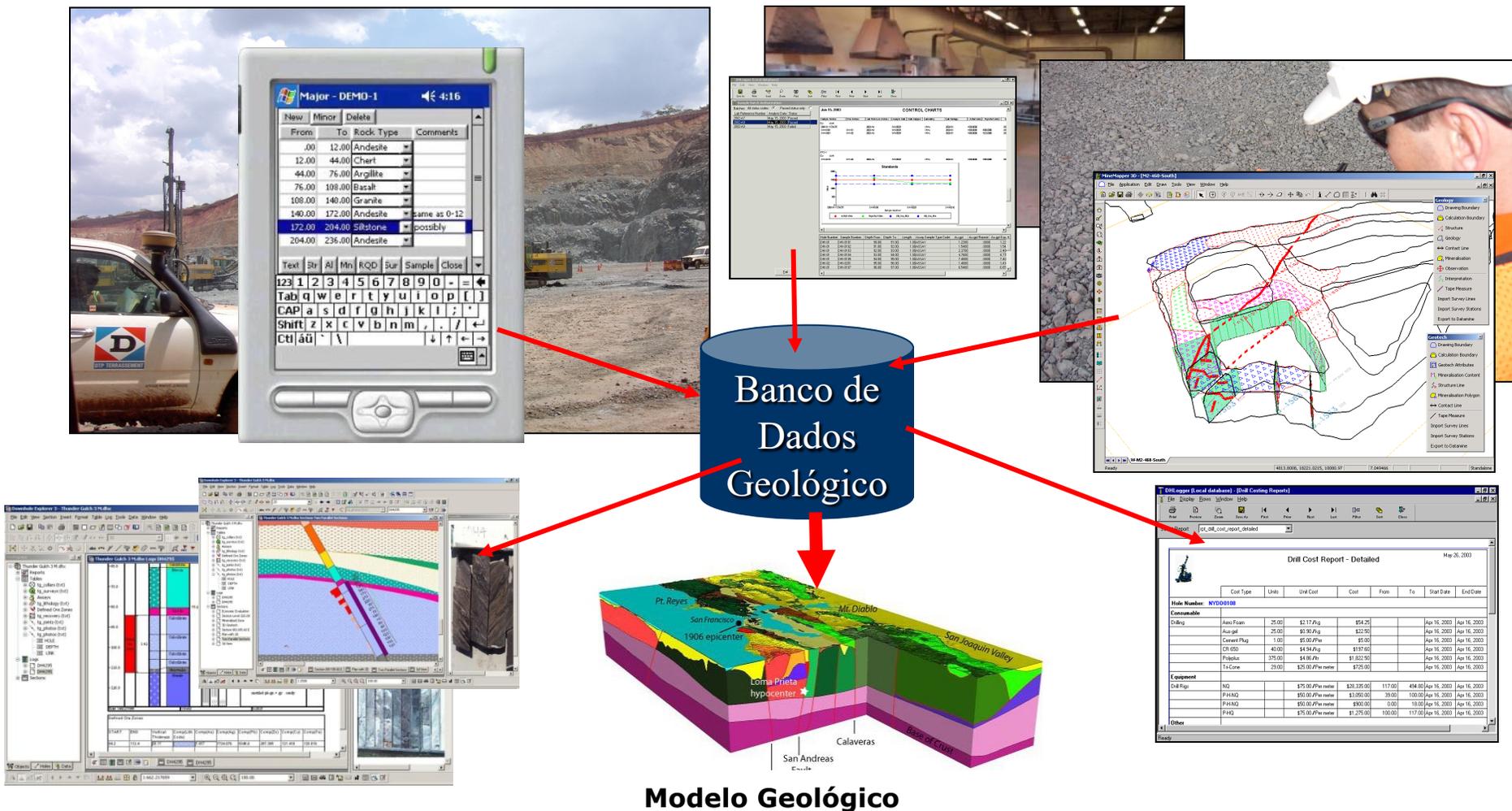


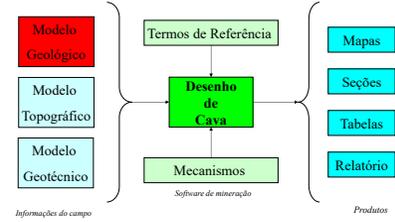
FLUXO DE DADOS GEOLÓGICOS



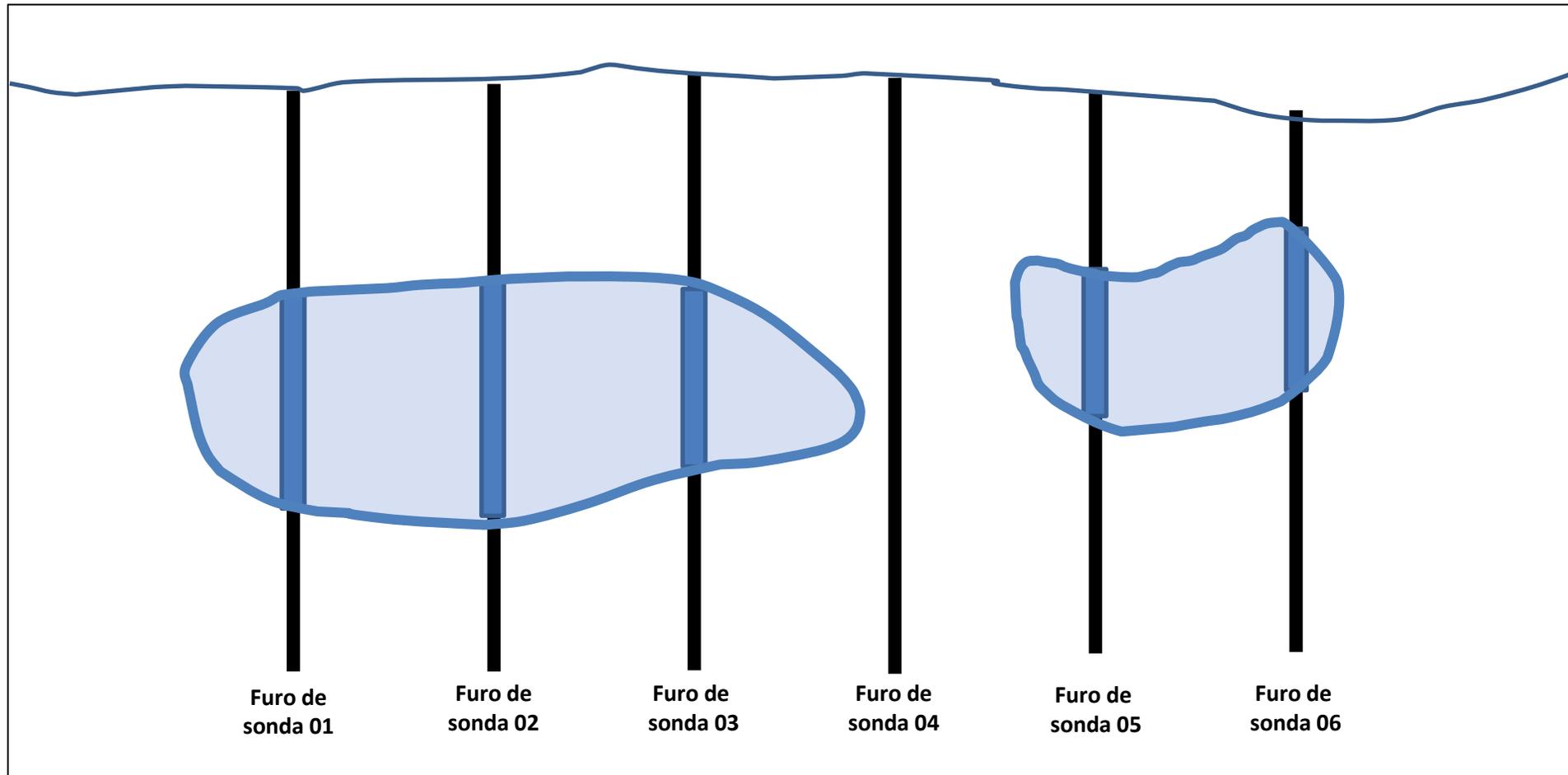


FLUXO DE DADOS GEOLÓGICOS





SEÇÕES GEOLÓGICAS





SEÇÕES GEOLÓGICAS

ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA

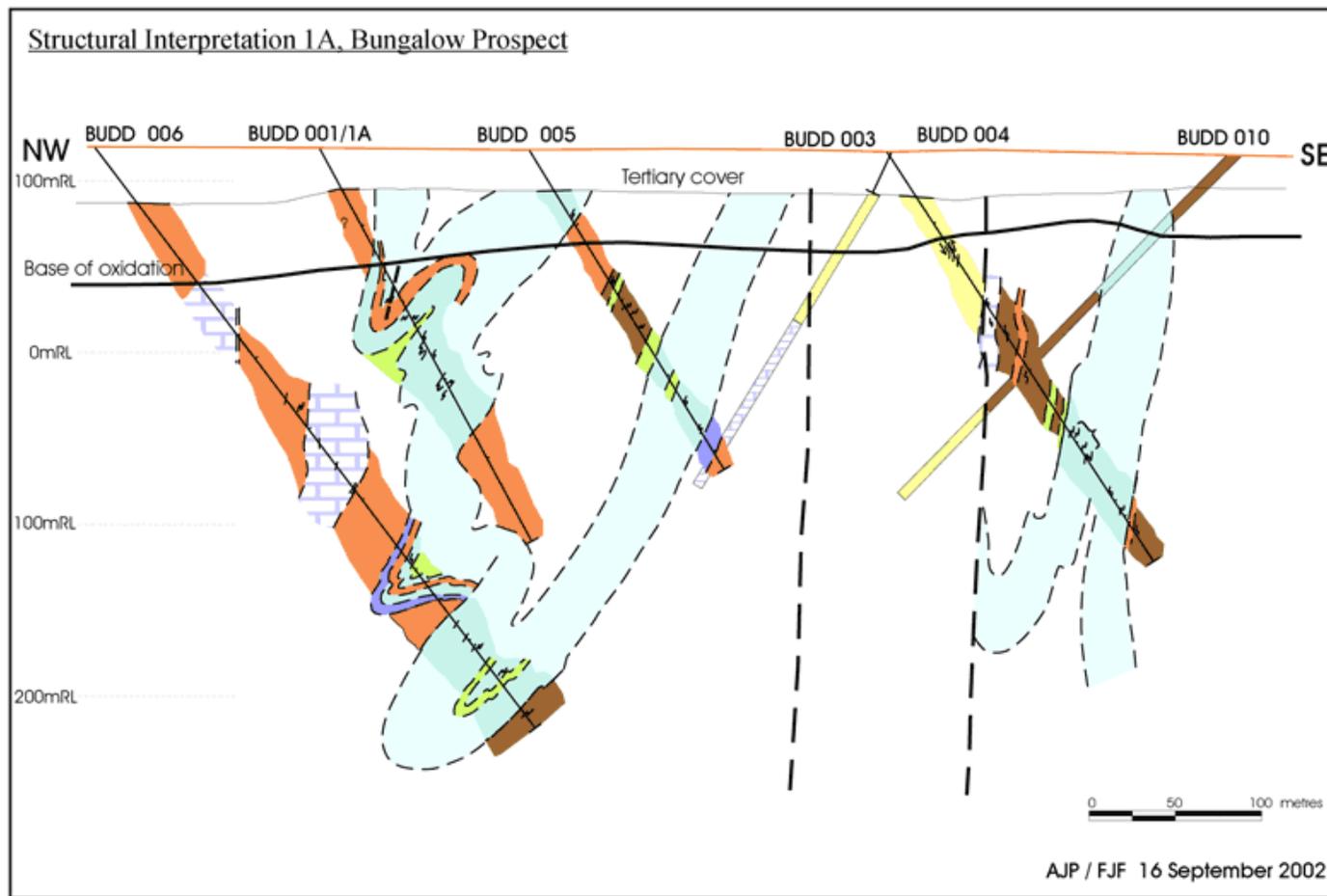
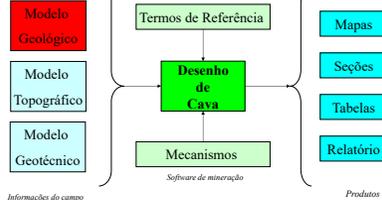
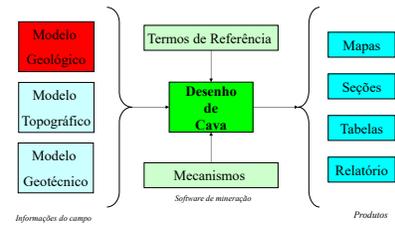
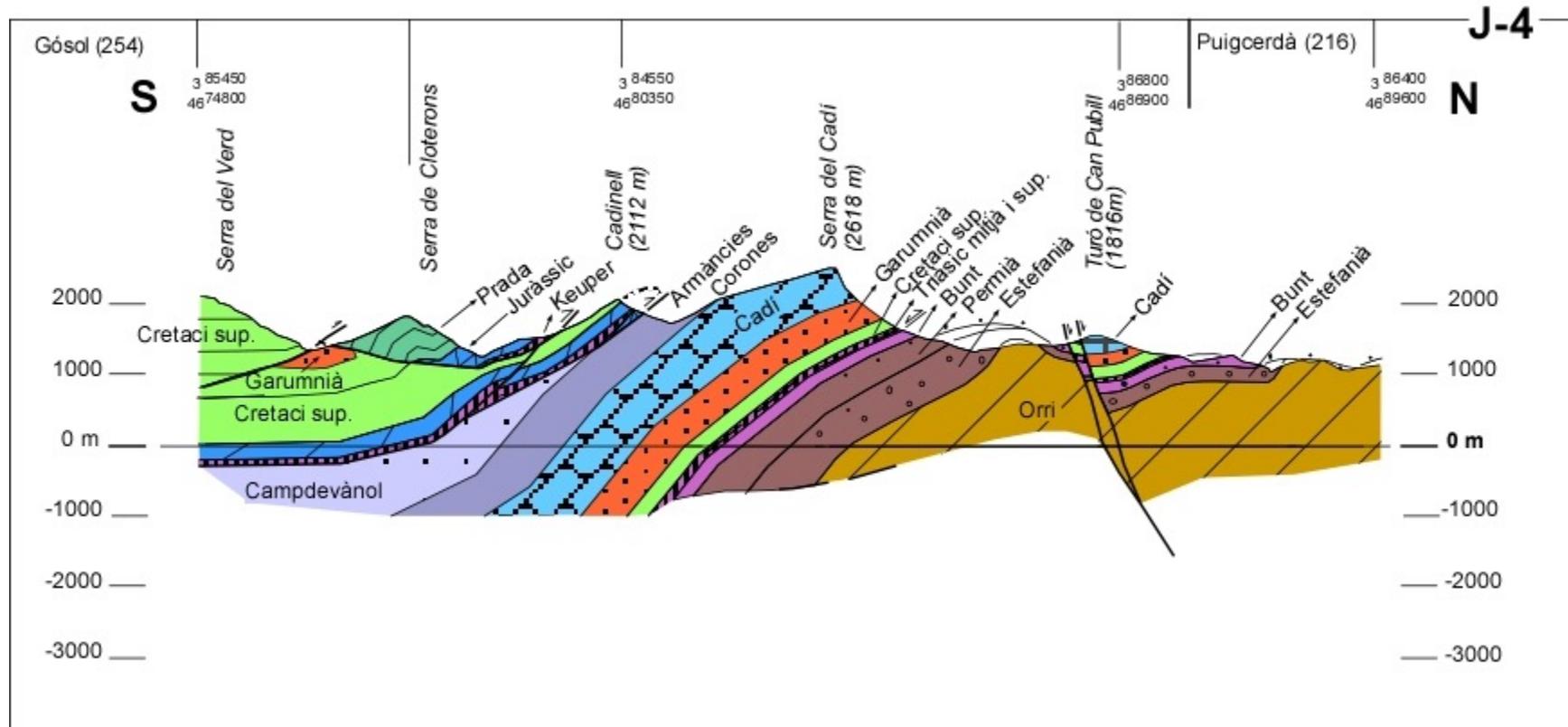
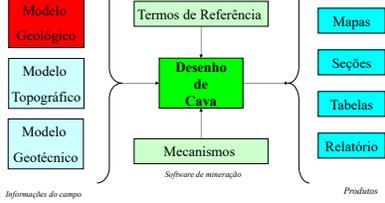


Fig. 13 Bungalow: geological section across the northern deposit, section 2000N

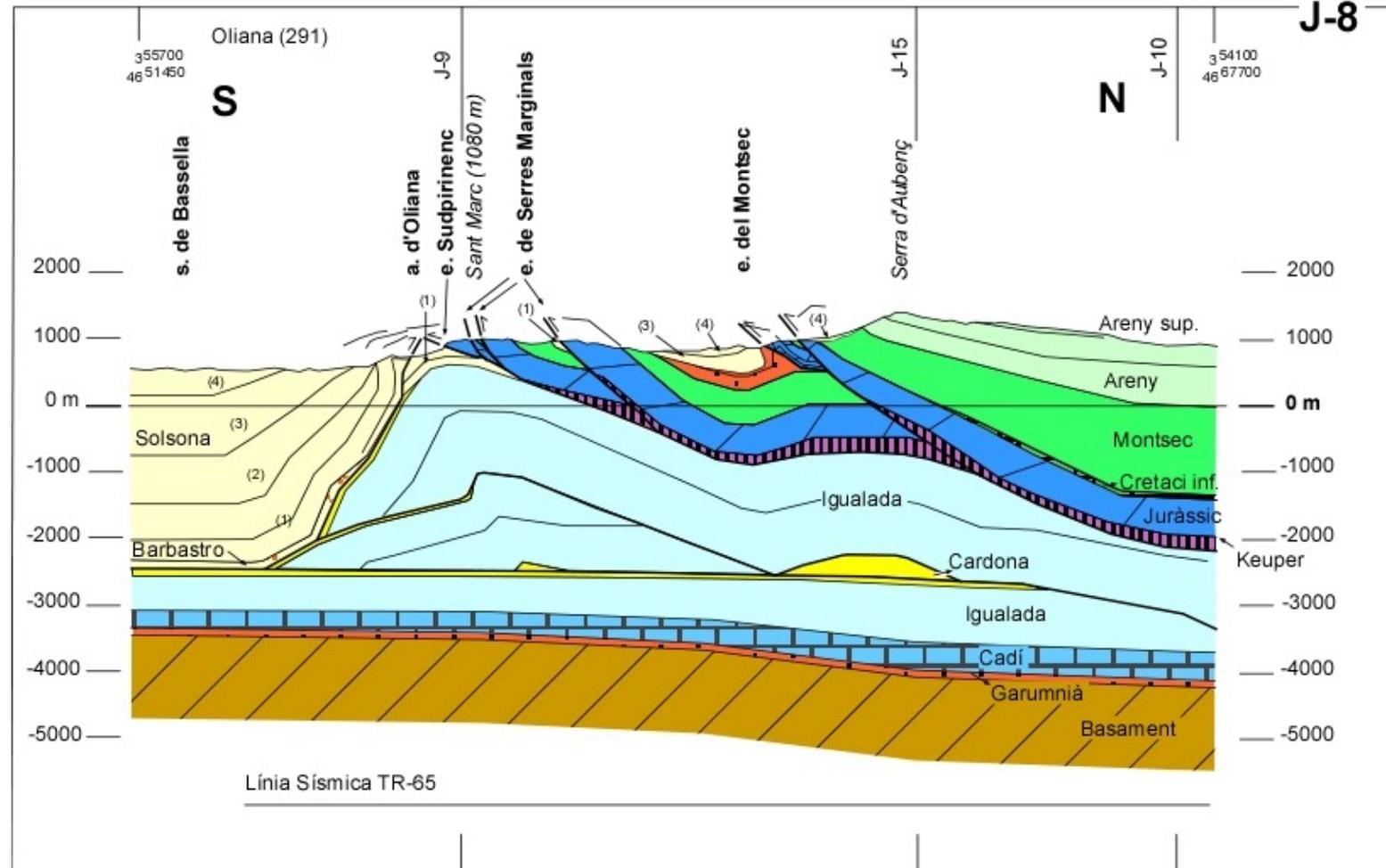


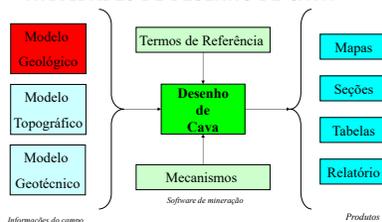
SEÇÕES GEOLÓGICAS



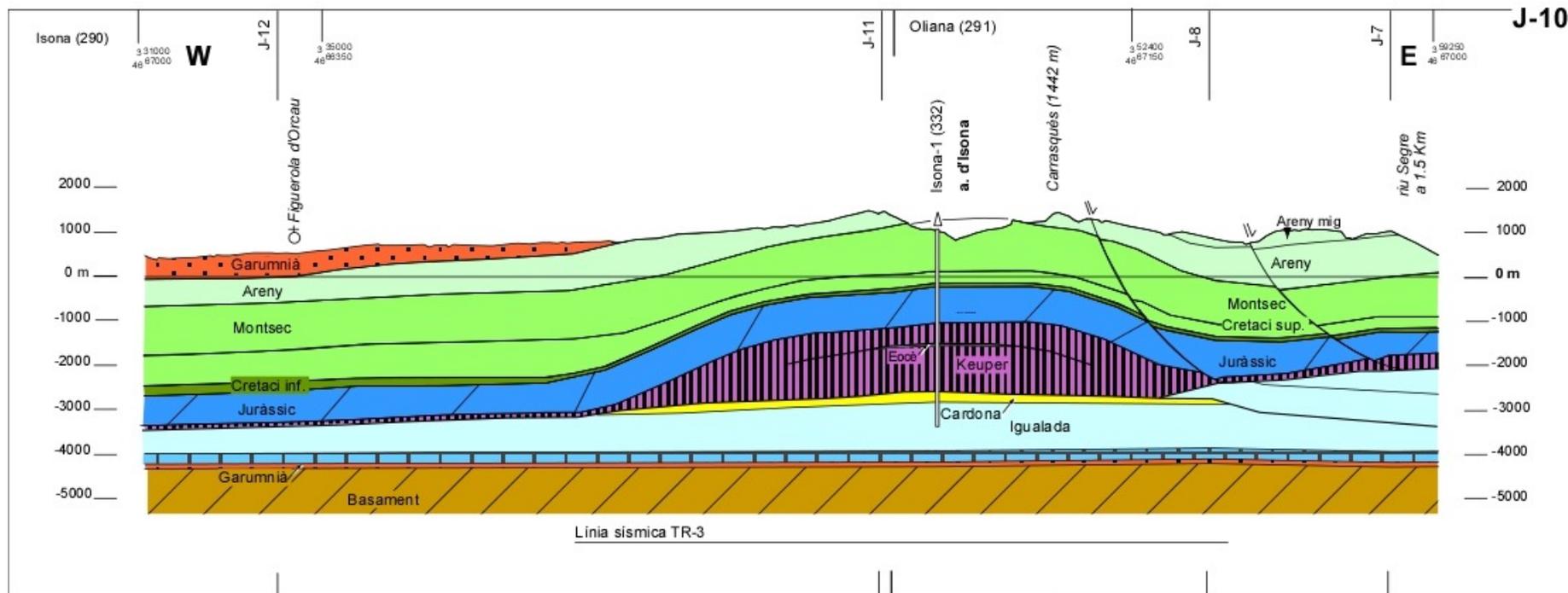


SEÇÕES GEOLÓGICAS





SEÇÕES GEOLÓGICAS

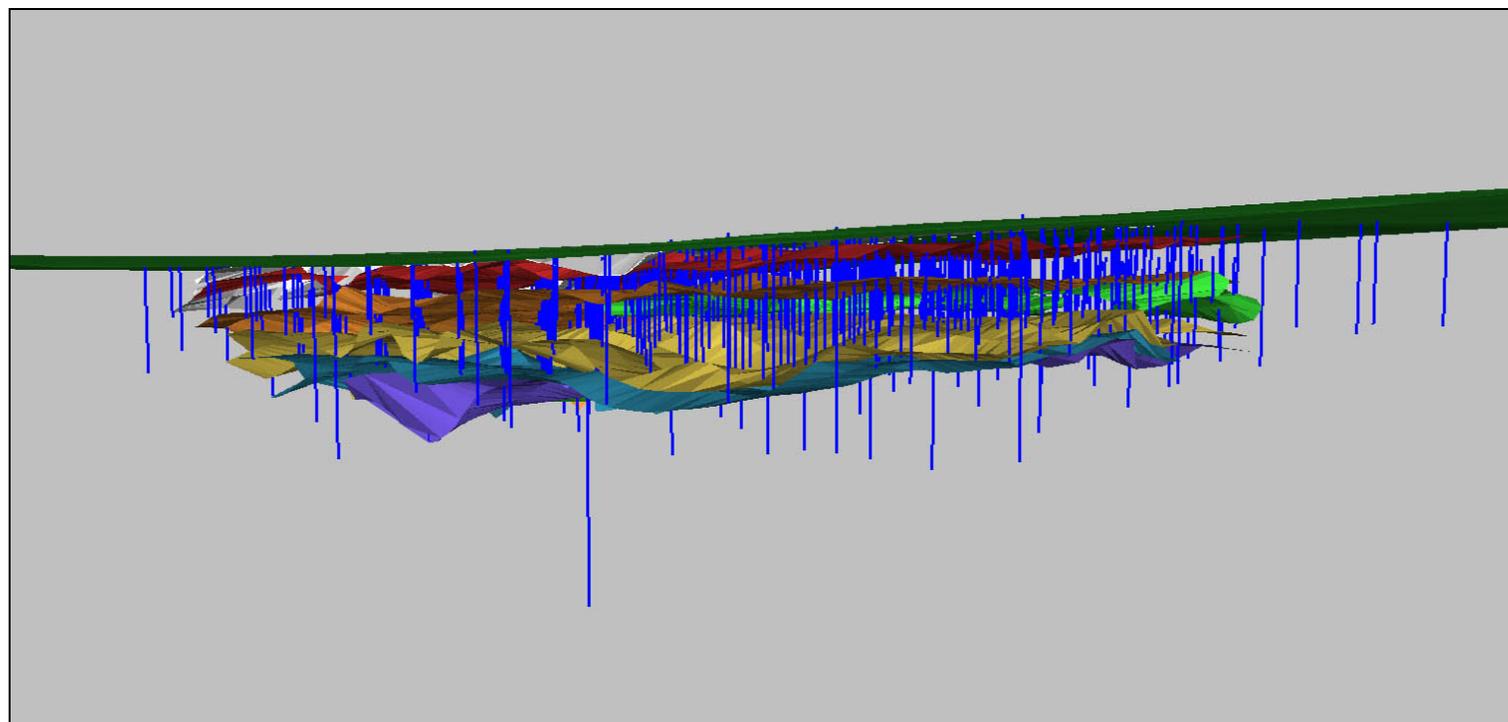




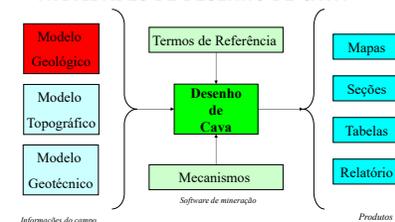
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

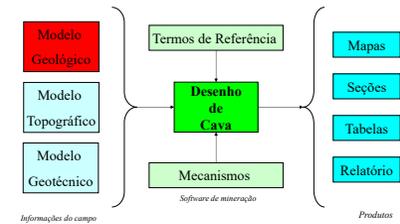
PMI3325: Lavra a Céu Aberto

MODELAGEM GEOLÓGICA (SOLIDOS)

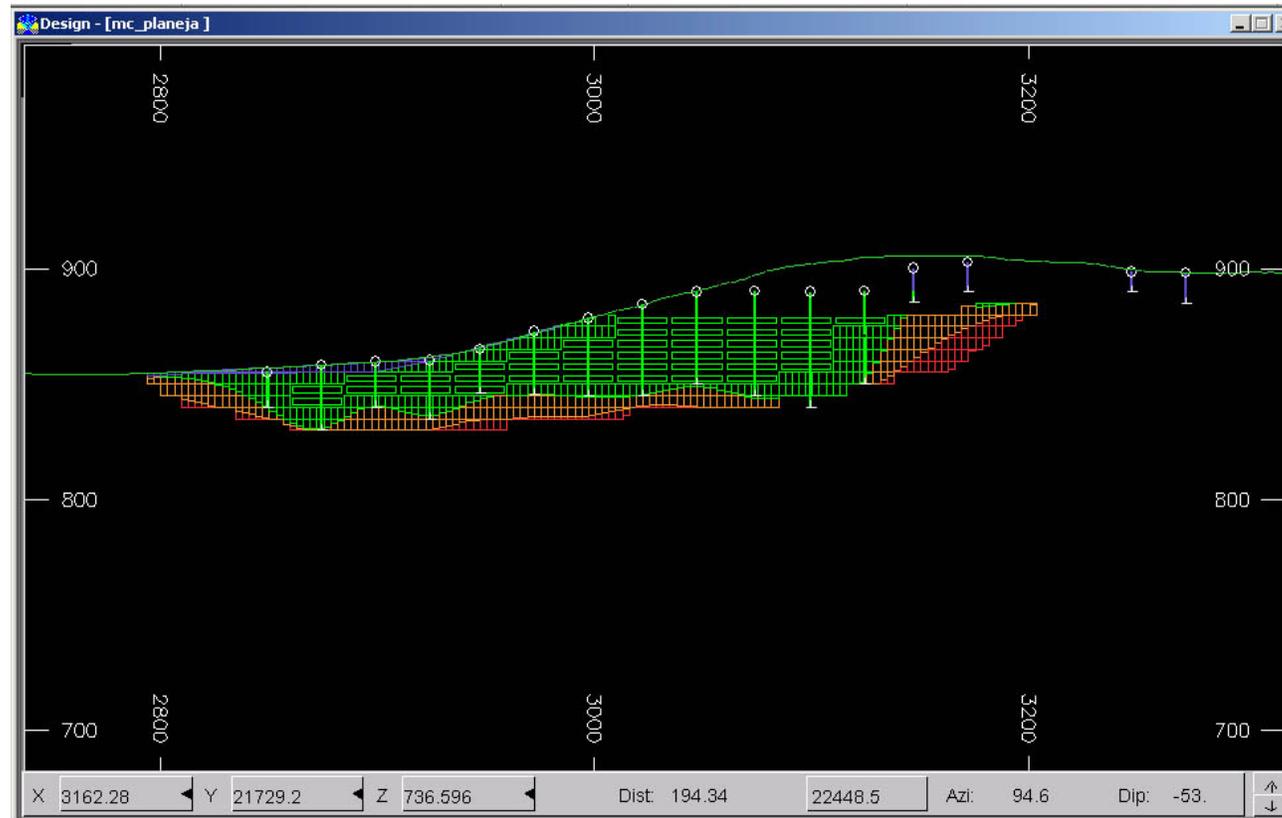


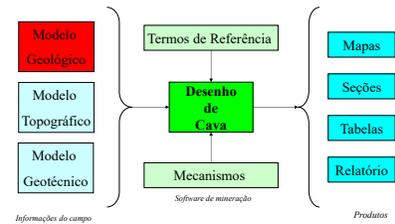
ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA



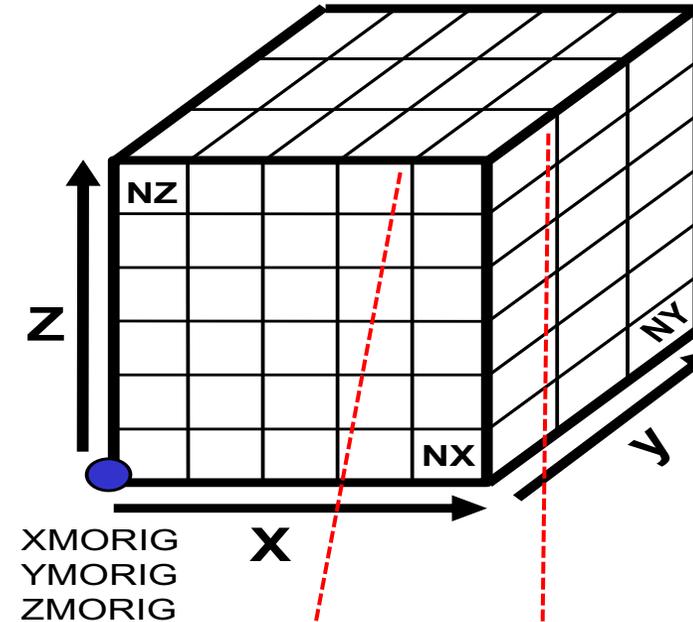


MODELAGEM GEOLÓGICA (MODELO DE BLOCOS)





MODELO DE BLOCOS



Definição do tamanho dos blocos:

Antes de criar um modelo é necessário definir a região onde vai ser construído o modelo e o tamanho dos blocos. Esta informação é o Protótipo de Modelo.

Campos do modelo:

XMORIG, YMORIG, ZMORIG: Coordenadas de origem do modelo.

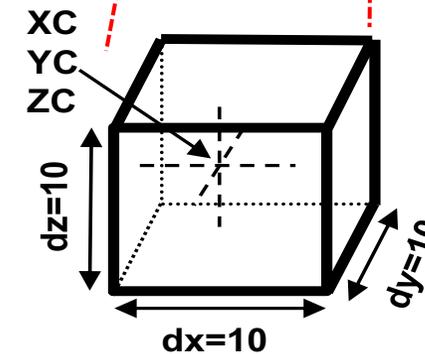
XINC, YINC, ZINC: Dimensões das células.

NX, NY, NZ: Número de células inteiras nas direções X, Y, Z.

XC, YC, ZC: Coordenadas do centro do bloco.

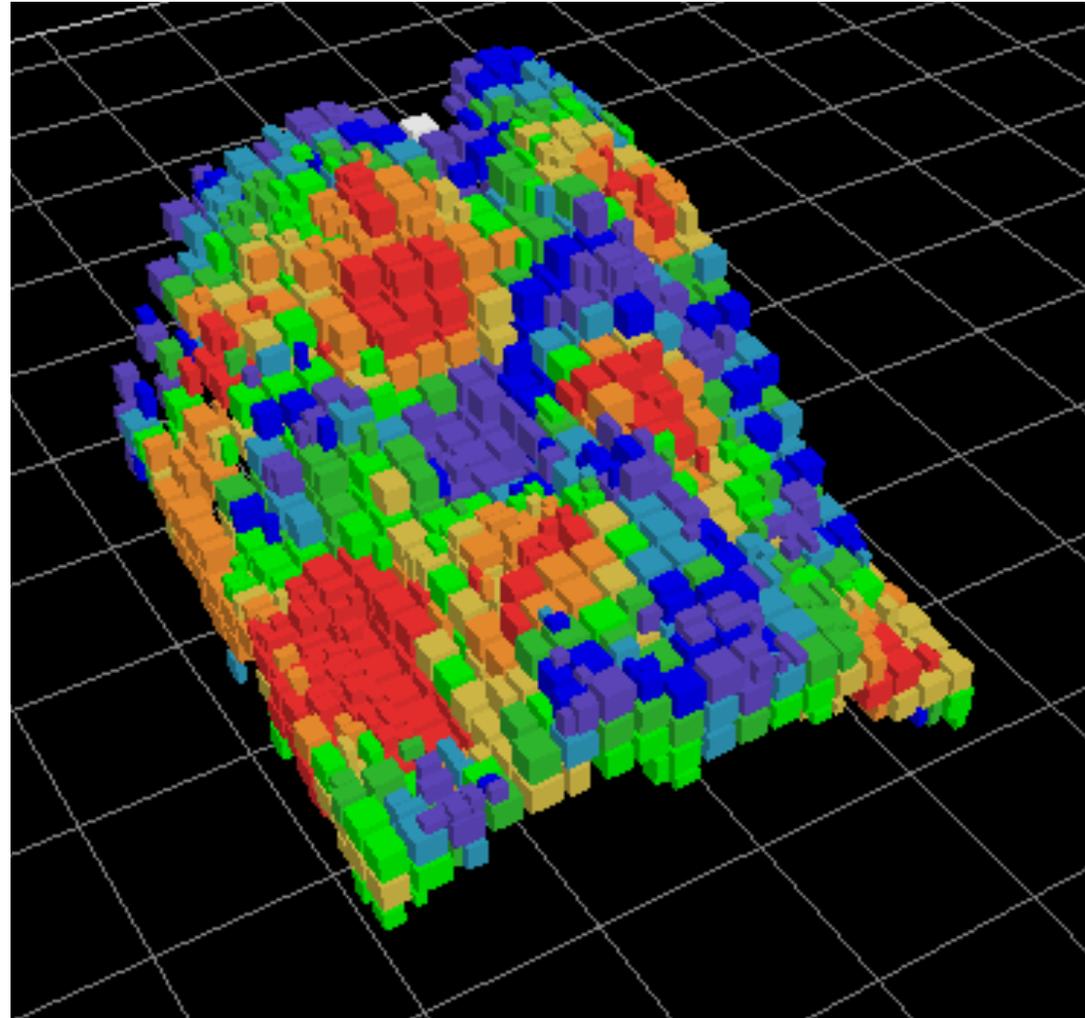
IJK: Código que identifica o bloco com base em sua posição espacial

Atributos: atributos necessários, litológicos, geológicos, teores e valores econômicos.

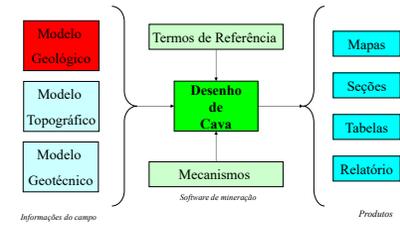




MODELO DE BLOCOS



ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA

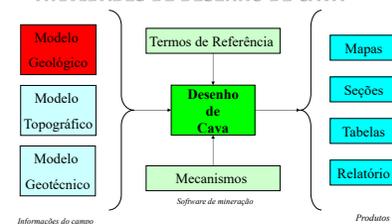




ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI3325: Lavra a Céu Aberto

ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA

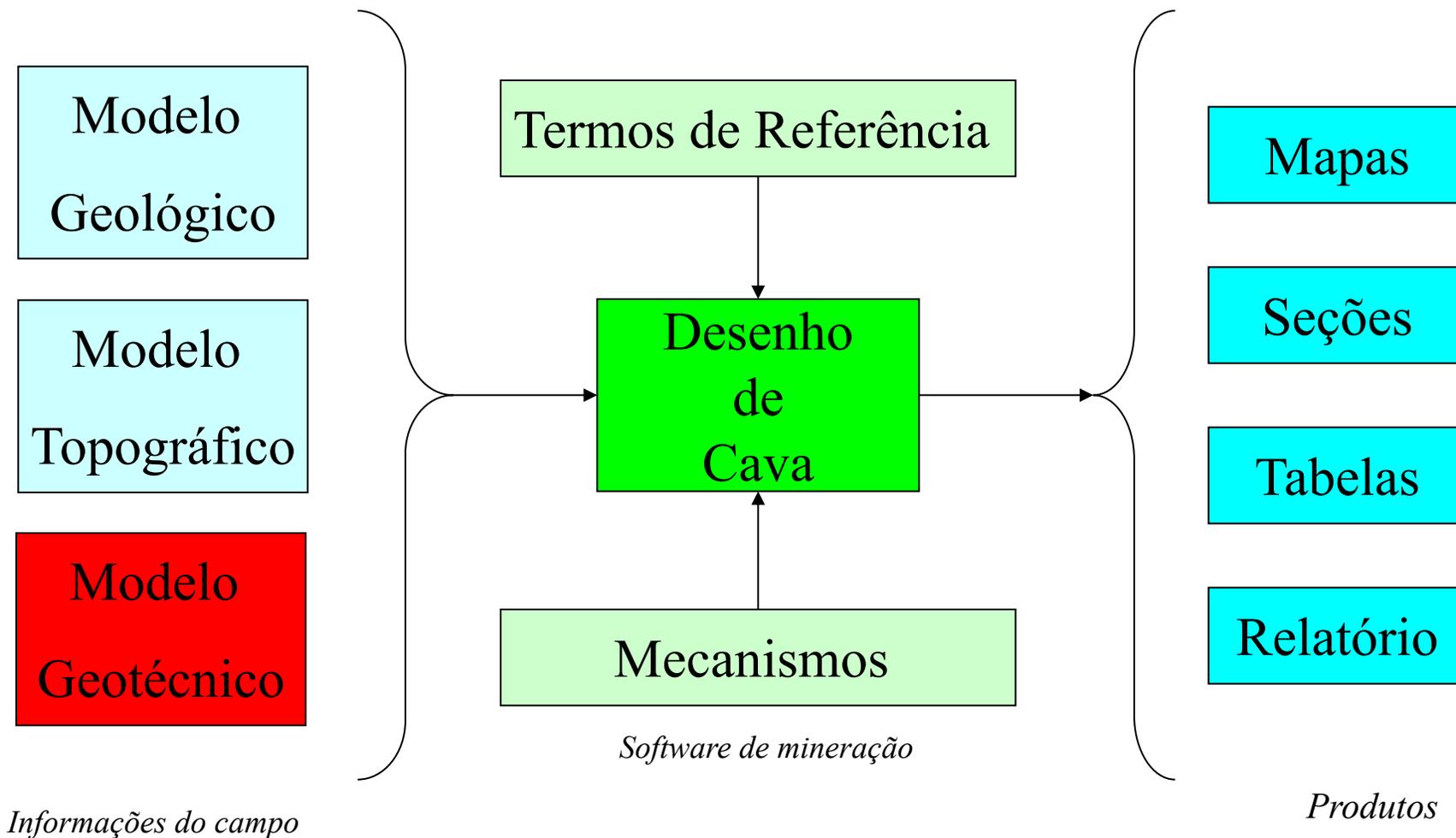


COMENTÁRIOS SOBRE MODELAGEM GEOLÓGICA

- Tomada de decisão depende da qualidade das informações
- “Information is not knowledge” – somente informações corretas não é suficiente
- Ver o video:
<http://www.ctech.com/index.php?page=geology>



ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA

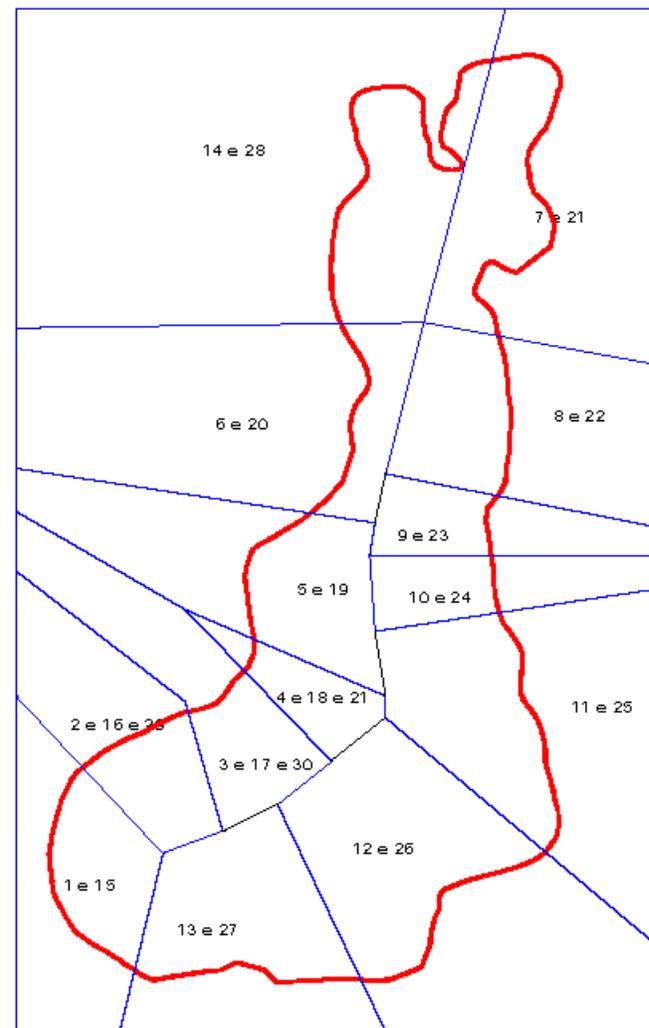
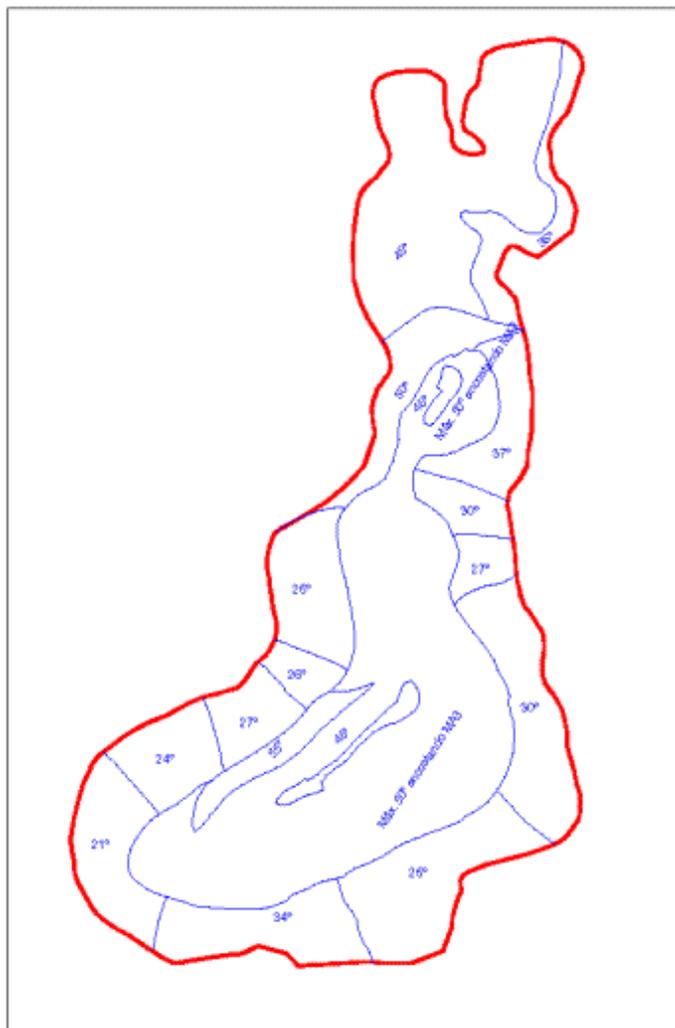




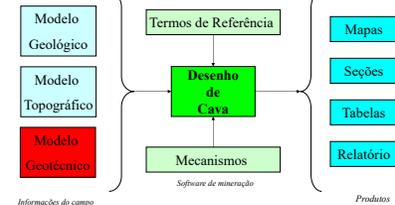
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI3325: Lavra a Céu Aberto

SETORIZAÇÃO GEOTÉCNICA



ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA

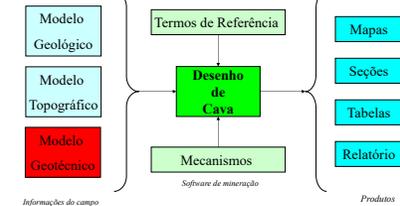




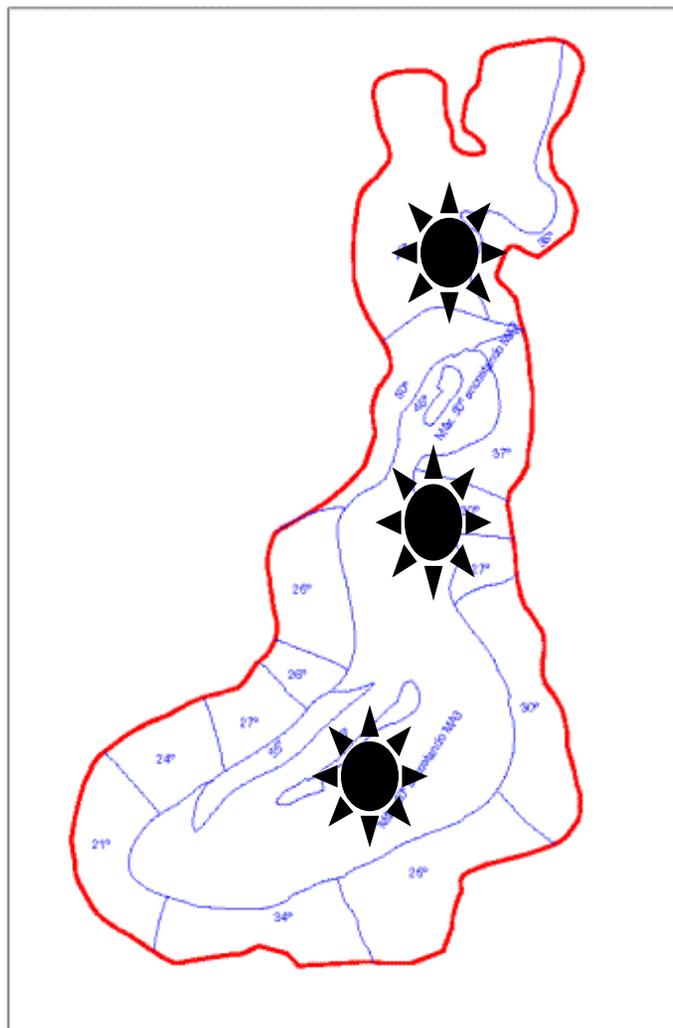
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI3325: Lavra a Céu Aberto

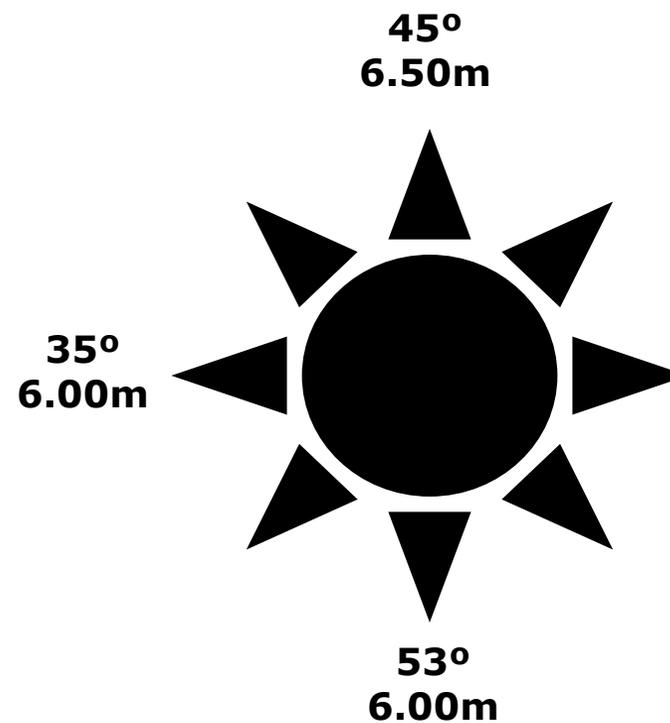
ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA

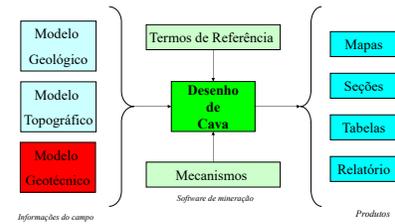


USO DE "rosettes"

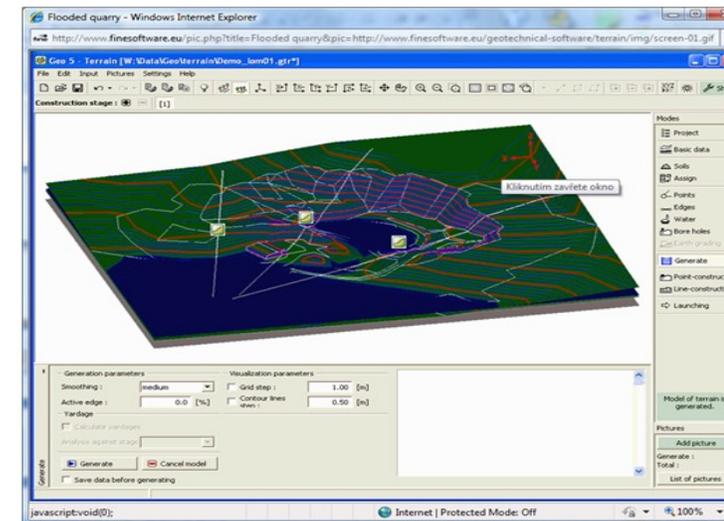
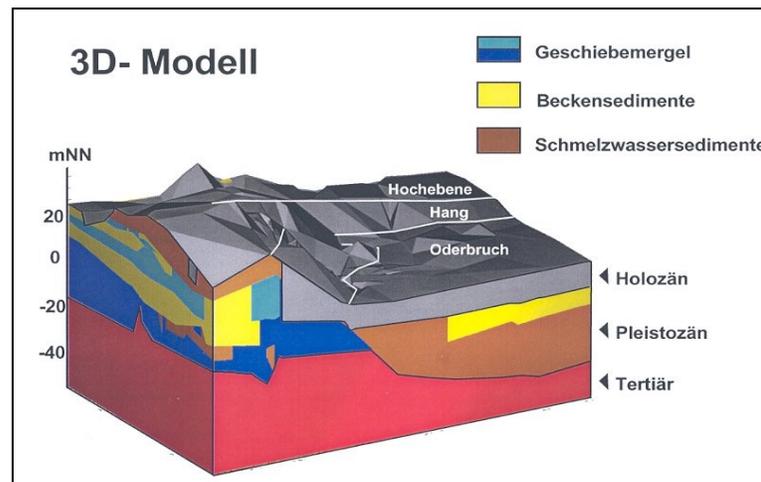
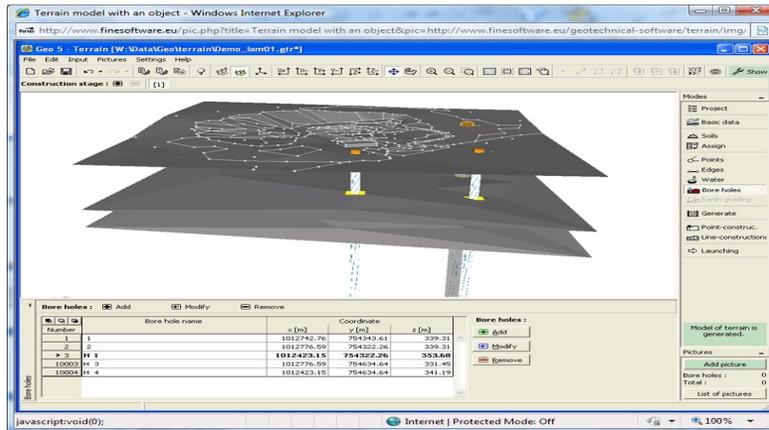


Exemplo:





Manuseio do Modelo Geotécnico

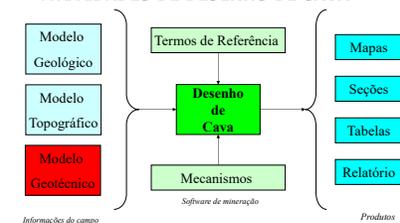




ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

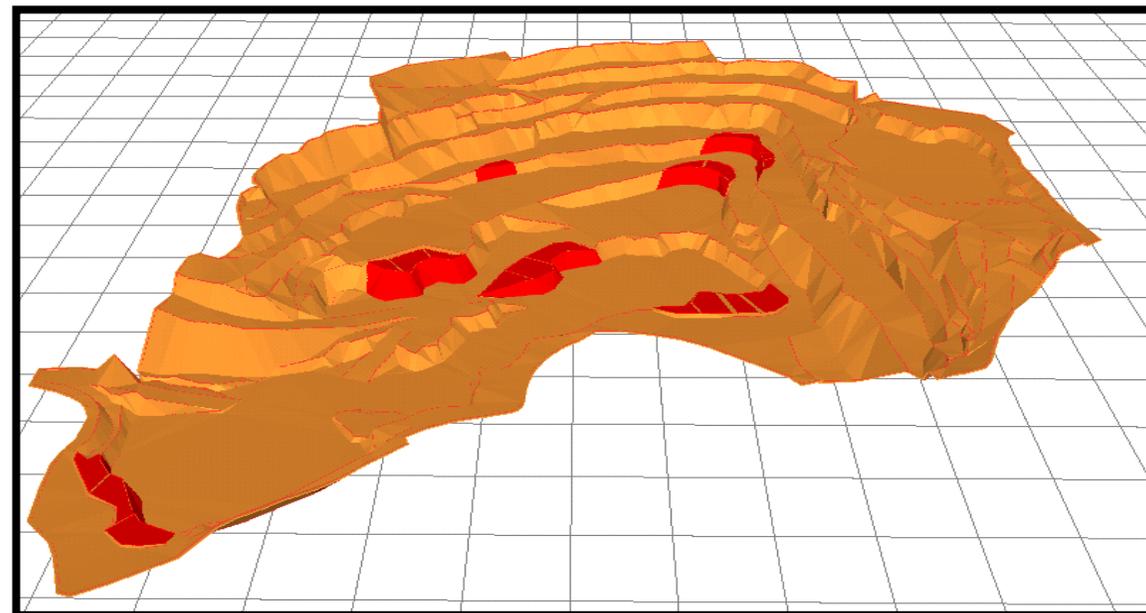
PMI3325: Lavra a Céu Aberto

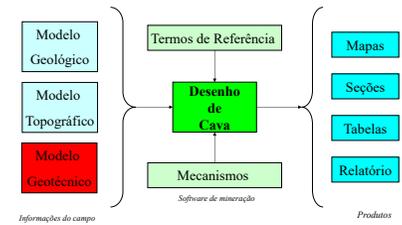
ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA



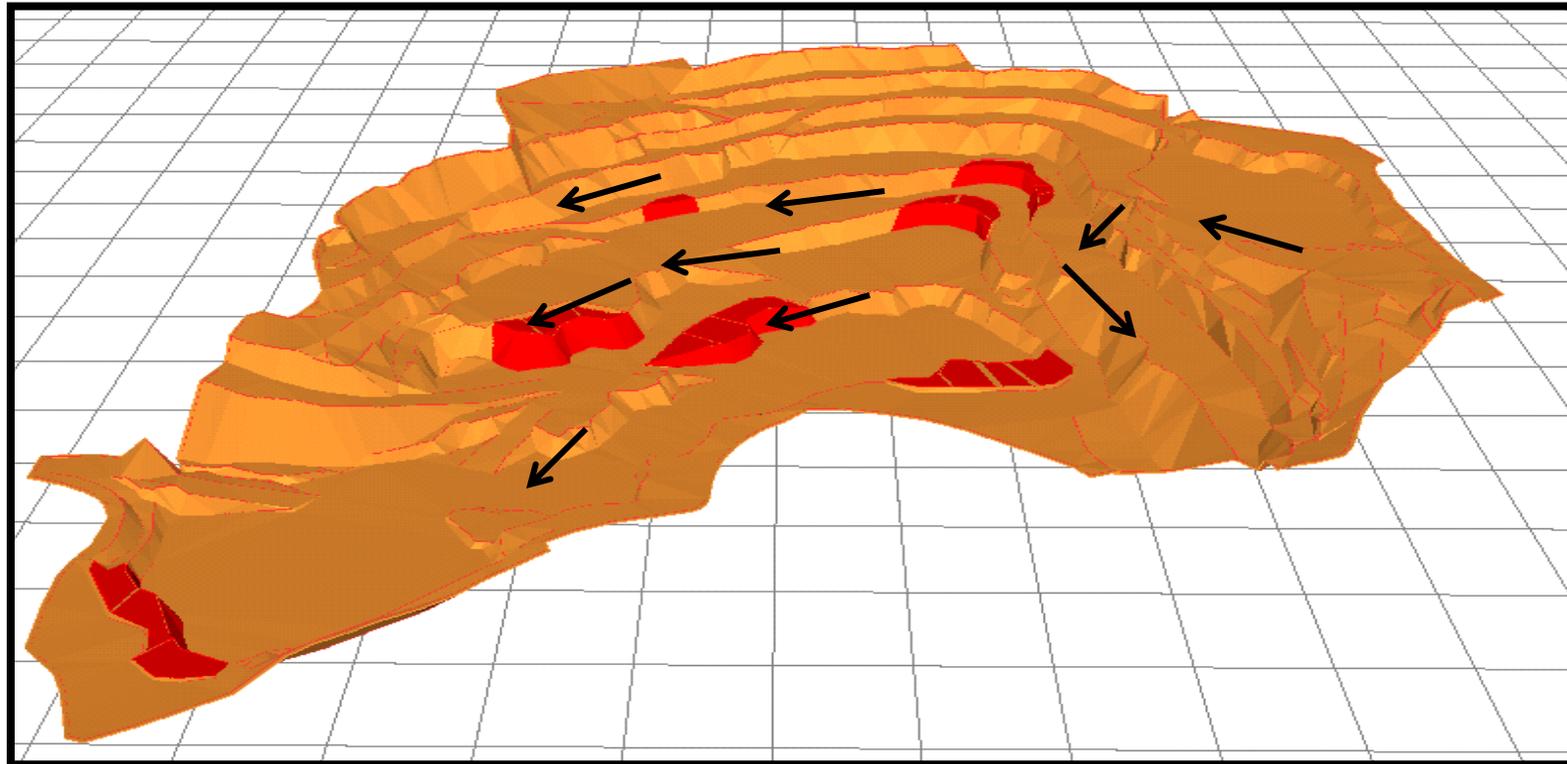
DRENAGEM

- Nos bancos
- Na cava
- Estação Chuvosa
- Exemplos (deslizamento, drenagem)
- Outros fatores





DRENAGEM NOS BANCOS



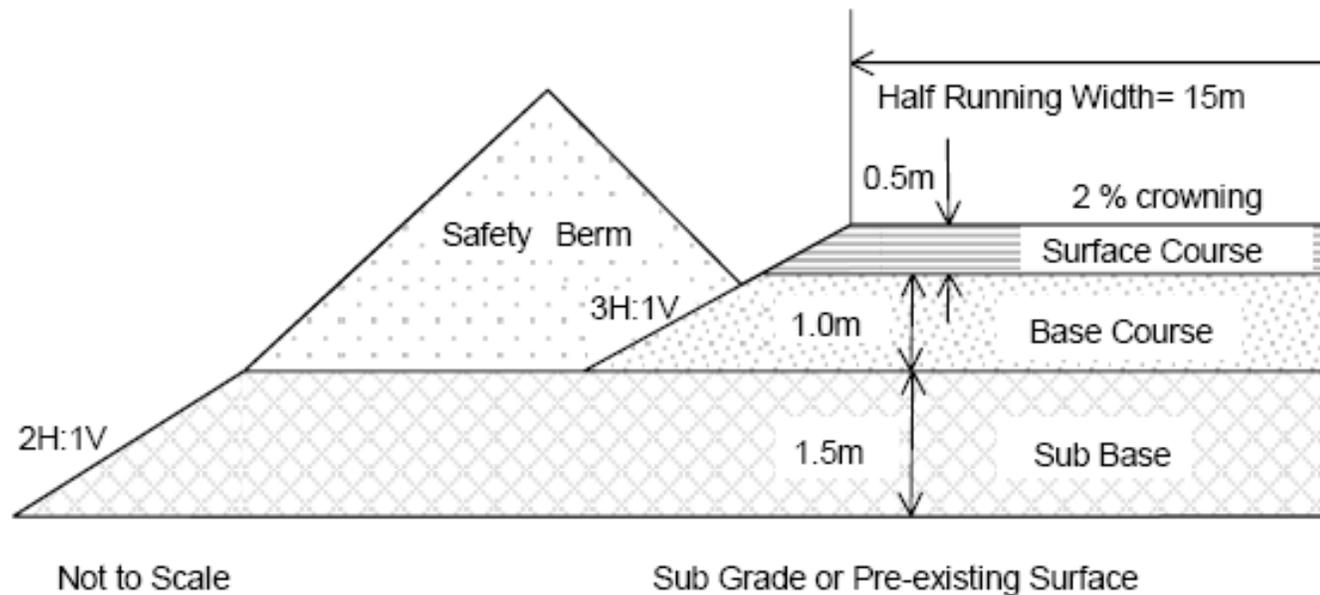
- Valores típicos: inclinação de 0.5% a 1% nos bancos



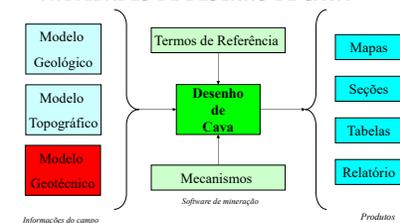
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI3325: Lavra a Céu Aberto

DRENAGEM EM RAMPAS E ACESSOS



ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA



Fonte:

Tannant, D., & Regensburg, B. (2001). Guidelines for mine haul road design.

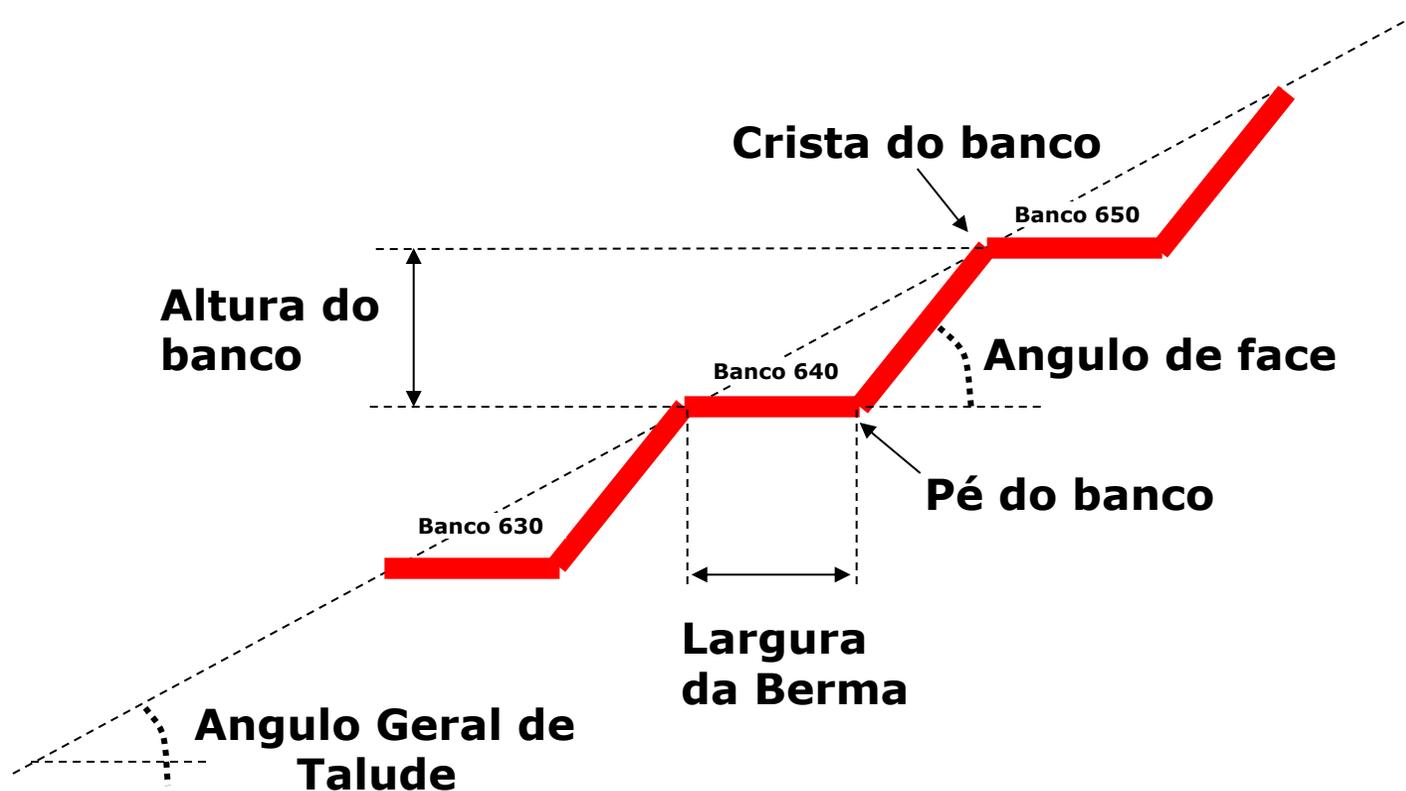
<https://open.library.ubc.ca/cIRcle/collections/facultyresearchandpublications/52383/items/1.0102562>



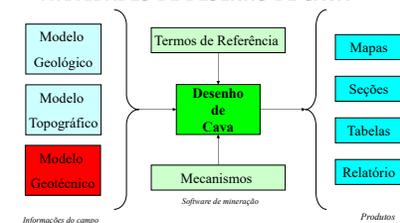
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI3325: Lavra a Céu Aberto

NOMENCLATURA USUAL



ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA





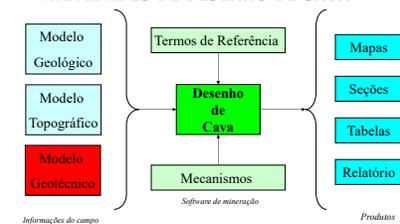
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI3325: Lavra a Céu Aberto

EXEMPLOS



ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA

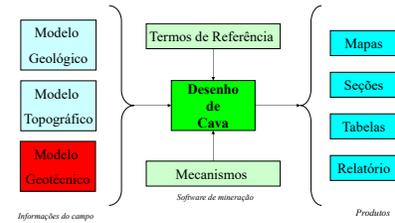




EXEMPLOS



ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA





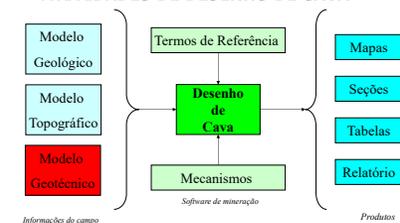
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI3325: Lavra a Céu Aberto

EXEMPLOS



ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA

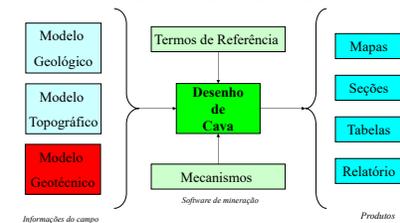




EXEMPLOS



ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA





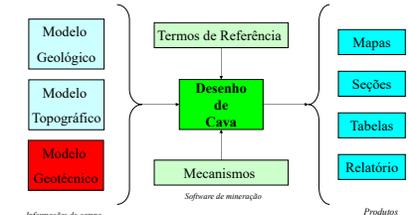
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI3325: Lavra a Céu Aberto

EXEMPLOS



ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA





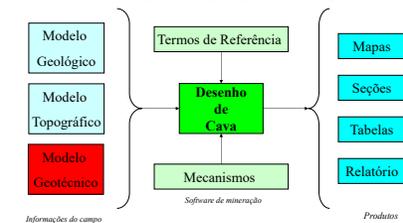
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI3325: Lavra a Céu Aberto

EXEMPLOS



ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA





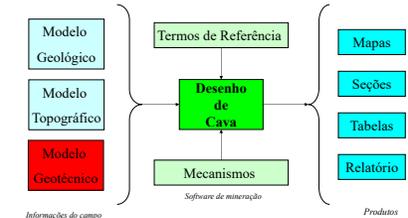
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI3325: Lavra a Céu Aberto

EXEMPLOS



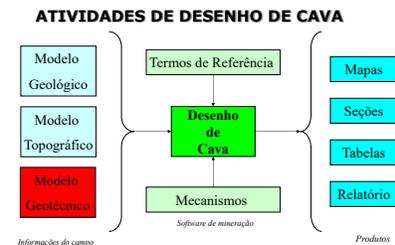
ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA





ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI3325: Lavra a Céu Aberto



Exemplo: Ruptura do Morro do Patrimônio

- Mina de Aguas Claras, BH, anos 90
- O Morro do Patrimônio encontra-se em BH e divide a mina de Águas Claras das áreas urbanas vizinhas;
- O evento ocorreu às **05:50 am** com a ruptura do talude nordeste da cava;
- A ruptura teve **30 m de largura** na crista e **240m de altura**;
- Volume deslocado: **2 milhões de toneladas**.



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

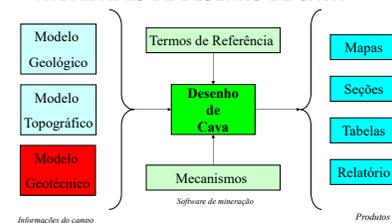
PMI3325: Lavra a Céu Aberto

Vista antes da ruptura



Nota: observar a complexidade do talude e da configuração da cava

ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA





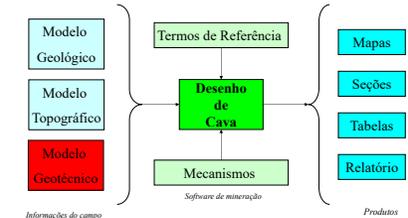
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI3325: *Lavra a Céu Aberto*

Vista após a ruptura



ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA





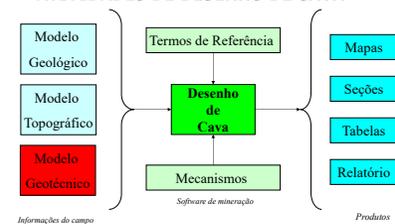
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI3325: Lavra a Céu Aberto

Detalhe da base da ruptura



ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA

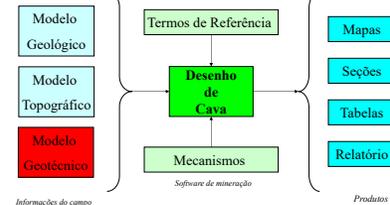




ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

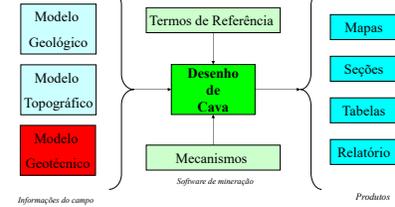
PMI3325: Lavra a Céu Aberto

ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA

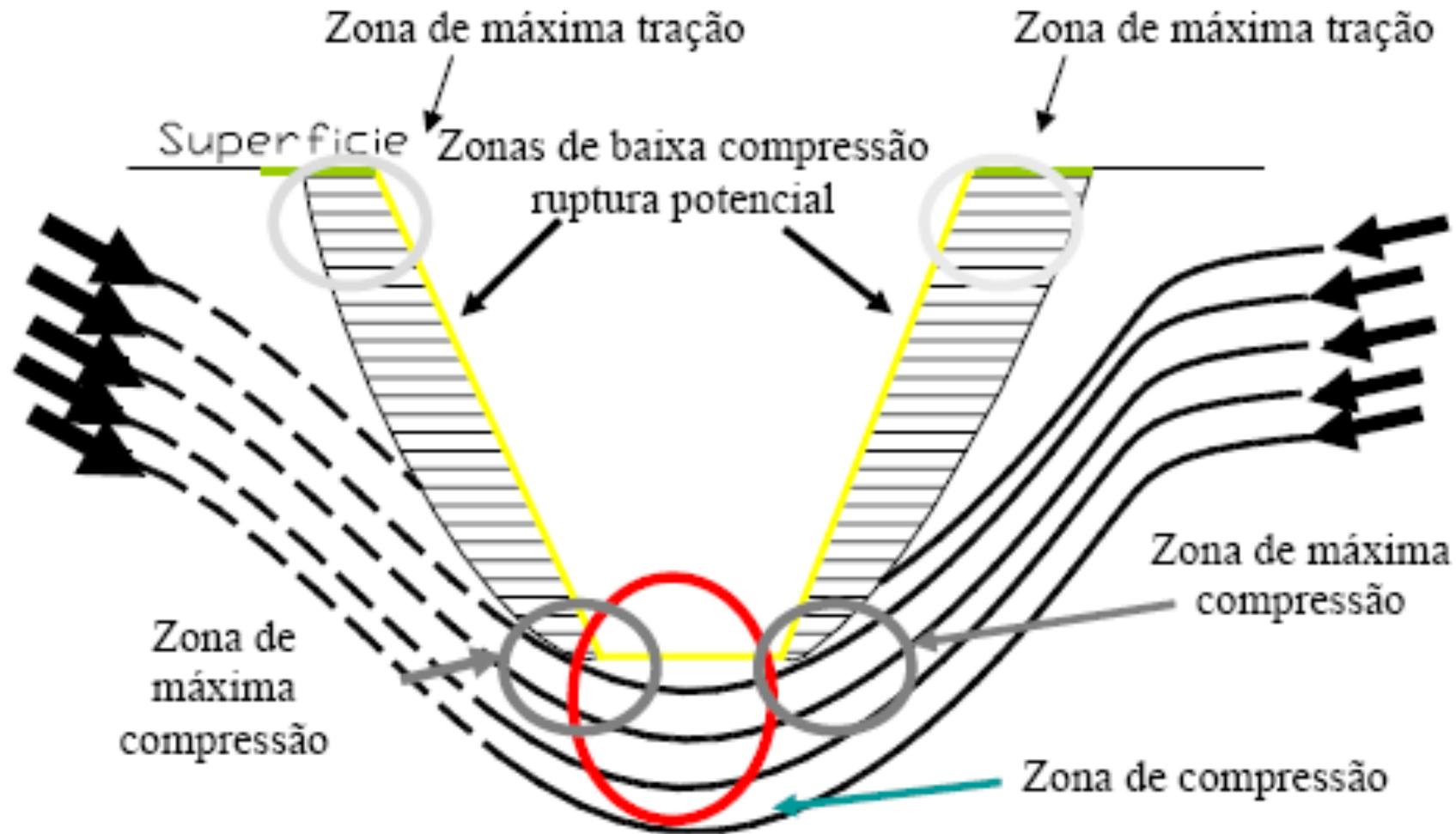


Causas Prováveis

- Desde o aparecimento dos primeiros sinais de instabilidade até a ruptura total foram decorridos 21 dias, sendo que a ruptura ocorreu de forma brusca, na madrugada do último dia.
- A geologia no local é composta de camadas de hematita e filito de consistência friável, em contatos ondulados e concordantes com a atitude geral do talude.
- Incremento e concentração de tensões na porção inferior da cava, o que caracterizou o caráter explosivo da ruptura
- Rápido decréscimo da resistência do contato entre as litologias em função da presença de água nas fissuras expandidas após o avanço da cava
- Efeito de convexidade da topografia anterior à ruptura



Campo de tensões em taludes de cava

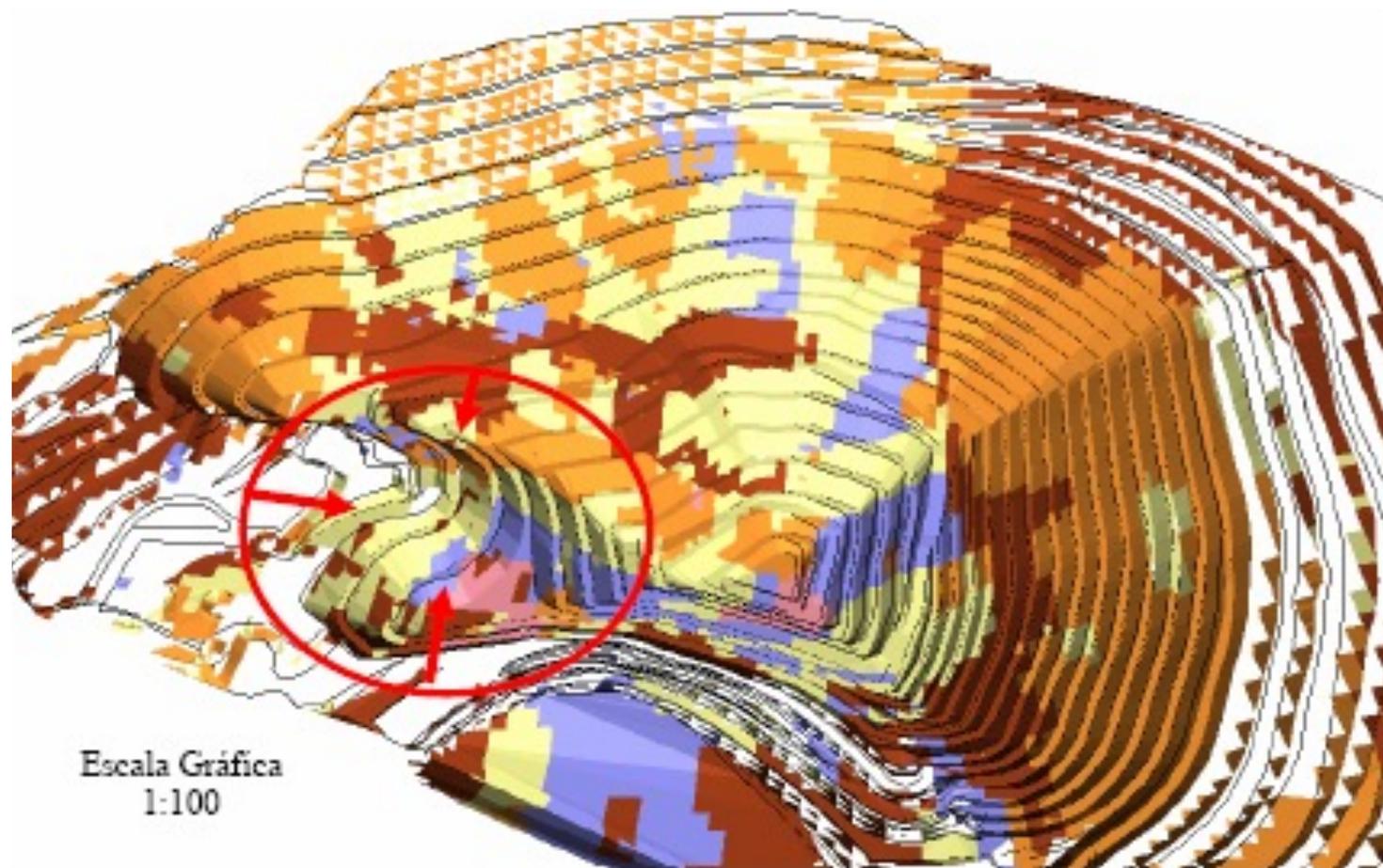




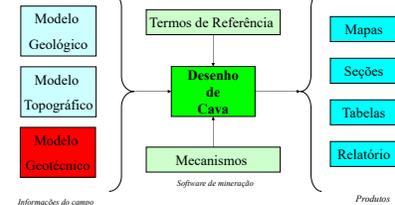
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI3325: Lavra a Céu Aberto

Influência da configuração da cava

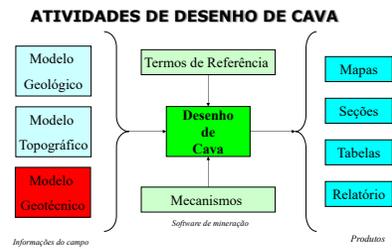


ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA





Ruptura do Morro do Patrimônio



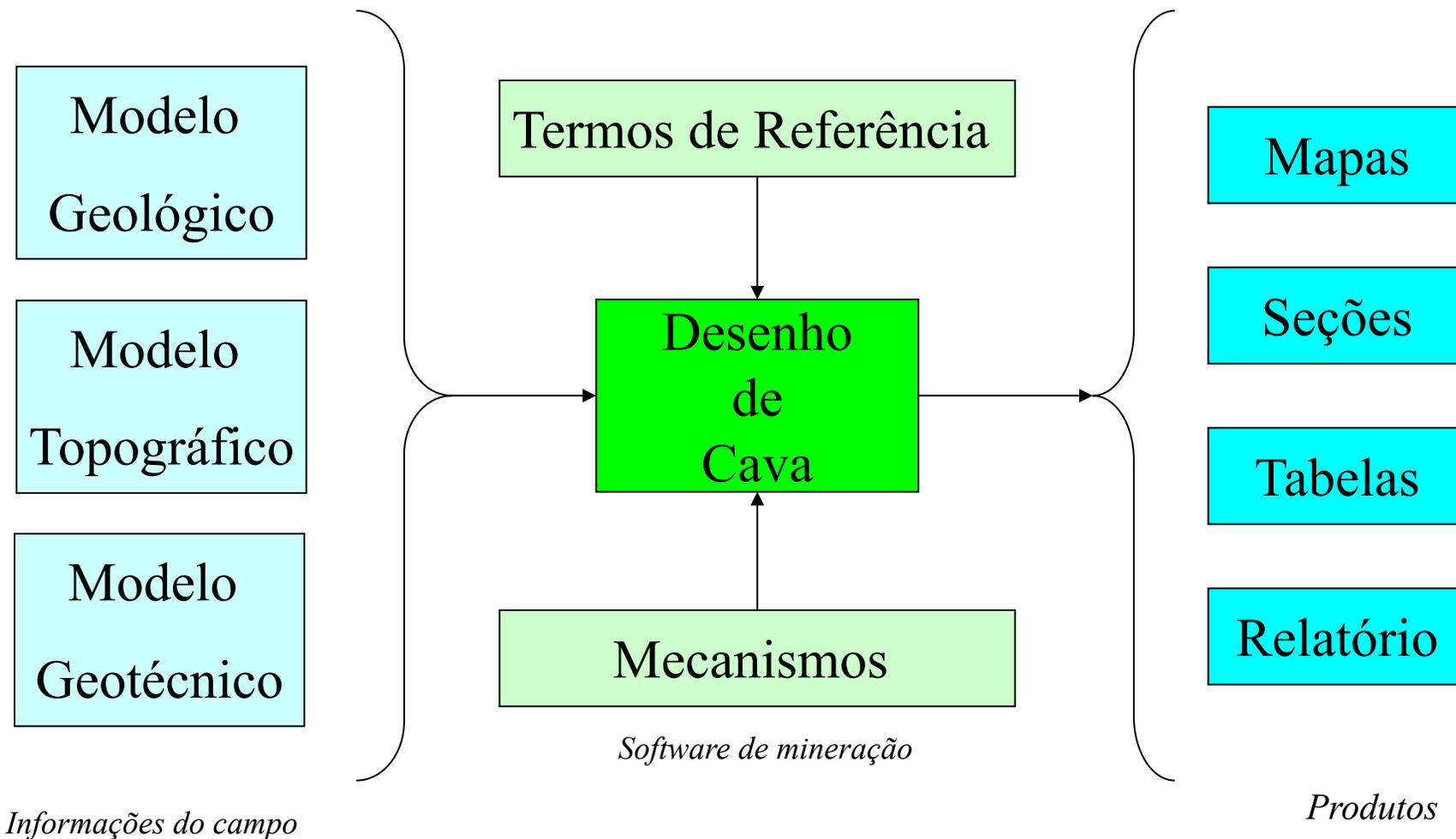


Revisão

- O que fazer após uma ruptura?
- É possível **evitar** uma ruptura similar?
- Qual o **procedimento** que vc recomendaria para evitar rupturas e escorregamentos?
- O que acontece com o **preço da ação** de uma empresa de mineração que sofre uma ruptura de taludes?
- Esse problema é exclusivo de **minas a céu-aberto**?



ATIVIDADES DE DESENHO DE CAVA





ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMI3325: Lavra a Céu Aberto

Mês	S	T	Q	Q	S	Conteúdo
Agosto	7	8	9	10	11	Aula 01: Introdução
	14	15	16	17	18	Aula 02: Visão geral de lavra a céu-aberto
	21	22	23	24	25	Aula 03: Fluxo de dados no desenho de cava
	28	29	30	31	1	Prática de projeto
Setembro	4	5	6	7	8	Recesso: Semana da Pátria
	11	12	13	14	15	Aula prática: P1
	18	19	20	21	22	Aula 04: Lavra em Tiras
	25	26	27	28	29	Aula 05: Lavra por métodos hidráulicos
Outubro	2	3	4	5	6	Aula 06: Lavra em bancadas: conceituação
	9	10	11	12	13	Recesso: Pádua do Brasil
	16	17	18	19	20	Aula 07: Lavra em bancadas: prática
	23	24	25	26	27	Aula prática: P2
	30	31	1	2	3	Recesso: Fimados
Novembro	6	7	8	9	10	Aula 08: Projeto de desenho de cava
	13	14	15	16	17	Aula 09: Projeto de desenho de cava
	20	21	22	23	24	Aula 10: Projeto de desenho de cava
	27	28	29	30	1	Apresentação dos projetos

Macro entrega 01

Macro entrega 02

Apresentação



Pós-aula...

- Prática Micromine, Mineplan e/ou Deswik
- Importação de dados e avanço do projeto dos grupos

Próxima aula

- Aula prática de projeto
- acompanhem no ***e-disciplinas***

- *Contatos:*

Prof. G. de Tomi <gdetomi@usp.br>

Prof. Ricardo C. de Azevedo <rcazevedo@usp.br>