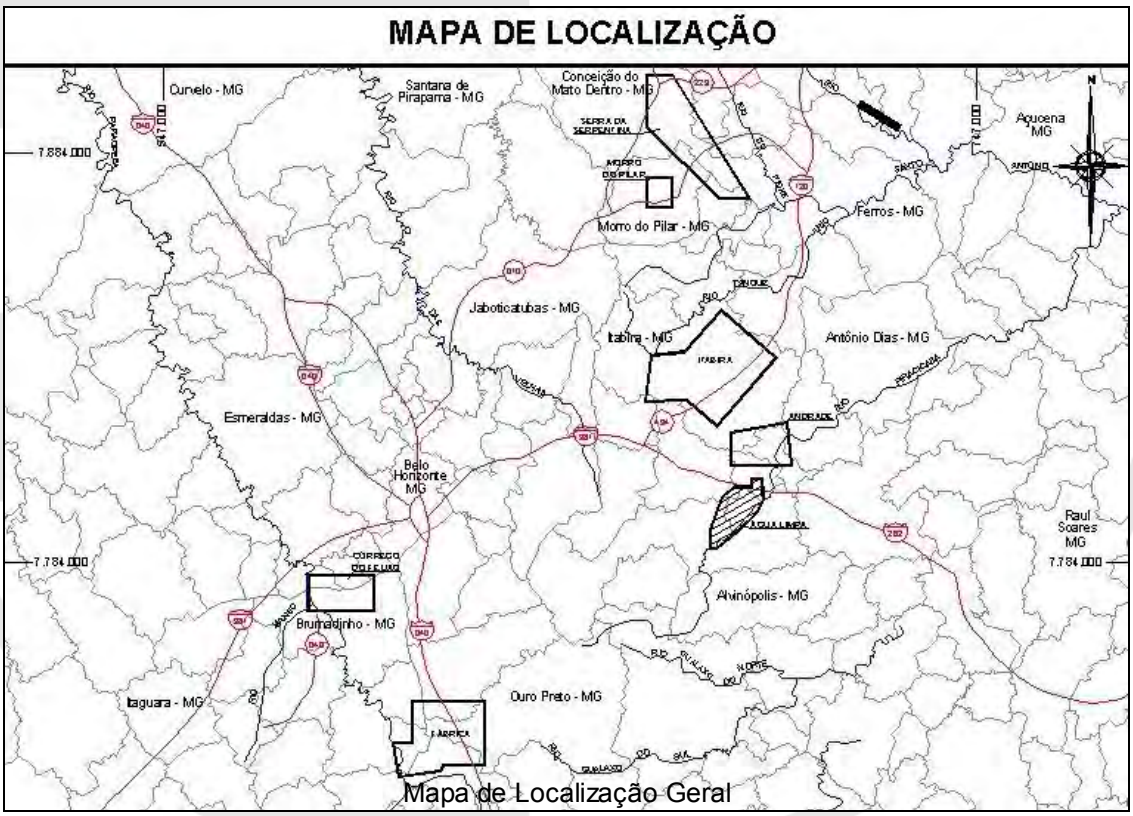
MAPEAMENTO DE ÁREAS OPERACIONAIS DA VALE NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO – MG

A Companhia Vale do Rio Doce – CVRD realizou serviços de mapeamento na escala 1:5.000 de áreas operacionais e de pesquisa mineral na região do Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais.

Foram contempladas um total de oito áreas, sendo: Itabira (468 km²), Andrade (136 km²), Água Limpa (121 km²), Fábrica (323 km²), Feijão (139 km²), Ibituruna (310 km²), Serra da Serpentina (318 km²) e Morro do Pilar (45 km²), totalizando 1.860 km².



Mapa de Localização Geral

Os serviços de mapeamento consistiram de captação de imagens fotográficas digitais e perfilamento com sensor laser, referenciados ao Sistema Geodésico Brasileiro, originando ortofotocartas planialtimétricas na escala 1:5.000, modelos digitais de superfície (MDS) e modelos digitais do terreno (MDT).

As atividades foram inicialmente avaliadas, planejadas e posteriormente documentadas no Projeto de Aerolevantamento, que consolidou todas as informações sobre os métodos a serem aplicados, equipamentos e procedimentos operacionais, bem como informações referentes aos instrumentos de gestão do serviço como: cronograma físico, cronograma físico-financeiro e espacialização das atividades a serem desenvolvidas.

Todos os Direitos Reservados. Copyright 2007, ESTEIO Engenharia e Aerolevantamentos S.A.
Este conteúdo foi elaborado pelo corpo técnico da empresa. É vedado o uso comercial deste texto e sua reprodução, no todo ou em parte, sem a autorização expressa do autor e da empresa. Não são permitidas a reprodução nem a manutenção deste artigo em sites, páginas da web e assemelhados.

Este serviço iniciou a operação da primeira câmara aérea digital no Brasil. O pioneirismo da Esteio Engenharia e Aerolevantamentos S.A. ofereceu a CVRD a tecnologia mais avançada em captação de imagens para produtos cartográficos.

A CVRD privilegiou a geração de um produto combinado, com ortofotocartas digitais oriundas da cobertura aérea digital ADS-40 e curvas de nível com eqüidistância de 5m, MDT e MDS oriundos de cobertura com sensor laser aerotransportado ALS-50. A fotogrametria validou e compatibilizou os dois produtos em estações digitais fotogramétricas. A seguir apresentamos a descrição dos processos das etapas principais deste serviço.

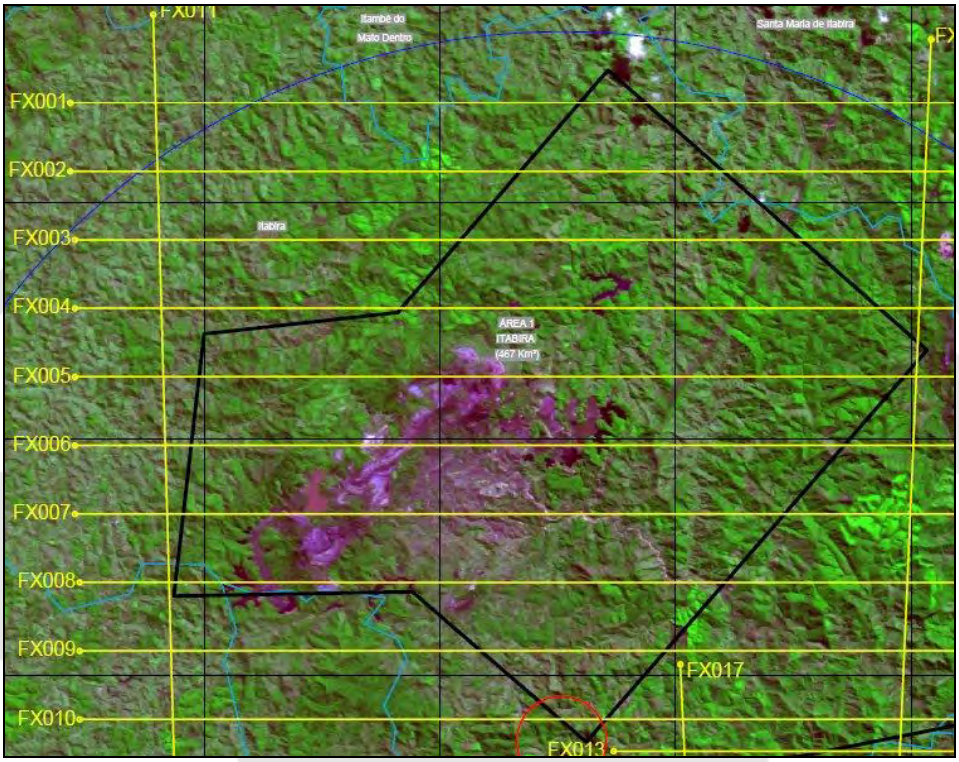
COBERTURA AEROFOTOGRAMÉTRICA

A cobertura aerofotogramétrica foi realizada com o sensor ADS-40 da LEICA, que é uma câmara aérea digital acoplada a uma aeronave, conforme figura abaixo.

Câmara aérea digital ADS-40

A cobertura foi realizada conforme plano de vôo gráfico e analítico previamente planejado e aprovado, visando cobrir com imagens digitais as áreas do projeto.

Todos os Direitos Reservados. Copyright 2007, ESTEIO Engenharia e Aerolevantamentos S.A.
Este conteúdo foi elaborado pelo corpo técnico da empresa. É vedado o uso comercial deste texto e sua reprodução, no todo ou em parte, sem a autorização expressa do autor e da empresa. Não são permitidas a reprodução nem a manutenção deste artigo em sites, páginas da web e assemelhados.



Plano de vôo gráfico do vôo fotográfico

Transferência dos dados e avaliação do vôo

Após o término da etapa de vôo a Unidade de Memória (Mass Memory) foi desconectada da Unidade de Controle (CU40) da Câmara, para que as imagens armazenadas pudessem ser transferidas para uma Estação de Processamento Móvel em solo, ainda em campo. Após a verificação em campo, os dados foram enviados para a sede visando o processamento definitivo.

A CU40 é a unidade de controle do conjunto ADS40, conectada a SH40 através de cabos ópticos. Todos os dados controlados pela CU40 são transmitidos para uma unidade de memória denominado Mass Memory, que tem capacidade de armazenamento de 900Gb, suficiente para aproximada 35 horas de vôo deste projeto.

CU40

Mass Memory

Todos os Direitos Reservados. Copyright 2007, ESTEIO Engenharia e Aerolevantamentos S.A.
Este conteúdo foi elaborado pelo corpo técnico da empresa. É vedado o uso comercial deste texto e sua reprodução, no todo ou em parte, sem a autorização expressa do autor e da empresa. Não são permitidas a reprodução nem a manutenção deste artigo em sites, páginas da web e assemelhados.

Um processamento preliminar, com o software GPRO, foi realizado para fins de controle de qualidade das imagens adquiridas. Com a ocorrência de poucas nuvens, sombras ou outros fatores que pudessem deteriorar a qualidade geométrica e radiométrica da imagem registrada, as faixas foram replicadas em um arquivo de extensão RAW, armazenadas em uma unidade móvel de transporte de dados, para serem encaminhadas a SEDE da Esteio.

Extração dos dados e processamento GPS/IMU

Neste processo de extração foram descarregados os dados do GPS da aeronave, dados do Sistema Inercial (IMU) e as imagens brutas, realizado através do programa GPRO.

Os dados do GPS da aeronave foram transformados através do programa IPAS e processados juntamente com os dados da Estação de Base. Este processamento foi realizado no programa GRAFNAV, de forma individual e, posteriormente, concatenado de modo a se obter uma solução cinemática única e ajustada ao sistema de coordenadas do projeto, utilizando duas freqüências para obter uma solução com a ambigüidade resolvida.

Obtiveram-se duas soluções para cada vôo sendo uma direta e a outra inversa. Estas duas soluções foram analisadas conjuntamente com os seus respectivos desvios padrões. A solução final do processamento cinemático foi obtida a partir da combinação das soluções das duas direções processadas.

A solução GPS obtida foi combinada com os dados IMU, de modo a gerar um preciso posicionamento e atitude para cada uma das linhas imageadas.

Georeferenciamento

Com o processamento GPS/IMU concluído as imagens podem ser georreferenciadas. Este processo foi realizado pelo Programa GPRO onde foi criado um “block file” de extensão BLK que pode ser carregado por aplicativos como LPS (visualização em estéreo) e ORIMA (aerotriangulação).

Neste processo foi utilizado o arquivo SOL obtido anteriormente e foram lidos os parâmetros de calibração do sensor. Nesta fase as imagens ainda apresentavam um visual confuso, pois as linhas imageadas ainda não estavam paralelas devido aos movimentos realizados pela aeronave durante o vôo.

Para o georeferenciamento foram utilizados os seguintes parâmetros:

- Datum planimétrico : SAD-69 (1996)
- Datum altimétrico: Marégrafo de Imbituba / SC
- Projeção: UTM
- Meridiano Central: 45º W (Zona 23)

Todos os Direitos Reservados. Copyright 2007, ESTEIO Engenharia e Aerolevantamentos S.A.
Este conteúdo foi elaborado pelo corpo técnico da empresa. É vedado o uso comercial deste texto e sua reprodução, no todo ou em parte, sem a autorização expressa do autor e da empresa. Não são permitidas a reprodução nem a manutenção deste artigo em sites, páginas da web e assemelhados.

Retificação L1

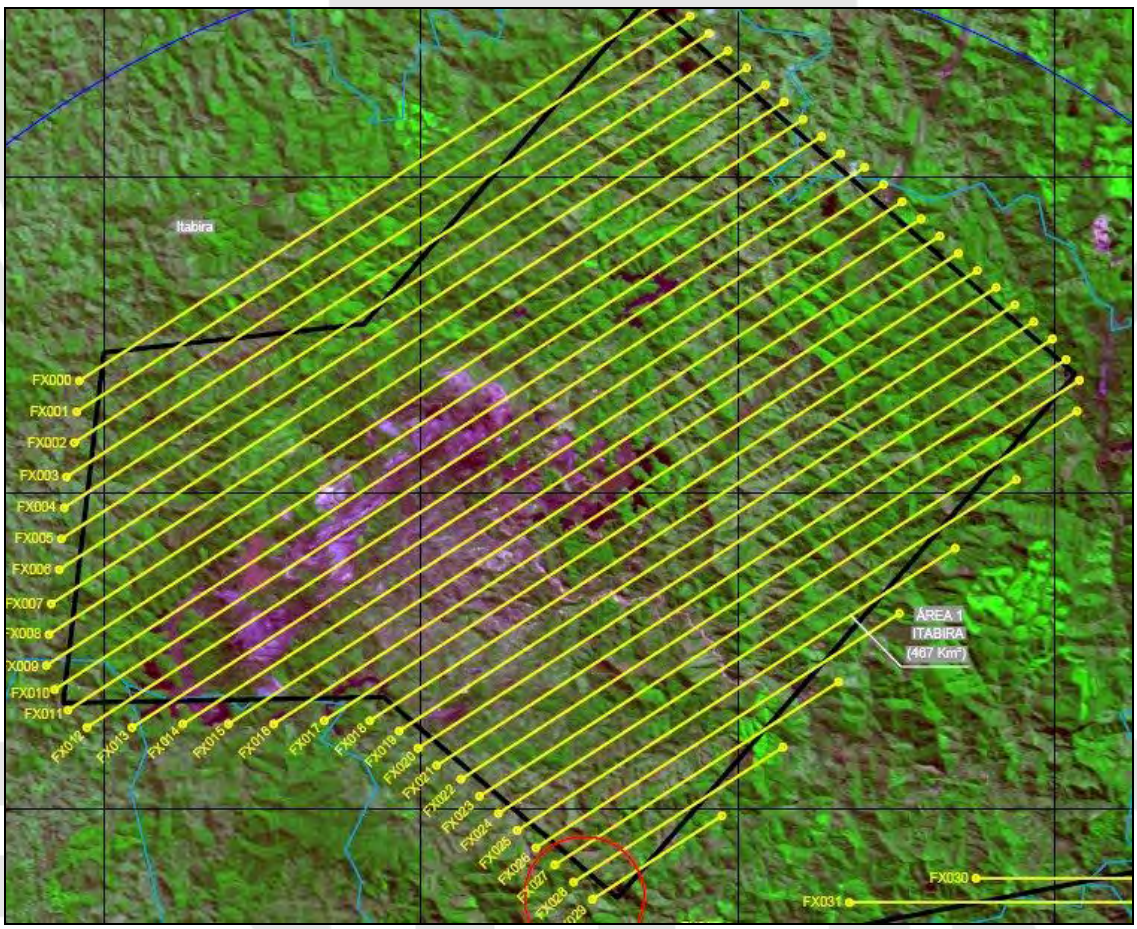
A fase de retificação (L1) consistiu em corrigir nas imagens os movimentos realizados pelo sensor durante o vôo. As imagens foram projetadas a um plano definido pela elevação média do terreno da área mapeada.

A retificação L1 foi realizada através de arquivos de posicionamento, atitude, e uma simplificação da orientação interior. Todos esses dados são oriundos do processamento GPS/IMU. A retificação L1 criou imagens particionadas até um limite de 4GB.

Nesta fase foram criadas as imagens coloridas através da composição das bandas RED, GREEN e BLUE. Após este processamento as imagens estavam orientadas com a precisão obtida no processamento GPS/IMU, e prontas para serem aerotriangluladas.

COBERTURA COM PERFILAMENTO A LASER

A cobertura com perfilamento a laser foi planejada conforme as especificações técnicas, contemplada por faixas de vôo de maneira a cobrir o limite de cada área.



Pano de vôo gráfico do Laser.

Todos os Direitos Reservados. Copyright 2007, ESTEIO Engenharia e Aerolevantamentos S.A.
Este conteúdo foi elaborado pelo corpo técnico da empresa. É vedado o uso comercial deste texto e sua reprodução, no todo ou em parte, sem a autorização expressa do autor e da empresa. Não são permitidas a reprodução nem a manutenção deste artigo em sites, páginas da web e assemelhados.

Processamento GPS

O processamento GPS é a primeira etapa a ser realizada após o perfilamento laser. As observações GPS da base e da aeronave, inicialmente são processadas de forma individual e em uma etapa posterior, concatenadas de modo a se obter uma solução cinemática única e ajustada ao sistema de coordenadas do projeto

As coordenadas da base de referência são fixadas e a correção é aplicada para cada um dos pontos coletados a cada meio segundo. O processamento é realizado utilizando as duas freqüências de forma a obter uma solução com a ambigüidade resolvida.

Obtêm-se duas soluções para cada vôo sendo uma direta e a outra inversa. Estas duas soluções são analisadas conjuntamente com os seus respectivos desvios padrão. A solução final do processamento cinemático é obtida a partir da combinação das soluções das duas direções processadas.

Após a obtenção do melhor resultado GPS, é possível traçar a melhor trajetória suavizada (SOL) para a solução cinemática de cada um dos vôos, através do programa da Leica IPAS PRO.

Uma vez tendo-se o SOL inicia-se o processamento armazenado pelo Sistema Inercial. Nesta etapa são utilizados parâmetros de calibração do equipamento, dados relativos ao tipo de terreno e cobertura vegetal, temperatura e pressão atmosférica e configurações do equipamento.

Separação

É a diferença entre os processamentos da trajetória direta e inversa. A solução ideal seria uma separação igual à zero, onde a solução da ambigüidade estaria determinada exatamente com o mesmo valor, para o processamento direto e inverso.

Este processo permite ter uma idéia geral da acuracidade que está sendo atingida no processamento. A avaliação deve ocorrer entre os limites de captação dos dados, fora destas áreas podem existir diferenças maiores devido à inicialização e finalização do vôo.

APOIO BÁSICO E SUPLEMENTAR

Planejamento

O planejamento do trabalho foi realizado a partir da necessidade de distribuição dos pontos da poligonal básica em função dos limites técnicos estabelecidos para o apoio ao vôo LASER, vôo fotogramétrico e apoio suplementar, complementado com uma visita a campo para identificação dos locais, reconhecimento dos vértices e RNs da rede fundamental IBGE.

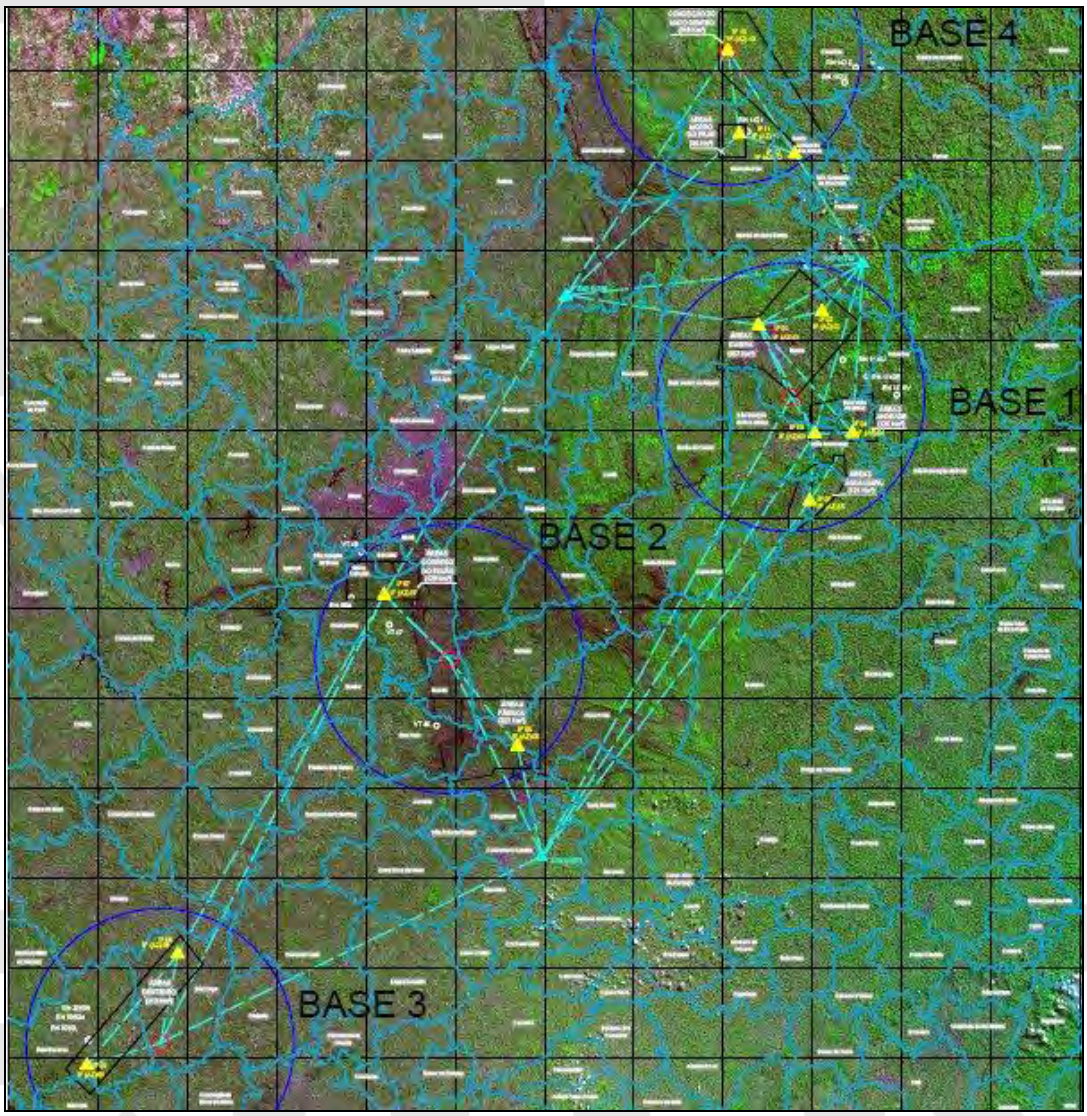
Todos os Direitos Reservados. Copyright 2007, ESTEIO Engenharia e Aerolevantamentos S.A.
Este conteúdo foi elaborado pelo corpo técnico da empresa. É vedado o uso comercial deste texto e sua reprodução, no todo ou em parte, sem a autorização expressa do autor e da empresa. Não são permitidas a reprodução nem a manutenção deste artigo em sites, páginas da web e assemelhados.

Transporte de coordenadas

Na etapa do planejamento, o objetivo principal foi escolher a melhor alternativa referente à utilização de vértices com coordenadas geodésicas referenciadas ao sistema utilizado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) a serem utilizados no transporte de coordenadas planialtimétricas.

Para isso foram utilizados os seguintes pontos:

- Pontos SAT IBGE
  91755, 91754, 91630
- Referencias de Nível
  Área 1 (Circuito 01): RN 1140J, RN 212J
  Área 2 (Circuito 02):RN 1139V, RN 1091B, RN 124T, RN 124X
  Área 3 (Circuito 03): RN 107F, RN 88M, VT 46, VT 47
  Área 4 (Circuito 04): RN 3050N e RN 3050M
  Área 5 (Circuito05):RN 142I, RN 142H e SAT 91630 (nivelado)



Esquema gráfico da rede vértices e marcos implantados

Todos os Direitos Reservados. Copyright 2007, ESTEIO Engenharia e Aerolevantamentos S.A.
Este conteúdo foi elaborado pelo corpo técnico da empresa. É vedado o uso comercial deste texto e sua reprodução, no todo ou em parte, sem a autorização expressa do autor e da empresa. Não são permitidas a reprodução nem a manutenção deste artigo em sites, páginas da web e assemelhados.

Rastreamento

Para a determinação das coordenadas planimétricas dos marcos da poligonal básica foi adotada a metodologia de posicionamento geodésico por satélites, sistema NAVSTAR-GPS, através do método estático, com a utilização de receptores SR 530, da Leica e Hiper, da Topcon, todos de dupla freqüência.

Poligonal Básica

Para a medição dos pontos da poligonal, foram utilizados 03 receptores SR 530 da Leica, de dupla freqüência, e 02 receptores Hiper da Topcon, operando no modo estático, durante um período mínimo de 2 horas e com pelo menos 05 satélites para distâncias de até 50 Km.

Formada por 27 pontos, denominados de IF 01 à IF 12 e seus respectivos azimutes, além das bases de apoio ao vôo de imageamento e levantamento laser, denominados de BL01 à BL 03.

A poligonal básica foi concluída, com a medição e processamento dos seguintes pontos:

- IF 01 ao IF 12 – RASTREADOS e NIVELADOS GEOMETRICAMENTE
- IF(az) 01 ao IF (az) 12 – RASTREADOS e NIVELADOS GEOMETRICAMENTE
- BL 01, BL 02 e BL 03 – BASE LASER e AEROFOTO – RASTREADOS e NIVELADOS GEOMETRICAMENTE

Processamento

Para o processamento dos dados obtidos, utilizou-se o software TGO 1.63 for Windows fornecido pela TRIMBLE-Navigation. Nesta etapa do processamento foram verificados a consistência dos vetores e seus respectivos fechamentos pelos dados de precisões apresentados pelo programa. Durante o processamento fixamos coordenadas de um dos pontos conhecidos, no sistema de referência WGS-84, datum original do sistema GPS, para verificarmos o fechamento da poligonal.

Ajustamento da Poligonal Básica

A programação inicial era realizar um único ajustamento de todos os pontos da rede, mas devido a diversos fatores alheios ao nosso planejamento foi realizado um primeiro ajuste dos pontos referente aos seguintes pontos: BL1, BL2, IF01, IF 01 (AZ), IF 02, IF 02 (AZ), IF 03, IF 03 (AZ), IF 04, IF 04 (AZ).

Este ajustamento permitiu iniciarmos o processamento dos produtos laser e a geração das ortofotos na área 1 (Itabira). Nas etapas subseqüentes as coordenadas dos pontos definidos no primeiro ajuste serão mantidas como fixas de forma a manter a homogeneidade de todos os produtos.

Todos os Direitos Reservados. Copyright 2007, ESTEIO Engenharia e Aerolevantamentos S.A.
Este conteúdo foi elaborado pelo corpo técnico da empresa. É vedado o uso comercial deste texto e sua reprodução, no todo ou em parte, sem a autorização expressa do autor e da empresa. Não são permitidas a reprodução nem a manutenção deste artigo em sites, páginas da web e assemelhados.

O segundo ajuste foi realizado para os seguintes pontos: BL1, BL2, BL3, IF01, IF 01 (AZ), IF 02, IF 02 (AZ), IF 03, IF 03 (AZ), IF 04, IF 04 (AZ), IF05, IF 05 (AZ), IF 06, IF 06 (AZ), IF 07, IF 07 (AZ), IF 08, IF 08 (AZ), IF09, IF 09 (AZ), IF 10 = BL 04, IF 10 (AZ), IF 11, IF 11 (AZ), IF 12, IF 12 (AZ), o que corresponde a todos os pontos da poligonal básica.

Para o ajustamento dos pontos da poligonal de transporte e os pontos da rede, fixou-se uma das coordenadas conhecidas (IBGE), e ao final do processamento, realizou-se a comparação com as coordenadas conhecidas do vértice (IBGE) de chegada da poligonal.

Como a diferença estava dentro da precisão estabelecida, fixou-se a coordenada de chegada e fez-se um novo ajustamento, distribuindo a eventual diferença para todos os pontos da poligonal.

Os resultados apresentados foram oriundos do ajustamento, fixando-se os vértices 91755, 91754 e 91630 e fixando-se a altimetria de todos os pontos, uma vez que todos foram nivelados. As coordenadas foram apresentadas no Datum oficial brasileiro SAD 69 (1996), seguindo-se os seguintes parâmetros:

- Datum planimétrico : SAD-69 (1996)
  Sistema UTM:
  Meridiano Central: 45º W (zona 23)
- Datum altimétrico: Marégrafo de Imbituba / SC

Modelo Geoidal

Visando melhorar os controles altimétricos do nivelamento geométrico e considerando que alguns circuitos contemplaram apenas o nivelamento de linhas singelas (partindo e chegando em RNs distintas), sem a realização do contra nivelamento, onde foram feitos controles com GPS. Sabendo-se que a ondulação geoidal na região deve ser levada em consideração, foi elaborado um mapa de ondulação geiodal local, o qual confirmou as diferenças encontradas e permitiu maior confiabilidade ao serviço de campo.

Controle de Qualidade Altimétrico do Levantamento Laser

O controle de qualidade altimétrico do levantamento dos dados laser foi realizado a partir da medição em campo de pontos de verificação com GPS, inicialmente planejados de forma a atender com um ponto cada 3 km² da área do projeto.

Em virtude da conformação do terreno e da cobertura vegetal, essa quantidade em algumas áreas ficou próxima do planejado. Todos os pontos são escolhidos com o critério de serem medidos diretamente no terreno, para a realização da estatística comparativa.

Todos os Direitos Reservados. Copyright 2007, ESTEIO Engenharia e Aerolevantamentos S.A.
Este conteúdo foi elaborado pelo corpo técnico da empresa. É vedado o uso comercial deste texto e sua reprodução, no todo ou em parte, sem a autorização expressa do autor e da empresa. Não são permitidas a reprodução nem a manutenção deste artigo em sites, páginas da web e assemelhados.

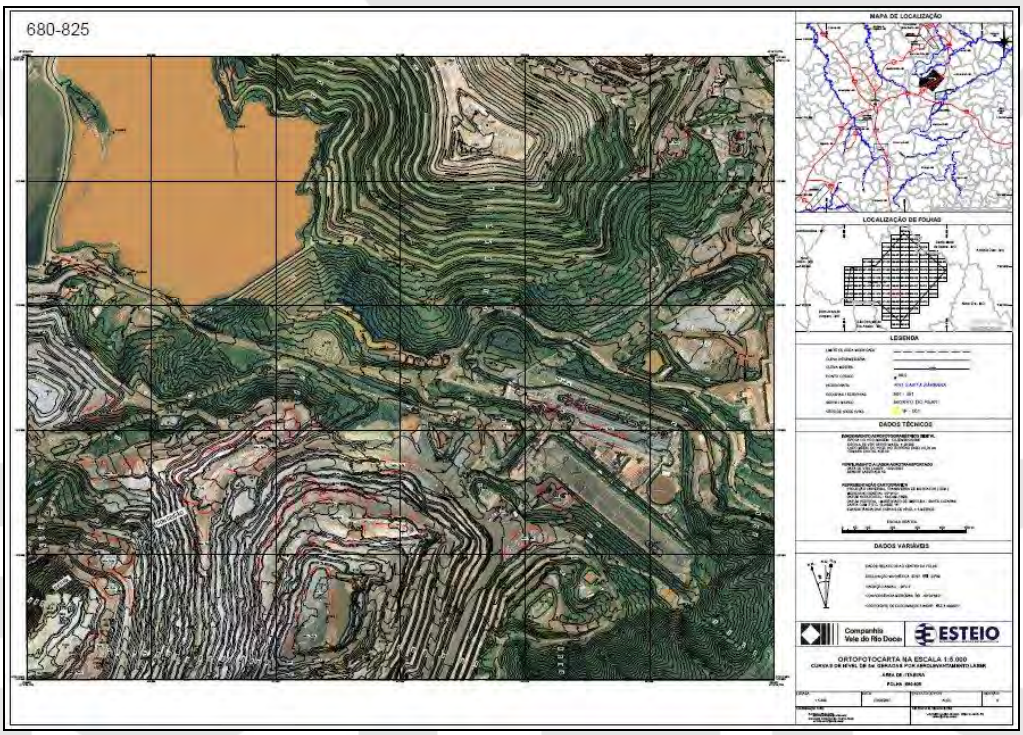
A verificação e comparação são feitas entre a modelagem do terreno (MDT) com os pontos laser e os pontos medidos em campo. Eventualmente, podem-se encontrar diferenças significativas, em virtude de pontos laser em regiões de campo, rochas e outros elementos que não estejam definidos precisamente na modelagem e/ou o ponto medido com GPS esteja mais bem definido em campo.

Segue abaixo um quadro estatístico dos resultados obtidos no mapeamento das áreas operacionais da CVRD. Foram medidos 521 pontos ao longo das áreas do projeto (1860 km²), sendo aproveitados para o controle de qualidade um total de 466 pontos de controle.

Quadro Estatístico de Controle de Qualidade Altimétrico							
Unidade	Área (km²)	Quantidade de Pontos	Diferença Mínima (m)	Diferença Média (m)	Diferença Máxima (m)	EMQ (m)	Desvio Padrão (m)
1	468	102	-0,746	0,081	0,684	0,351	0,343
2	136	42	-0,287	0,095	0,645	0,239	0,222
3	121	41	-0,430	-0,083	0,204	0,162	0,141
4	323	65	-0,133	0,418	0,738	0,443	0,145
5	139	42	-0,287	0,095	0,645	0,239	0,222
6	310	94	-0,511	0,252	0,878	0,415	0,332
7	318	73	-1,152	0,182	0,720	0,347	0,297
8	45	7	-0,226	0,089	0,420	0,236	0,237

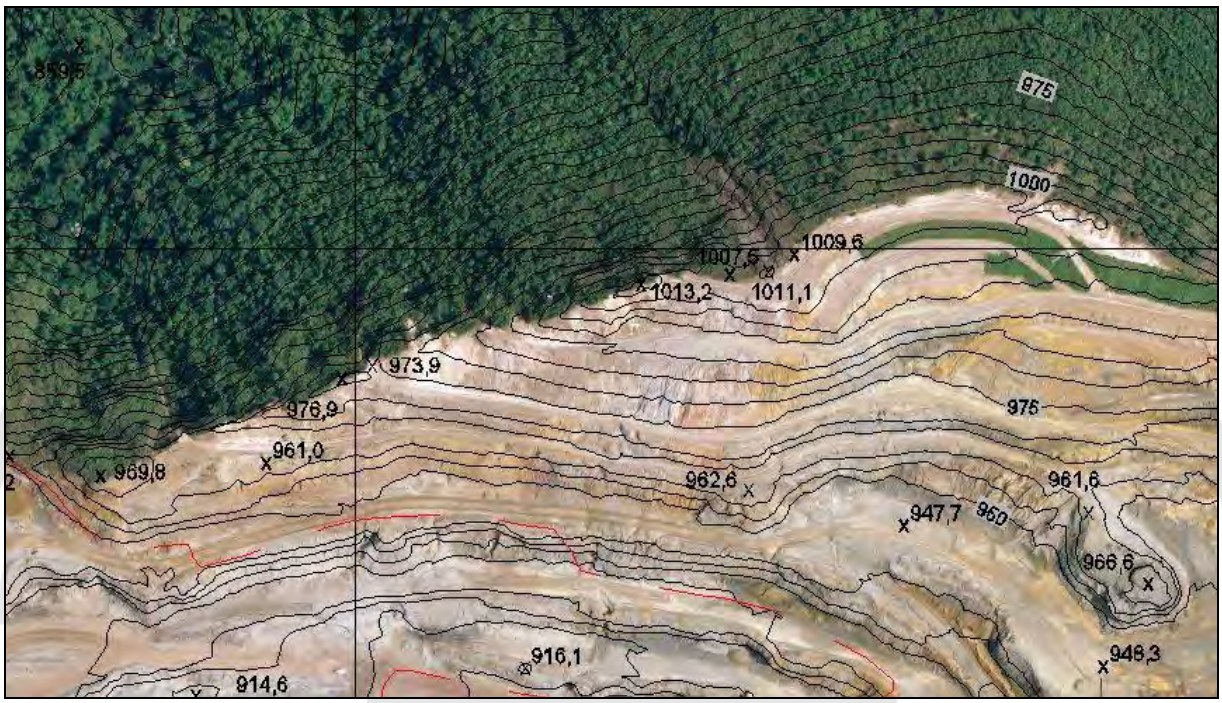
Produtos Finais

Os produtos finais contemplados neste serviços foram Imagens Aéreas Digitais, Ortofotocartas planialtimétricas na escala 1:5.000, com curvas de nível com eqüidistância de 5m, arquivos de pontos formadores do Modelo Digital do Terreno (MDT), arquivos de pontos formadores do Modelo Digital de Superfície (MDS), que define a cobertura do terreno (vegetação, edificações, entre outros), além de um conjunto de monografias dos vértices formadores da rede de apoio básico do serviço.

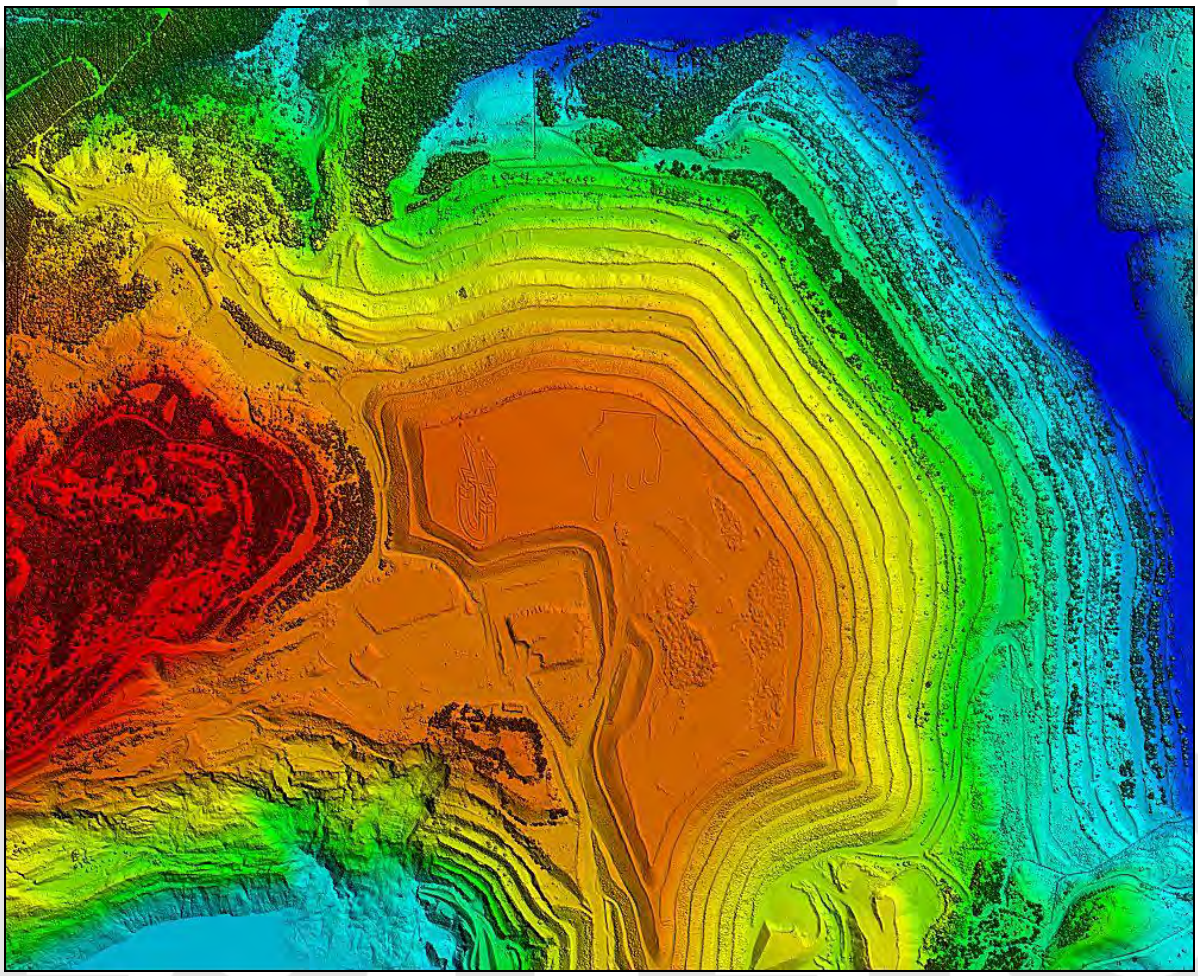


Exemplo de Ortofotocarta planialtimétrica

Todos os Direitos Reservados. Copyright 2007, ESTEIO Engenharia e Aerolevantamentos S.A.
Este conteúdo foi elaborado pelo corpo técnico da empresa. É vedado o uso comercial deste texto e sua reprodução, no todo ou em parte, sem a autorização expressa do autor e da empresa. Não são permitidas a reprodução nem a manutenção deste artigo em sites, páginas da web e assemelhados.



Detalhe da ortofotocarta planialtimétrica


Mapa hipsométrico correspondente ao MDS.

Márcio Miguel Tavares – Engenheiro Cartógrafo e Mestre em Geografia pela UFPR, responsável pela Coordenação de Serviços da empresa ESTEIO Engenharia e Aerolevantamentos S.A.

Todos os Direitos Reservados. Copyright 2007, ESTEIO Engenharia e Aerolevantamentos S.A.
Este conteúdo foi elaborado pelo corpo técnico da empresa. É vedado o uso comercial deste texto e sua reprodução, no todo ou em parte, sem a autorização expressa do autor e da empresa. Não são permitidas a reprodução nem a manutenção deste artigo em sites, páginas da web e assemelhados.