

## Controle de qualidade em aquisição de dados sísmico, gravimétrico e magnético em ambiente de selva

Manuelle Góis<sup>1\*</sup>, Thiago Gomes<sup>1</sup>, Anderlon Andrade<sup>1</sup>, Ariele Batistti<sup>1</sup>, Danusa Mayara<sup>1</sup>, Dayan Castro<sup>1</sup>, Fábio Tadeu<sup>1</sup>, Ian Balzana<sup>1</sup>, Michell Cardoso<sup>1</sup>, Joelson Batista<sup>2</sup>, Georadar Levantamentos Geofísicos S.A. <sup>12</sup>, Apresentador<sup>1\*</sup>

Copyright 2014, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no VI Simpósio Brasileiro de Geofísica, Porto Alegre, 14 a 16 de outubro de 2014. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do VI SimBGf, mas não necessariamente representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf.

### Abstract

Given the need to integrate information, establish acquisition processes, criteria and seismic, gravimetric and magnetic data validation flows, it is described the current situation of data Quality Control in the jungle environment, held in the Amazon Basin. Seismic data traces and gravimetric and magnetic readings were analyzed, with 85% of them meeting the quality criteria. Inherent adversities in the survey area were problems but did not prevent to acquire good quality data.

### Introdução

Dentre as principais etapas de aquisição de dados geofísicos o Controle de Qualidade (CQ) se faz indispensável durante todo o processo (pré, durante e pós-aquisição). A gestão dessas informações somado aos critérios de qualidade para aceite dos dados faz com que o dado adquirido possa seguir para as etapas de processamento com um alto grau de confiabilidade.

O gerenciamento do volume de informações constitui uma das principais dificuldades no processo de CQ. Atualmente a GEORADAR está desenvolvendo uma estrutura centralizada na qual as informações de todas as frentes operacionais estão sendo correlacionadas aos dados, mesma abordagem tratada por Poter (2000) no seu trabalho de otimização e gerenciamento de dados e *metadados* sísmicos.

O objetivo desse trabalho é apresentar o atual estado da arte da GEORADAR em CQ de dados sísmico, gravimétrico e magnético em ambiente de selva. Será apresentado o resultado do CQ em um dos programas realizados pela GEORADAR na Bacia do Amazonas. Foi realizado um levantamento 3D com média de aquisição diária de 300 Pontos de Tiro (PT) o que correspondia a aproximadamente 962.303 traços a serem analisados diariamente; 60 leituras de gravimetria e 60 de magnetometria. Os dados das frentes operacionais mais as informações prévias da área gerou um volume diário de informações que foi tratado pelos geofísicos e técnicos.

A correlação geoespacial dos dados com as características da área *versus* os problemas enfrentados durante a aquisição possibilitou o esclarecimento dos problemas diagnosticados ao longo do levantamento.

### Características do levantamento

O programa foi realizado na Bacia do Amazonas próximo aos Rios Amazonas, Uatumã e Urubu (Figura 03). A área levantamento é predominantemente de selva amazônica com zonas urbanas e regiões de transição. Destacam-se duas áreas antropizadas (o perímetro urbano e o Santuário de Itapiranga) na porção SE que, somadas aos corpos d'água contribuíram para a não materialização de algumas Estações Receptoras (ER) e PT (Figura 1). Essas características, em alguns momentos, dificultaram as operações e prejudicaram a qualidade dos dados.

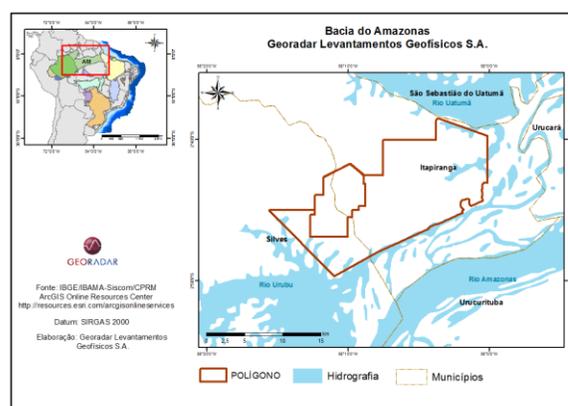


Figura 1 - Mapa de localização do programa

Os dados foram adquiridos de acordo com os parâmetros apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Resumo dos parâmetros dos programas sísmico, gravimétrico e magnético

LEVANTAMENTO SÍSMICO 3D	
SISTEMA DE REGISTROS	SERCEL 428 XL
NÚMERO DE CANAIS ATIVOS POR REGISTRO	ALL LIVE
COMPRIMENTO DO REGISTRO	6 s
INTERVALO DE AMOSTRAGEM	2 ms
ARRANJO DE CARGA	3 furos espaçados de 13,33 m
QUANTIDADE DE CARGA POR PT	0,75 kg por furo / 2,25 kg por PT
PROFUNDIDADE DA CARGA	2 m
TIPO DE GEÓFONE	SG-10 SERCEL (pântano e terra)
INTERVALO DE PT	40 m
INTERVALO DE ER	40 m
INTERVALO DE LT	200 m
INTERVALO DE LR	200 m
ÁREA DO LEVANTAMENTO	~ 238 km <sup>2</sup>
QUANTIDADE DE LT	95
QUANTIDADE DE LR	136
QUANTIDADE DE PT (previsto/realizado)	29.776/25.344
QUANTIDADE DE ER (prevista/realizada)	35.860/32.325
AZIMUTE LT	45°
AZIMUTE LR	135°
NÚMERO DE LR POR SWATH	16
NÚMERO DE PT POR SALVO	5
LINHA DE ROLAGEM	1
OFFSET MÍNIMO	22,17 m
OFFSET MÁXIMO	13.961,80 m
TAMANHO DA CELA	20 m x 20 m
ÁREA DA CELA	400 m <sup>2</sup>
MULTIPLICIDADE EM X	8
MULTIPLICIDADE EM Y	30
MULTIPLICIDADE TOTAL	240
NÚMERO MÍNIMO DE TRAÇOS POR SWATH	4.048
NÚMERO MÁXIMO DE TRAÇOS POR SWATH	111.262.970
LEVANTAMENTO GRAVIMÉTRICO	
EQUIPAMENTO DE LEVANTAMENTO	SCINTREX CG5
PRECISÃO DO GRAVÍMETRO	0,001 mGal
TAXA DE AMOSTRAGEM	200 m
QUANTIDADE DE LEITURAS (prevista/realizada)	6.542/5.539
FÓRMULA INTERNACIONAL DE GRAVIDADE	Ano 1980
GRADIENTE NORMAL DE GRAVIDADE	0,3086 mGal/m
DENSIDADE DE CORREÇÃO BOUGUER	2,67 g/cm <sup>3</sup>
LEVANTAMENTO MAGNÉTICO	
EQUIPAMENTO DE LEVANTAMENTO	GSM 19T GEM SYSTEM
PRECISÃO DO MAGNETÔMETRO	0,01 nT
TAXA DE AMOSTRAGEM	200 m
QUANTIDADE DE LEITURAS (prevista/realizada)	6.542/5.669
IGRF	MODELO WMM2010

### Processo de aquisição dos dados sísmicos

Partindo do desenho de aquisição (*pre-plot*) foram iniciados os trabalhos da frente de permissoria com liberação das áreas para início dos trabalhos topográficos. A topografia, responsável pelo levantamento geodésico, abertura de Linhas Receptoras (LR) e Linhas de Tiro (LT), materialização dos PT e ER repassou as informações para as frentes de perfuração (responsável pela sondagem dos furos) e carregamento (responsável pela inserção das cargas nos furos). Posteriormente, com as informações validadas entre as frentes de topografia, perfuração e carregamento fez-se o *script* e enviou-se para o sismógrafo.

Os dados sísmicos foram adquiridos com geometria *split-spread*, todas as ER que compunham a LR estavam ligadas e não existia rolagem *in-line*. Optou-se por essa metodologia de aquisição para minimizar as perdas de cobertura ao longo do levantamento uma vez que os corpos d'água e as áreas antrópicas impediam a

materialização das ER e por consequência uma redução do número de traços por ER.

### Crítérios de validação dos registros sísmicos

Adotou-se como critérios de validação para aceitação dos dados que os traços que compunham um PT não poderiam ter:

- Mais de 10% do *spread* ativo com ruído ambiental (RA) maior que 8  $\mu$ V;
- Mais de 10% do *spread* ativo com problema de traços irregulares;
- Os problemas de sensores (*tilt*, *leakage* e *resistance*) não poderiam ser superiores a 2% do *spread* ativo; e
- Traços com amplitude "zero", denominadas "mortos", não poderiam ser superiores a 2% do *spread* ativo.

Os traços foram analisados segundo critérios de qualidade listados abaixo e classificados de acordo com o resultado destas análises (Figura 2).

- **Traços com Ruído Ambiental (RA)** – Calculou-se o valor da Amplitude *Root Mean Square (RMS)* acima da primeira chegada e classificou-se os traços como problemáticos aqueles com nível de RA acima de 8  $\mu$ V.
- **Traços com Problemas de Sensores:**
  - **Leakage** – Teste utilizado para medir a resistência de fuga global entre o canal e o meio, o valor limite para o teste de fuga era de 5 M $\Omega$ .
  - **Tilt** – Teste utilizado para verificar a inclinação dos sensores, o valor limite era de 5%, caso o valor fosse diferente era considerado falha no sensor.
  - **Resistance** – Teste utilizado para medir a resistência do sensor sísmico conectado na entrada do canal. Para o arranjo de geofones praticado na aquisição o valor referência esperado era de 500  $\Omega$  a 550  $\Omega$ , caso o valor fosse diferente acusava-se problema de resistência.
- **Traços "Mortos"** - Amplitude RMS igual à zero.
- **Traços Irregulares** – canais com amplitude anômala, frequência maior que 60 Hz e nível de ruído excessivo abaixo da primeira chegada.

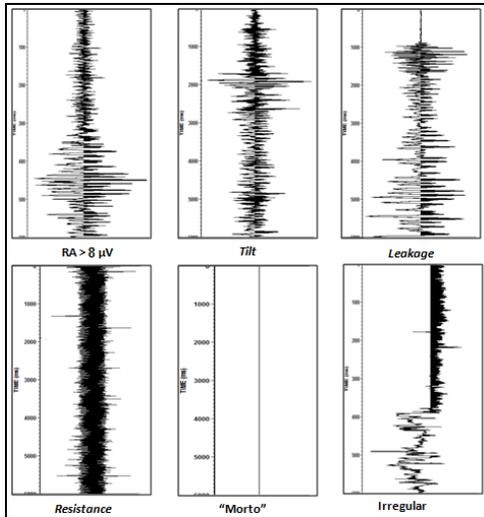


Figura 2 - Análise de traços problemáticos

Após a análise dos traços sumarizou-se o conjunto de informações para validar o PT. Considerou-se PT válido aquele que atendeu a todos os critérios de qualidade pré-estabelecidos. Os que não atendiam eram refeitos ou retirados pelo CQ (Figura 3).

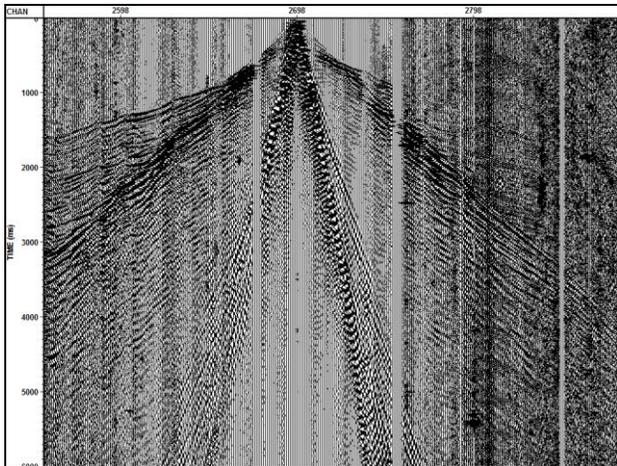


Figura 3 - Exemplo de registro com problemas de RA, sensores, traços "mortos" e irregulares

### Fluxo de validação dos dados sísmicos

O processo de validação iniciava com a chegada dos dados e documentos compostos por:

- Dados em formato *SEG-D* revisão 2.1 (padrão *Society of Exploration Geophysicists (SEG)*);
- Relatório do Observador (ROB);
- Testes Diários;
- Arquivos *Shell Processing Support Positioning Data Format (SPS)*;
- Testes de Ruído; e
- Relatório de Estações "Mortas" e Agrupadas.

Os dados em formato *SEG-D* eram convertidos para formato *SEG-Y* utilizando o programa *VISTA 2D-3D SEISMIC PROCESSING 12.0* (GEDCO). Dessa forma, era possível confrontar as informações da documentação com o dado. Nesta etapa eram verificados:

- Quantidade de registros;
- Numeração dos registros;
- Comprimento dos registros;
- Canais auxiliares;
- Estações "mortas" (amplitude zero);
- Estações ruidosas - "Sopros";
- Nível de Ruído Ambiental;
- Problemas de sensores (*tilt*, *leakage* e *resistance*);
- Primeiras chegadas;
- Existência de traços com polaridade invertida;
- Problemas de geometria; e
- Conteúdo de frequência.

Após a validação dos registros seguia-se com a elaboração do resumo da aquisição com o percentual dos traços problemáticos para cada PT validado e a confecção do mapa de cobertura para análise. Na sequência iniciava-se o pré-processamento dos dados, resultando no *SEG-Y* final.

### Processo de aquisição dos dados gravimétricos

O levantamento foi realizado nas LR e parte em Linhas de Controle (LC) a cada 200 m. As medidas foram feitas posteriormente a liberação das linhas pela topografia e anteriormente ao espalhamento do material sismográfico pela sismografia. Os gravímetros foram calibrados no circuito Rio de Janeiro - Pico das Agulhas Negras.

A primeira etapa da aquisição gravimétrica consistiu na implantação da base gravimétrica (ponto onde a Gravidade Absoluta era definida). Essa base era utilizada para abertura e fechamento dos circuitos gravimétricos dos dados que foram adquiridos em campo. Utilizou-se como G de referência o valor da base de Manaus homologado e cadastrado na Rede Gravimétrica Fundamental Brasileira (RGFB) mantida pelo Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE).

Por questões técnicas e de logística optou-se para o transporte de base pelo circuito: Manaus → Lindóia → Base GEORADAR em Itacoatiara → Igreja Itacoatiara → Sub-base → Silves → Itapiranga → Base GEORADAR em Itacoatiara → Base Uruará → Igreja Uruará → Igreja São Sebastião do Uatumã → Igreja Uruará → Base Uruará.

De modo a garantir a qualidade do transporte de base, os circuitos foram feitos em menos de 48 horas e, caso a deriva instrumental ultrapassasse 0,5 mGal (diferença entre abertura e fechamento) o transporte de base era refeito.

Antes de se executar as medidas, os gravímetros seguiam a rotina de:

- Calibração dos eixos;
- Teste de sensibilidade; e
- Aferição da deriva instrumental.

Para garantir a qualidade dos dados efetuados no transporte de base, cada leitura com o gravímetro CG-5 era lida 3 vezes com ciclos de 60 segundos.

Como resultado do transporte de base obteve-se um valor absoluto - G observado de 978002,760 mGal para a base gravimétrica de Itapiranga.

#### **Critérios de validação das leituras gravimétricas**

Depois de estabelecida as bases gravimétricas, os dados em campo eram adquiridos utilizando os seguintes critérios:

- Teste de sensibilidade diário antes da abertura e fechamento dos circuitos;
- Circuitos menores que 48 horas;
- Diferença entre abertura e fechamento não poderia ultrapassar 0,5 mGal em 48 horas; e
- Dados com erros de leitura causado por falha do gravímetro e ou causado por instabilidade no nivelamento eram recusados.

#### **Fluxo de validação das leituras gravimétricas**

O processo de validação dos dados gravimétricos seguiu as seguintes etapas:

- Verificação da produção diária;
- Cruzamento das informações gravimétricas com os dados topográficos (coordenadas e elevação das estações adquiridas);
- Redução dos dados gravimétricos;
- Verificação dos perfis gravimétricos: Identificação, análise e remoção de ruídos, caso existisse;
- Concatenação diária dos dados: criação de banco de dados único;
- Avaliação de altas frequências;
- Comparação com dados regionais pré-existentes (públicos); e
- Acompanhamento prévio dos resultados das anomalias Ar livre e Bouguer.

Finalizado essas etapas era iniciado o processamento dos dados para elaboração dos perfis e mapas (produtos finais).

#### **Processo de aquisição dos dados magnéticos**

O levantamento foi realizado nas LR e parte em Linhas de Controle (LC) a cada 200 m. As medidas foram feitas posteriormente a liberação das linhas pela topografia e anteriormente ao espalhamento do material sismográfico pela sismografia.

Para a aquisição magnetométrica a primeira etapa consistiu na implantação da base magnética – local

estabelecido para monitoramento da variação diurna do campo magnético. Este local atendeu os seguintes critérios:

- Distante no mínimo 200 m de linhas de transmissão de energia, heliportos e ou helipontos, aeroportos e estradas;
- Local sem trânsito de pessoas; e
- Realização de testes diários com mais de um magnetômetro, de modo a verificar possíveis interferências.

A base magnética executava, diariamente, leituras com intervalo de 4 segundos entre as medidas. Este procedimento tinha como objetivo fazer a correção diurna dos dados magnéticos medidos em campo e também identificar possíveis tempestades magnéticas que inviabilizavam a utilização dos dados adquiridos em campo.

#### **Critérios de validação das leituras magnéticas**

Depois de implementada a base, a aquisição dos dados em campo seguiu a rotina de:

- Verificação e sincronização dos parâmetros de data e hora entre os magnetômetros base e móvel;
- Configuração do magnetômetro base: *set* de leituras por 4 segundos;
- Configuração do magnetômetro móvel: *set* de leituras por ponto: 5 leituras; e
- Teste de *background* nos magnetômetros: verificação do posicionamento da bobina.

#### **Fluxo de validação das leituras magnéticas**

O processo de validação dos dados magnéticos seguiu as etapas de:

- Verificação da produção diária (magnetômetros móvel e base);
- Validação dos dados do magnetômetro base: Caso identificada tempestade magnética a produção do dia era reprovada sendo necessário adquirir os dados novamente;
- A variação das leituras do magnetômetro base não poderia exceder mais do que 50 nT por minuto;
- Cruzamento das informações magnéticas com os dados topográficos (coordenadas e elevação das estações adquiridas);
- Correção diurna dos dados magnéticos;
- Verificação dos perfis: Identificação, análise e remoção de ruídos, caso existisse; e
- Concatenação diária dos dados: criação de banco de dados único.

Finalizado essas etapas era iniciado o processamento dos dados para elaboração dos perfis e mapas (produtos finais).

## Resultados

O programa computou 25.344 PT válidos e 4.432 PT foram classificados como *skips*, cancelados e retirados pelo CQ. Isso significa que mais de 85% de PT atenderam os critérios de qualidade pré-estabelecidos.

Para as ER 32.325 foram locadas em campo, o equivalente a 90,14%. Para as leituras de gravimetria e magnetometria foi previsto 6.542, computaram-se 5.539 e 5.669 correspondente a 84,68% e 86,66% de leituras válidas, respectivamente.

Os PT, as ER e as leituras não validadas ou que não puderam ser materializados correlacionaram-se as regiões: Santuário; perímetro urbano de Itapiranga; influência dos corpos d'água; linha de transmissão; áreas de pastagem; descampados e movimentação de animais.

Do ponto de vista da análise dos traços mapearam-se os dados conforme a Figura 4-a e Figura 4-b. Os problemas de sensores correlacionados à resistência (*resistance*) resultou em 230 ER associados a acessos e áreas de pastos. Os problemas de corrente de fuga (*leakage*) resultou em 50 ER relacionados às áreas alagadas do programa. Os problemas relativos à inclinação dos sensores (*tilt*) somou 53 ER dispersos ao longo do levantamento associados em alguns pontos com os corpos d'água e regiões íngremes. Todos esses problemas representaram mais de 10 % de traços problemáticos.

No mapeamento do RA diagnosticou-se 1.783 ER com mais de 10 % de traços com ruído ambiental maior 8  $\mu$ V. Observou-se um comportamento dispersivo do problema para algumas regiões do programa e uma maior concentração nas proximidades da linha de transmissão (Figura 4-a e Figura 4-b).

Para as ER com amplitude *RMS* igual a zero computou-se 1.857, denominadas "mortas", que correspondiam a ER com mais de 2% de traços "mortos", observou-se maior concentração nas porções leste, oeste e SW associados à corpos d'água, zonas antrópicas e aquisição em períodos de chuva (Figura 4-a e Figura 4-b).

Diagnosticou-se 3.096 ER com mais de 10% de traços com problema de conteúdo de frequência; amplitude anômala e ruído abaixo da primeira chegada, denominados de Irregulares. Os problemas concentraram-se nas porções norte, oeste, sul e SW e, foram associados à regiões de maior atividade agrícola e áreas antropizadas (Figura 4-a e Figura 4-b).

Os resultados da aquisição dos dados gravimétricos e magnéticos foram fortemente influenciados pelo período chuvoso e por zonas alagadas (rios e igarapés) que impossibilitaram o acesso ao local previsto para execução da base de leituras (Figura 4-c e Figura 4-d).

O programa foi realizado 60% em período de chuva, em uma área com variações de altimetria de 90 m na porção NW a 45 m nas porções NE e SW (Figura 4-e). Quanto ao uso e ocupação do solo na porção NW tem-se uma área com menos de 10% de atividades agrícolas e nas

demais porções do programa essa atividade é de 25% (Figura 4-f).

## Conclusões

Da área prevista para o levantamento ao final da aquisição computou-se 98,82% de área realizada. Em geral os problemas mapeados nos traços das ER não invalidaram os dados do ponto de vista da qualidade tampouco do conteúdo geofísico. O percentual de dados válidos para o levantamento sísmico, gravimétrico e magnético foi da ordem de 85% evidenciando o atendimento aos critérios de qualidade.

Destaca-se que, os percentuais correspondentes a traços com problemas de sensores (*resistance*, *leakage* e *tilt*) não ultrapassaram 1% para os 136 *swaths* que compuseram o levantamento. O nível de RA ao longo de todo o levantamento foi de 1,5  $\mu$ V a 8  $\mu$ V, resultando em um RA médio de 4  $\mu$ V. Os traços considerados irregulares com problemas de conteúdo de frequência; amplitude anômala e ruído abaixo da primeira chegada tiveram seus percentuais médios em torno de 4% para os *swaths*. Os traços "mortos" tiveram um percentual médio de 2,5% para os *swaths*, exceto os casos que cruzavam o Santuário e a cidade de Itapiranga que chegou a 25%.

Os diagnósticos feitos no processo de validação dos dados corroboraram para que os resultados geofísicos originados desse levantamento tivesse uma excelente qualidade.

Em suma às adversidades naturais (ventos, raios, trovões, tempestades magnéticas; rios, igarapés, roedores e fortes chuvas) associada às antrópicas (estradas; trânsito de pessoas e veículos; acessos; casas; linhas de transmissão; movimentação de animais e áreas proibitivas para execução dos levantamentos) constituíram empecilho mas, não impossibilitaram a aquisição de dados sísmicos, gravimétricos e magnéticos com qualidade em ambiente de selva.

## Agradecimentos

Os autores expressam seus agradecimentos a GEORADAR Levantamentos Geofísicos S.A. pela oportunidade de desenvolver suas potencialidades e publicar este trabalho. Em especial aos profissionais que já trabalharam na empresa e ao corpo técnico atual: José Bruno, Ítalo Borja e José Lázaro – Técnicos e Auxiliares Geofísicos; Karla Cabral - Geodésia; Verônica Torres e Daiane Florencio - Georreferenciamento; Douglas Lasmar e Ricardo Barcelos - Engenheiros e José Nilson – Gerência de Projetos.

## Referências

Chidwick, J. (1996) Seismic data management systems: Issues and advantages. SEG Technical Program Expanded Abstracts 1996: pp. 993-996.

GEORADAR, Levantamentos Geofísicos S.A. Relatórios Técnicos, 2014, 2013 e 2012.

Porter, T. (2000). Seismic metadata management: Optimization with GIS. *The Leading Edge*, 19(2), 204–206. doi: 10.1190/1.1438578.

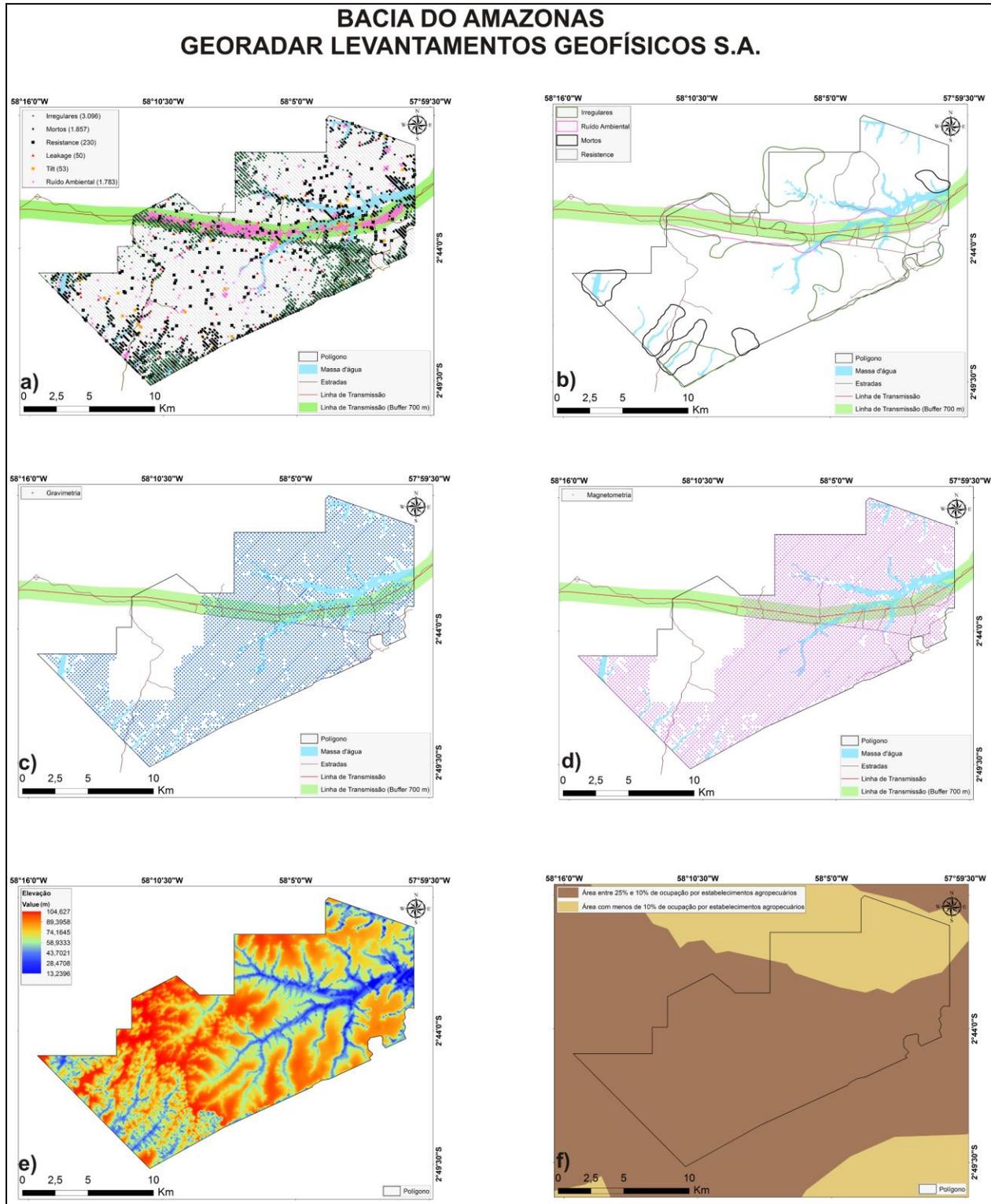


Figura 4 - Resultados do Controle de Qualidade