8 MAGNETOMETRIA

8.1 Fundamentos teóricos

A princípio, o método magnético não tem um papel preponderante na exploração da água subterrânea, no entanto, pode ser muito útil em um importante número de casos. Por exemplo, permite estimular a distribuição de uma base cristalina impermeável por baixo de um pacote de sedimentos, o que facilita o mapeio, no caso do SAG, da distribuição dos derramamentos basálticos ou a localização de falhas ou diques que possam ter um papel relevante como reservatórios de caráter hidrológico.

O campo magnético terrestre, esquematizado na figura 63, pode ser representado localmente por um vetor, isto é, o vetor, o de campo total *F* o um de seus componentes horizontal *H* o vertical *Z* (figura 64).

8 MAGNETOMETRÍA

8.1 Fundamentos teóricos

En principio, el método magnético no juega un papel preponderante en la exploración de agua subterránea, sin embargo puede ser muy útil en un número importante de casos. Por ejemplo, permite estimar la distribución de un basamento cristalino impermeable debajo de un paquete de sedimentos, o facilita el mapeo, en el caso del SAG, de la distribución de los derrames basálticos o la localización de fallas o diques que puedan jugar un papel relevante como reservorios de carácter hidrológico.

*El campo magnético terrestre, esquematizado en la **Figura 63** puede ser representado localmente por un vector, es decir, el vector de campo total F o una de sus componentes horizontal H o vertical Z (**Figura 64**).*

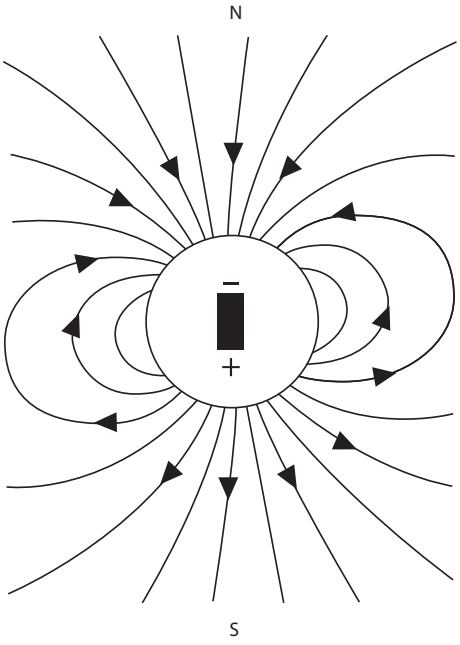


Figura 63.-
Campo magnético terrestre produzido por um dipolo magnético.

Figura 63.-
Campo magnético terrestre producido por un dipolo magnético.

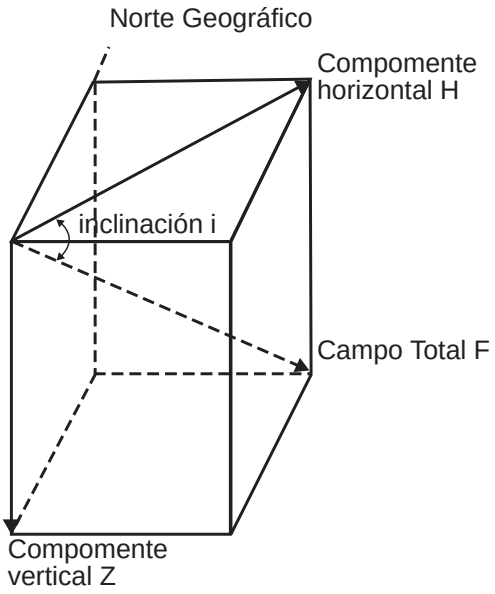


Figura 64.-
Componentes do vetor de campo magnético em um ponto da superfície terrestre.

Figura 64.-
Componentes del vector de campo magnético en un punto de la superficie terrestre.

A prospecção magnética se baseia na análise das anomalias magnéticas, que são aquelas decorrentes da distorção local do campo terrestre, que modifica a direção e a magnitude do vetor que representa localmente o campo. Estas anomalias são produzidas pela presença no subsolo de corpos com conteúdo de magnetita, um mineral comum na natureza. Para as anomalias magnéticas induzidas, a inclinação do campo no lugar determina as características da distorção do campo. Para as anomalias remanescentes, estas características dependem mais da inclinação do campo remanescentes de outras épocas geológicas, que ficaram gravadas nas rochas de modo permanente. A forma das anomalias, então, depende, por um lado, da inclinação do campo, atual ou passado, e, por outro, da posição, das dimensões, da forma e da natureza dos corpos anômalos.

As unidades utilizadas na exploração geofísica para medir a intensidade do campo *F* são o gama (γ) e o nanotesla (nT). Estas são iguais entre si e são equivalentes a 10^{-5} oersted. Um

La prospección magnética se basa en el análisis de las anomalías magnéticas, que son aquellas debidas a la distorsión local del campo terrestre que modifica la dirección y magnitud del vector que representa localmente el campo. Estas anomalías son producidas por la presencia en el subsuelo, de cuerpos con contenido de magnetita, un mineral común en la naturaleza. Para las anomalías magnéticas inducidas, la inclinación del campo en el lugar determina las características de la distorsión del campo. Para las anomalías remanentes estas características dependen más de la inclinación del campo remanente de otras épocas geológicas que ha quedado grabado en las rocas de manera permanente. La forma de las anomalías entonces depende, por una parte de la inclinación del campo, actual o pasado, y por otra de la posición, las dimensiones, de la forma y la naturaleza de los cuerpos anómalos.

Las unidades utilizadas en la exploración geofísica para medir la intensidad del campo F son el gamma (γ) y el nanotesla (nT). Estas son iguales entre sí y son equivalentes a 10^{-5} oersted.

oersted é a intensidade do campo em um ponto onde se exerce uma força de um dina sobre um polo magnético unitário. A intensidade do campo magnético terrestre é em média igual a 30,000 γ no Equador e 60,000. γ nos polos (Figura 65).

*Un oersted es la intensidad del campo en un punto en donde se ejerce una fuerza de un dina sobre un polo magnético unitario. La intensidad del campo magnético terrestre es en promedio igual a 30,000 γ en el ecuador y 60,000. γ en los polos (**Figura 65**).*

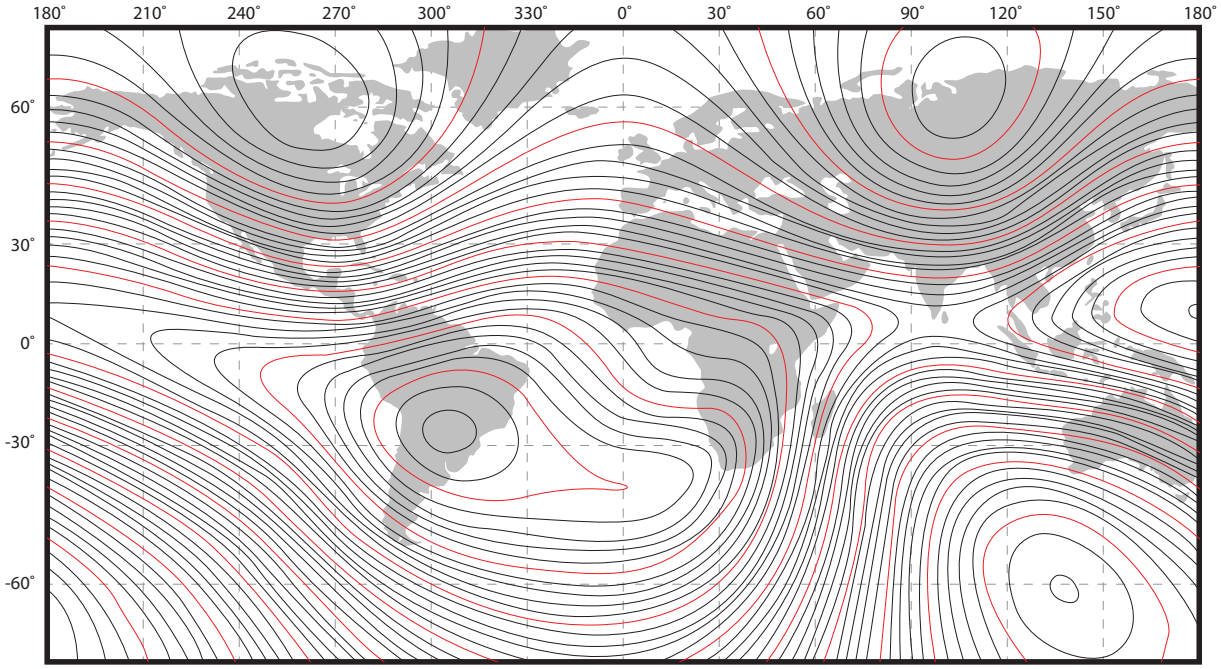


Figura 65.-
Linhas de igual intensidade de campo magnético terrestre.

Figura 65.-
Líneas de igual intensidad de campo magnético terrestre.

8.2 Variações do campo magnético terrestre

Quando a suscetibilidade magnética das rochas subjacentes é considerada nula ou constante, o campo magnético na superfície da Terra varia muito pouco. As variações do campo magnético terrestre com a latitude em uma área confinada (algumas centenas de quilômetros quadrados) são desprezíveis. Quanto à altitude, apenas varia 0.03 nT por cada metro nos polos, e a metade desta quantidade, no Equador, o que faz com que não sejam consideradas estas variações no cálculo das anomalias magnéticas. As variações mais importantes do campo magnético terrestre são de caráter temporal. Estas são as seguintes:

8.2 Variaciones del campo magnético terrestre

Si la susceptibilidad magnética de las rocas subyacentes se considera nula o constante, el campo magnético en la superficie de la tierra varía muy poco. Las variaciones del campo magnético terrestre con la latitud en una zona confinada (algunas centenas de kilómetros cuadrados) son despreciables. En cuanto a la altitud apenas varía 0.03 nT por cada metro en los polos, y la mitad de esta cantidad en el ecuador, lo cual hace que no se consideren estas variaciones en el cálculo de las anomalías magnéticas. Las variaciones más importantes del campo magnético terrestre son de carácter temporal. Estas son las siguientes:

a) A variação secular com valores de dezenas de nT ao ano. Em alguns lugares atinge até 150 nT/ano e de 6 a 10 minutos/ano para a declinação e a inclinação magnética.
b) As variações periódicas, com períodos de 12 horas, um dia, 27 dias, 6 meses e 1 ano. Estas variações podem chegar a ter valores de até 100 nT.
c) As variações não periódicas, associadas às tempestades magnéticas, com flutuações de até 500 nT.
d) As pulsações magnéticas que são variações com períodos muito curtos e amplitudes muito pequenas.

As variações diurnas (figura 66) são as mais importantes do ponto de vista da exploração magnética, e o que se deve ter em conta durante o processamento dos dados.

a) La variación secular con valores de decenas de nT al año. En algunos sitios alcanza hasta 150 nT/año y de 6 a 10 minutos/año para la declinación e inclinación magnética.
b) Las variaciones periódicas, con periodos de doce horas, un día, veintisiete días, seis meses, y un año. Estas variaciones pueden llegar a tener valores de hasta 100 nT.
c) Las variaciones no periódicas, asociadas a las tormentas magnéticas, con fluctuaciones de hasta 500 nT.
d) Las pulsaciones magnéticas que son variaciones con periodos muy cortos y amplitudes muy pequeñas.

*Las variaciones diurnas (**Figura 66**) son las más importantes desde el punto de vista de la exploración magnética, por lo que se deben de tener en cuenta durante le procesamiento de los datos.*

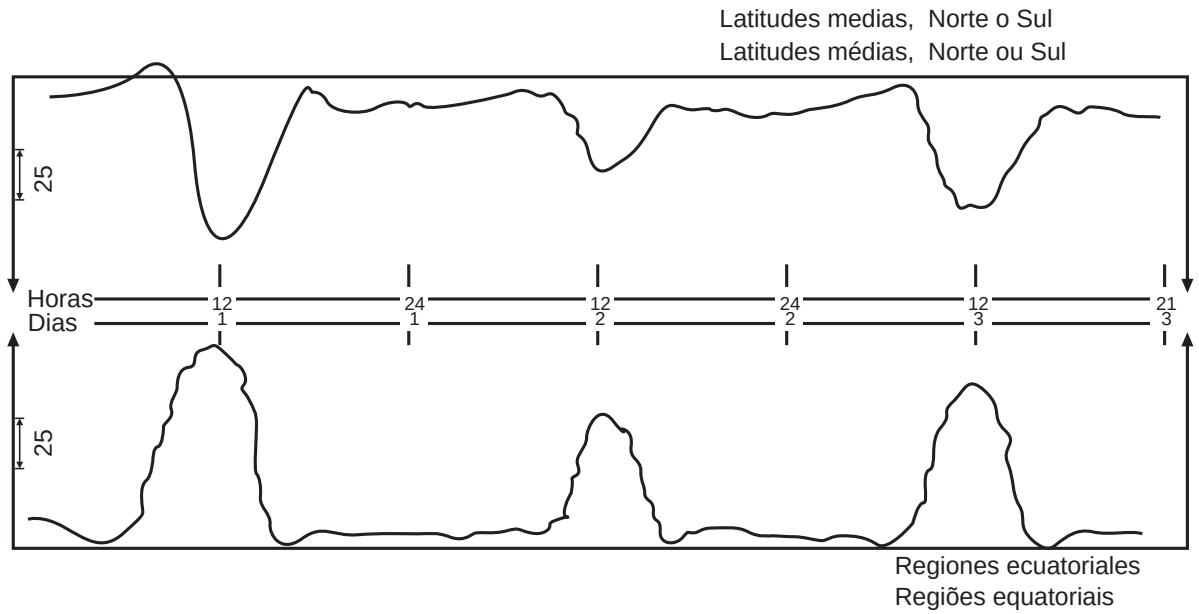


Figura 66.-
Exemplos de registro da variação diurna do campo magnético.

Figura 66.-
Ejemplos de registro de la variación diurna del campo magnético.

8.3 Propriedades magnéticas das rochas

As rochas que produzem anomalias magnéticas são aquelas que diferem das rochas encaixantes

8.3 Propiedades magnéticas de las rocas

Las rocas que producen anomalías magnéticas son aquellas que difieren de las rocas encajonantes

pela sua intensidade de magnetização *I*. Esta propriedade pode ser descrita como a faculdade de um material para polarizar-se magneticamente sob a influência de um campo *F*. Quando o campo magnético exterior é fraco, por exemplo, o campo terrestre, a intensidade de magnetização *I*, ou seja, a magnetização por unidade de superfície é proporcional ao campo se o campo é normal à superfície do corpo. Isto é:

$$I = \kappa \, . \, F \qquad (118)$$

onde κ é a suscetibilidade magnética. Este parâmetro é essencial para a prospecção em decorrência de que permite caracterizar certas famílias de minerais ou de rochas; κ é positiva para os corpos paramagnéticos, zero no vácuo, e negativo ou muito fraco para os minerais diamagnéticos. A suscetibilidade magnética das rochas depende principalmente do seu conteúdo de magnetita. De fato, esta pode variar consideravelmente dentro de uma mesma família petrográfica. Alguns valores médios experimentais em unidades c.g.s. x 10^6 são os seguintes:

Tipo de Rocha	κ x 106
Rochas básicas	2,600
Rochas ígneas ácidas	680
Rochas metamórficas	350
Rochas sedimentares	20
Magnetita	500,000
Pirrotita	125,000
Ilmenita	125,000
Quartzo	0

Tabela 10.-
Valores médio de suscetibilidades magnéticas de rochas.

Como se pode observar, certas famílias de rochas diferem notavelmente nas suscetibilidades magnética e, consequentemente, na intensidade de magnetização sob o campo terrestre.

por su intensidad de magnetización I. Esta propiedad se puede describir como la facultad de un material para polarizarse magnéticamente bajo la influencia de un campo exterior F. Cuando el campo magnético exterior es débil, por ejemplo el campo terrestre, la intensidad de magnetización I, o sea la magnetización por unidad de superficie, es proporcional al campo si el campo es normal a la superficie del cuerpo. Es decir:

$$I = \kappa \, . \, F \qquad (118)$$

en donde κ es la susceptibilidad magnética. Este parámetro es esencial para la prospección debido a que permite caracterizar ciertas familias de minerales o de rocas; κ es positiva para los cuerpos paramagnéticos, cero en el vacío, y negativo o muy débil para los minerales diamagnéticos. La susceptibilidad magnética de las rocas depende principalmente de su contenido de magnetita. De hecho esta puede variar fuertemente dentro de una misma familia petrográfica. Algunos valores medios experimentales en unidades c.g.s. x 10^6 son los siguientes:

Tipo de Roca	κ *x 106*
Rocas básicas	2,600
Rocas ígneas ácidas	680
Rocas metamórficas	350
Rocas sedimentarias	20
Magnetita	500,000
Pirrotita	125,000
Ilmenita	125,000
Cuarzo	0

Tabla 10.-
Valores promedio de susceptibilidades magnéticas de rocas.

Como se puede observar, ciertas familias de rocas difieren notablemente en la susceptibilidad magnética y, en consecuencia, en la intensidad de magnetización bajo el campo terrestre.

8.4 Deformação do campo sob a influência de um corpo anômalo

Os minerais e as rochas magnéticas se polarizam sob o efeito do campo terrestre, magnetizam-se e perturbam o campo magnético nos seus arredores. A figura 67 representa a anomalia que pode produzir na superfície do terreno em corpo da figura 68. Por definição, diz-se que a anomalia é positiva quando a soma vetorial do campo terrestre (campo indutor), mas o campo secundário (campo induzido) é maior que o campo normal. No entanto, se diz que a anomalia é negativa quando o vetor resultante é menor que o vetor que representa o campo terrestre normal do lugar.

8.4 Deformación del campo bajo la influencia de un cuerpo anómalo

*Los minerales y las rocas magnéticas se polarizan bajo el efecto del campo terrestre, se magnetizan y perturban el campo magnético en sus alrededores. La **Figura 67** representa la anomalía que puede producir en la superficie del terreno en cuerpo de la **Figura 68**. Por definición, se dice que la anomalía es positiva cuando la suma vectorial del campo terrestre (campo inductor) mas el campo secundario (campo inducido) es mayor que el campo normal. Por otro lado, se dice que la anomalía es negativa cuando el vector resultante es menor que el vector que representa el campo terrestre normal del lugar.*

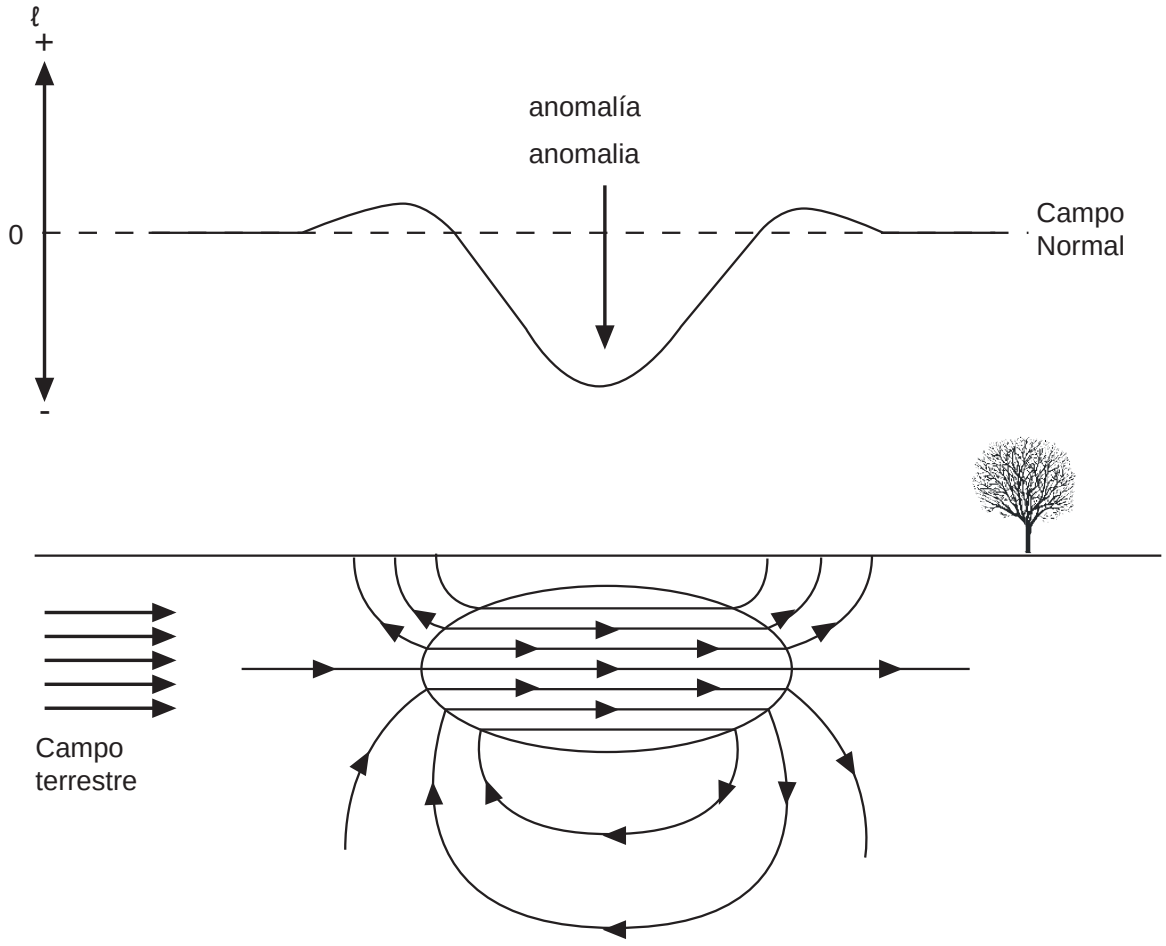


Figura 67.-
Exemplo de uma anomalia magnética em um campo terrestre normal.

Figura 67.-
Ejemplo de una anomalía magnética en un campo terrestre normal.

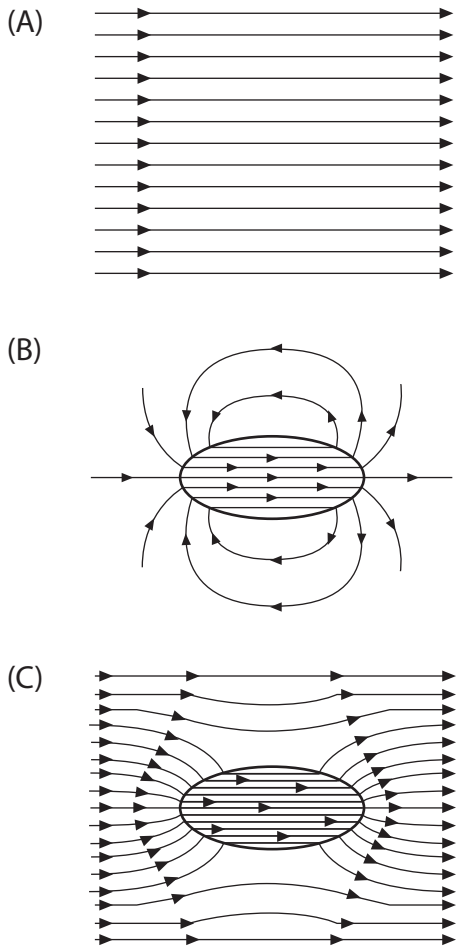


Figura 68.-
Distorção do campo magnético na presença de um corpo paramagnético.

Figura 68.-
Distorsión del campo magnético en presencia de un cuerpo paramagnético.

A magnitude das anomalias maiores e menores de zero pode variar consideravelmente de um lugar a outro. Em certas circunstâncias, a magnitude das anomalias significativas pode ser de algumas dezenas de gamas enquanto que em outras pode ser de vários centos ou, até mesmo, alguns milhares de gamas. Todas as formações rochosas paramagnéticas colocadas no campo magnético terrestre podem ser consideradas como um dipolo ou um conjunto de dipolos. Observados desde a superfície, certos dipolos podem tomar a forma de e as características de monopolos ou de linhas de monopolos. A análise das anomalias permite definir se é possível caracterizar como

La magnitud de las anomalías mayores y menores de cero puede variar considerablemente de lugar a otro. En ciertas circunstancias, la magnitud de las anomalías significativas de algunas decenas de gammas en tanto que en otras puede ser de varios cientos o incluso algunos miles de gammas. Todas las formaciones rocosas paramagnéticas colocadas en el campo magnético terrestre se pueden considerar como un dipolo o un conjunto de dipolos. Observados desde la superficie, ciertos dipolos pueden tomar la forma de y las características de monopolos o de líneas de monopolos. El análisis de las anomalías permite definir si se pueden caracterizar como producto

produto de dipolos ou de monopolos. Nos estudos de exploração hidrológica é possível, em geral, focar as anomalias particularmente simples além de considerar insignificante a magnetização remanescente. Neste caso é possível anunciar alguns resultados úteis para o cálculo de parâmetros do corpo anômalo:

Caso de um dipolo. A anomalia máxima (Am) está dada por

$$A_m = \frac{\kappa FV}{r^3} \; e \; \frac{2\kappa FV}{r^3} \; \text{no eixo do dipolo} \qquad (119)$$

onde κ é a suscetibilidade, F é a intensidade do campo terrestre, V é o volume do corpo anômalo (isométrico), e r é a distância entre a posição do valor máximo na superfície e o centro do dipolo.

Caso de uma linha de dipolos.

$$A_m = \frac{\kappa Ft}{r^2} \qquad (120)$$

onde t é a longitude do corpo subvertical.

Caso de um monopolo.

$$A_m = \frac{2\kappa FV}{r^3} \qquad (121)$$

onde S é a superfície do corpo perpendicular ao campo terrestre.

Caso de uma linha de monopolos.

$$A_m = \frac{\kappa FS}{r} \qquad (122)$$

Caso de uma capa grossa.

$$A = 2 \cdot \pi \kappa F$$

Com exceção deste último caso, a revisão das expressões para os casos anteriores mostra que a amplitude da anomalia decresce com a profundidade do corpo anômalo e que, além disso, a outra dimensão que caracteriza as anomalias, isto é, sua extensão horizontal ou longitude de onda, cresce com a profundidade do corpo anômalo.

de dipolos o de monopolos. En los estudios de exploración hidrológica es posible en general enfocarse a las anomalías particularmente simples además de considerar insignificante la magnetización remanente. En este caso es posible enunciar algunos resultados útiles para el cálculo de parámetros del cuerpo anómalo:

Caso de un dipolo.- La anomalía máxima (Am) está dada por

$$A_m = \frac{\kappa FV}{r^3} \; e \; \frac{2\kappa FV}{r^3} \; \text{no eixo do dipolo} \qquad (119)$$

en donde κ es la susceptibilidad, F la intensidad del campo terrestre, V el volumen del cuerpo anómalo (isométrico) y r es la distancia entre la posición del valor máximo en la superficie y el centro del dipolo.

Caso de una línea de dipolos.-

$$A_m = \frac{\kappa Ft}{r^2} \qquad (120)$$

en donde t es la longitud del cuerpo subvertical.

Caso de un monopolo.-

$$A_m = \frac{2\kappa FV}{r^3} \qquad (121)$$

en donde S es la superficie del cuerpo perpendicular al campo terrestre.

Caso de una línea de monopolos.-

$$A_m = \frac{\kappa FS}{r} \qquad (122)$$

Caso de una capa gruesa.-

$$A = 2 \cdot \pi \kappa F$$

Excepto en éste último caso, la revisión de las expresiones para los casos anteriores muestra que la amplitud de la anomalía decrece con la profundidad del cuerpo anómalo y que además, la otra dimensión que caracteriza a las anomalías, es decir su extensión horizontal o longitud de onda,

Esta longitude de onda ultrapassa raramente três vezes a longitude do corpo, em geral esta é de uma a três vezes esta profundidade.

É importante recalcar neste ponto que não todas as anomalias apresentam o mesmo interesse em explorações de água subterrânea. Normalmente, os esforços se concentram sobre as evidências de falhas ou diques verticais que possam ser o suficientemente permeáveis por estar fraturados, ou bem em definir a distribuição do embasamento sob uma série de sedimentos porosos. A figura 69 mostra um conjunto de exemplos de resultados teóricos obtidos sobre diques e falhas em diferentes condições de incidência do campo normal.

8.5 Execução do trabalho de campo

A preparação de um levantamento magnético é essencial para o sucesso do trabalho de prospecção. Para levar a cabo apropriadamente, deve-se ter uma ideia clara dos objetivos geológicos que se procuram e dos tipos de anomalias que poderiam estar associadas a eles. A revisão de fotografias aéreas e cartas geológicas da área de estudo bem como o conhecimento da inclinação do campo magnético terrestre permitem ter uma ideia aproximada das características e das dimensões das anomalias associadas às estruturas que se procuram e consequentemente é possível planejar melhor o trabalho de campo.

Para que os corpos anômalos apresentem anomalias reconhecíveis (com uma amplitude suficientemente grande), idealmente é necessário por uma parte que o perfil de medição seja perpendicular à direção das estruturas e, por outra parte, que esse perfil seja paralelo a um meridiano magnético (isto é, N-S). Por causa de, na maioria das vezes, estas condições não serem satisfeitas ao mesmo tempo, normalmente se escolhe medir ao longo dos perfis perpendiculares à direção da estrutura principal. Recomenda-se que cada anomalia detectada seja comprovada com medições adicionais, principalmente quando estas não foram bem definidas por causa de um impróprio espaçamento de estações.

Os regressos periódicos a uma base arbitrariamente selecionada permitem eliminar as variações diurnas se a precisão do estudo assim o exigir. As variações diurnas são as mesmas, até mesmo para amplas áreas pelo qual é possível efetuar as correções,

crece con la profundidad del cuerpo anómalo. Esta longitud de onda rebasa raramente tres veces la longitud del cuerpo, en general esta es de una a tres veces esta profundidad.

Es importante recalcar en este punto que no todas las anomalías presentan el mismo interés en exploraciones de agua subterránea. Normalmente, los esfuerzos se concentran sobre las evidencias de fallas o diques verticales que pudieran ser lo suficientemente permeables por encontrase fracturados, o bien en definir la distribución del basamento bajo una serie de sedimentos porosos. La Figura 69 muestra un conjunto de ejemplos de resultados teóricos obtenidos sobre diques y fallas en diferentes condiciones de incidencia del campo normal.

8.5 Ejecución del trabajo de campo

La preparación de un levantamiento magnético es esencial para el éxito del trabajo de prospección. Para llevarlo a cabo apropiadamente se debe de tener una idea clara de los objetivos geológicos que se persiguen y de los tipos de anomalías que podrían estar asociados a estos. La revisión de fotografías aéreas y cartas geológicas de la zona de estudio así como el conocimiento de la inclinación del campo magnético terrestre, permite darnos una idea aproximada de las características y de las dimensiones de las anomalías asociadas a las estructuras que se buscan y en consecuencia es posible planear mejor el trabajo de campo.

Para que los cuerpos anómalos presenten anomalías reconocibles (con una amplitud suficientemente grande), idealmente es necesario por una parte que el perfil de medición sea perpendicular a dirección de las estructuras y, por otra parte, que el mismo perfil sea paralelo a un meridiano magnético (es decir N-S). Debido a que la mayor parte de las veces estas condiciones no se cumplen al mismo tiempo, normalmente se escoge medir a lo largo de perfiles perpendiculares a la dirección de la estructura principal. Es recomendable que cada anomalía detectada sea comprobada con mediciones adicionales, sobre todo cuando estas no han sido bien definidas debido a un inapropiado espaciamiento de estaciones.

Los regresos periódicos a una base arbitrariamente seleccionada permiten eliminar las variaciones diurnas si la precisión del estudio lo requiere. Las variaciones diurnas son las mismas incluso para

utilizando um registro obtido de alguma estação fixa, situada em um rádio não maior de 200 km. Contrariamente ao que ocorre em gravimetria, a topografia tem pouca influência sobre as medições. A intensidade do campo varia menos de 10 gamas por quilômetro com a latitude e aproximadamente 25 gamas por quilômetro com a altura. Para aquelas prospecções de extensão limitada, que é o caso em muitos estudos de água subterrânea, estas variações bem como a inclinação do campo podem ser consideradas irrelevantes.

amplias zonas por lo cual es posible efectuar las correcciones utilizando un registro obtenido de alguna estación fija situada en un radio no mayor de 200 km. Contrariamente de lo que ocurre en gravimetría, la topografía tiene poca influencia sobre las mediciones. La intensidad del campo varía menos de 10 gammas por kilómetro con la latitud y aproximadamente 25 gammas por kilómetro con la altura. Para aquellas prospecciones de extensión limitada, lo cual es el caso en muchos estudios de agua subterránea, estas variaciones así como la inclinación del campo, pueden ser consideradas irrelevantes.

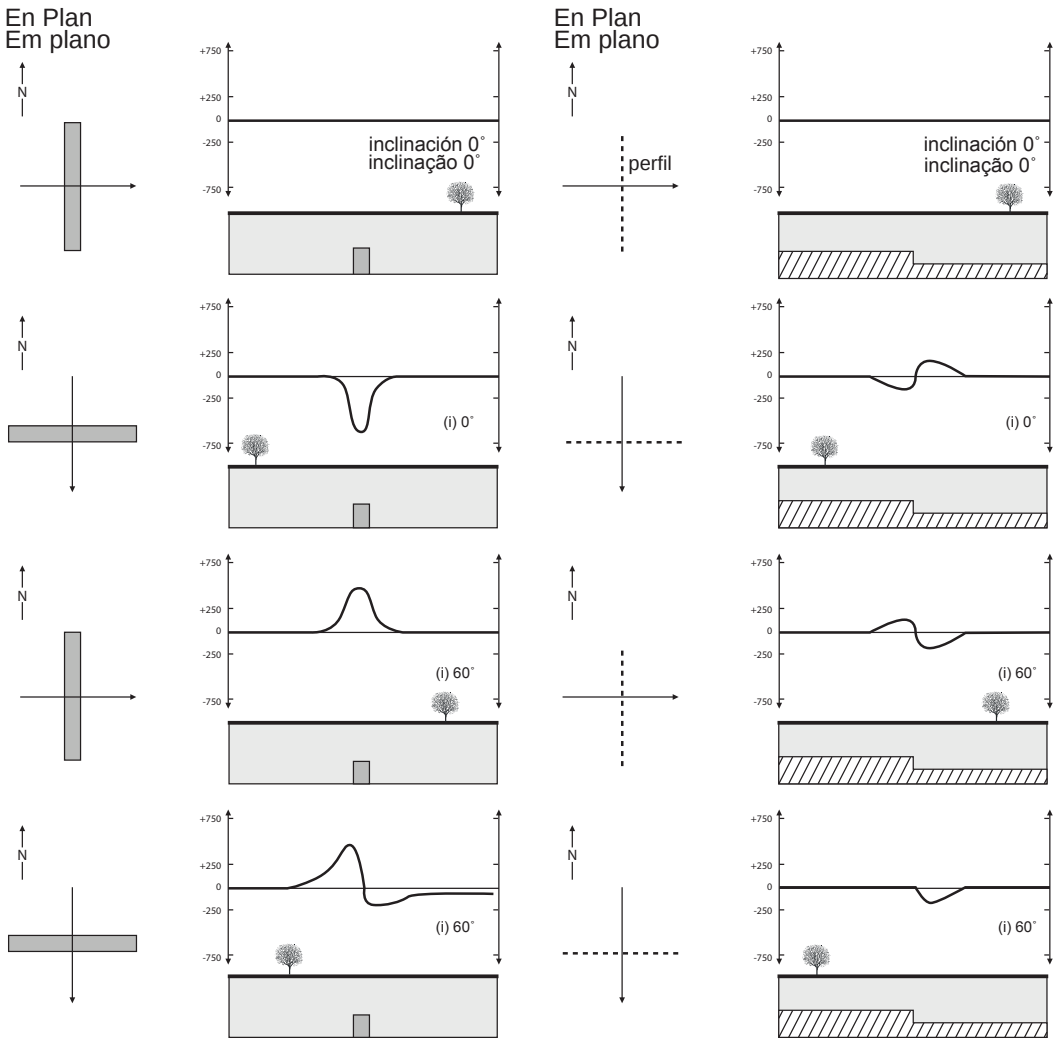


Figura 69.-
Anomalias sobre diques verticais (esq.) e falhas (dir.) a diferentes inclinações do campo magnético terrestre orientados N-S e E-W.

Figura 69.-
Anomalías sobre diques verticales (izq.) y fallas (der.) a diferentes inclinaciones del campo magnético terrestre orientados N-S y E-W.

8.6 Tomada de medições

Para cada estudo, a fase preparatória permite decidir acerca da precisão requerida, do espaçamento entre as estações e da orientação do perfil; uma vez que isto foi determinado, a execução do trabalho de campo é simples e rápida. Os magnetómetros comuns proporcionam, em uns poucos segundos e com uma precisão de uns quantos gamas, a intensidade do campo total (magnetómetros de prótons) (figura 70) ou de seu componente vertical (magnetómetros *Fluxgate*). Há muitas vantagens para o trabalho sobre o terreno bem como para o processamento e a interpretação posterior que as medições sejam realizadas ao longo de perfis retilíneos de preferência paralelos. Neste caso, dependendo dos objetivos geológicos, as medições devem estar uniformemente distribuídas sobre o terreno a ser estudado. Caso fosse necessário eliminar a variação diurna, será requerido registrar a hora de cada medição e efetuar medições periódicas em uma base selecionada.

8.6 Toma de mediciones

*Para cada estudio, la fase preparatoria permite decidir acerca de la precisión requerida, del espaciamiento entre las estaciones y de la orientación del perfil; una vez que esto se ha determinado la ejecución del trabajo de campo es simple y rápida. Los magnetómetros comunes proporcionan en unos pocos segundos y con una precisión de unos cuantos gammas, la intensidad del campo total (magnetómetros de protones) (**Figura 70**) o de su componente vertical (magnetómetros Fluxgate). Tiene muchas ventajas para el trabajo sobre el terreno así como para el procesamiento e interpretación posterior que las mediciones sean realizadas a lo largo de perfiles rectilíneos de preferencia paralelos. En este caso, dependiendo de los objetivos geológicos, las mediciones deben de estar uniformemente distribuidas sobre el terreno a ser estudiado. Si fuera necesario eliminar la variación diurna se requerirá registrar la hora de cada medición y efectuar mediciones periódicas en una base seleccionada.*

Figura 70.-
Magnetómetro de prótons (esq.) e sensores montados em uma barra não magnética em modo de gradiente (dir.).

Figura 70.-
Magnetómetro de protones (izq.) y sensores montados en una barra no magnética en modo de gradiente (der.).

Quando a superfície do terreno conta com heterogeneidades magnéticas, pode ser útil realizar medições múltiplas em cada ponto de medição distribuídas nas esquinas de um pequeno polígono em volta da estação. Este procedimento permite assegurar a confiabilidade dos resultados e, caso seja necessário, eliminar os valores disparados. Em algumas ocasiões, o ruído superficial pode chegar a ser muito intenso e, portanto, indesejável, é possível atenuar seu efeito fazendo medições de gradiente. A maior parte dos magnetómetros de prótons conta com um sensor móvel que pode ser colocado em diferentes alturas (entre 30 e 300 cm sobre o solo), possibilitando a realização da operação. As anomalias, obtidas com o sensor em alto ou com o sensor na posição baixa, estão influenciadas pelo ruído superficial, no entanto a diferença destas medições, isto é, o gradiente, elimina o ruído superficial e permite obter anomalias de corpos anômalos com mais claridade.

8.7 Correções e filtros de anomalias

Nos estudos magnéticos focados na prospecção de água subterrânea, a única correção indispensável é a correção diurna. Esta correção é feita diminuindo dos valores medidos no terreno a variação temporal registrada em uma estação-base. O procedimento de filtrado sobre os perfis e sobre as cartas magnéticas são muito mais variados que os observados em gravitmetria. Então, os estudos sobre objetivos bem definidos, os estudos de prospecção de água, por exemplo, tendem a focar e conservar um só tipo de anomalia. O que se pretende interpretar são as anomalias isoladas que correspondem aos modelos criados na fase de planejamento. Para esse propósito, é necessário estabelecer um campo regional com todos os perfis ou mapas de anomalia para extrair as anomalias residuais.

8.8 Interpretação

Apesar de existir programas muito elaborados, a interpretação na prospecção de água poder ser semiquantitativa e deve também ser realizada, no possível, rapidamente sobre o terreno. Por outra parte, deve-se ter em conta a multiplicidade de fatores que podem afetar a forma das anomalias e as simplificações realizadas no processo de

Si la superficie del terreno cuenta con heterogeneidades magnéticas puede ser útil realizar mediciones múltiples en cada punto de medición repartidas en las esquinas de un pequeño polígono alrededor de la estación. Este procedimiento permite asegurar la confiabilidad de los resultados y en caso necesario eliminar los valores disparados. En ocasiones el ruido superficial puede llegar a ser muy intenso y por lo tanto indeseable, es posible atenuar su efecto llevando a cabo mediciones de gradiente. La mayor parte de los magnetómetros de protones cuentas un sensor móvil que puede ser colocado a diferentes alturas (entre 30 y 300 cm sobre el suelo) lo cual los posibilita para realizar esta operación. Las anomalías obtenidas con el sensor en alto o con el sensor en la posición baja ambas están influenciadas por el ruido superficial, sin embargo la diferencia de estas mediciones, es decir el gradiente, elimina el ruido superficial y permite obtener anomalías de cuerpos anómalos más claramente.

8.7 Correcciones y filtrado de anomalías

En los estudios magnéticos enfocados a la prospección de agua subterránea la única corrección indispensable es la corrección diurna. Esta corrección se lleva a cabo restando de los valores medidos en el terreno la variación temporal registrada en una estación base. El procedimiento de filtrado sobre los perfiles y sobre cartas magnéticas es en general el mismo que se emplea en gravimetría. Sin embargo, las formas y dimensiones de las anomalías magnéticas son mucho más variadas que las que se observan en gravimetría. Entonces, los estudios sobre objetivos bien definidos, los estudios de prospección de agua por ejemplo, se tiende a enfocar y conservar un solo tipo de anomalía. Lo que se busca interpretar son las anomalías aisladas que corresponden a los modelos concebidos en la fase de planeación. Para este propósito se requiere establecer un campo regional a todos los perfiles o al mapa de anomalía para extraer las anomalías residuales.

8.8 Interpretación

Aunque existen programas muy elaborados, la interpretación en la prospección de agua puede ser semi-cuantitativa y debe además ser realizada en lo posible rápidamente sobre el terreno. Por otra parte, se debe tener en cuenta la multiplicidad de factores que pueden afectar la forma de las anomalías y las simplificaciones realizadas en

interpretação que sugerem desnecessário um rigor excessivo. Por exemplo, raramente se pode ter em conta o magnetismo remanescente ou a heterogeneidade magnética dos corpos estudados, além da seleção de um campo magnético regional, para separar anomalias residuais pode resultar arbitraria. Quando é medido ao longo de um perfil, é necessário observar que a forma da anomalia se modifica quando varia a inclinação e a orientação da estrutura do corpo anômalo, a inclinação do campo magnético, a orientação e a posição do perfil. A figura 71 mostra dois exemplos extremos destas variações.

el proceso de interpretación lo cual sugieren innecesario un rigor excesivo. Por ejemplo, rara vez se puede tener en cuenta el magnetismo remanente o la heterogeneidad magnética de los cuerpos estudiados, además la selección de un campo magnético regional para separar las anomalías residuales puede resultar arbitraria. Cuando se mide a lo largo de un perfil, se debe tener en cuanta que la forma de la anomalía se modifica cuando varía la inclinación y la orientación de la estructura del cuerpo anómalo, la inclinación del campo magnético, la orientación y la posición del perfil. La ***Figura 71*** *muestra dos ejemplos extremos de estas variaciones.*

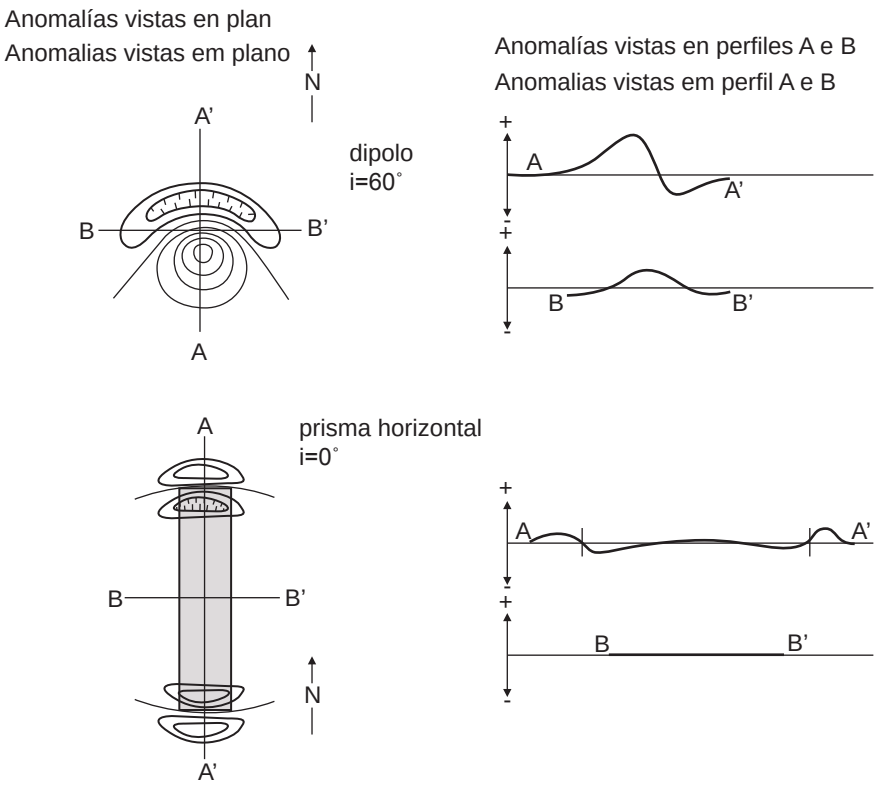


Figura 71.-
Firmas magnéticas de um prisma vertical e um horizontal, em plano e ao longo de perfis perpendiculares.

Figura 71.-
Firmas magnéticas de un prisma vertical y uno horizontal, en plano y a lo largo de perfiles perpendiculares.

Geralmente, a causa de uma perturbação de campo magnético diminui com a profundidade do corpo anômalo que se reflete em uma diminuição das pendentes da anomalia e consequentemente

En general, la causa de una perturbación del campo magnético disminuye con la profundidad del cuerpo anómalo lo que se refleja en una disminución de las pendientes de la anomalía y en consecuencia

da longitude de onda da anomalia, a qual é da ordem de dois a três vezes a profundidade do corpo. Certas regras empíricas permitem realizar as primeiras aproximações ligando a longitude de onda das anomalias observadas à profundidade do corpo que a reproduz. Estas não são confiáveis se a profundidade do corpo é grande, isto é, quatro ou cinco vezes as dimensões efetivas dos dipolos ou monopolos considerados. As regras empíricas mencionadas são listadas a seguir para vários corpos anômalos.

Campo indutor vertical (figura 72):

- Para uma esfera ou um corpo isométrico
  h = 2x
- Para um cilindro horizontal
  h = 2x
- Para um cilindro vertical
  h = 1.3x
- Para um dique fino vertical
  h = x

de la longitud de onda de la anomalía, la cual es del orden de dos a tres veces la profundidad del cuerpo. Ciertas reglas empíricas permiten realizar primeras aproximaciones ligando la longitud de onda de la anomalía observada a la profundidad del cuerpo que la produce. Estas no son confiables si la profundidad del cuerpo es grande, es decir, cuatro o cinco veces las dimensiones efectivas de los dipolos o monopolos considerados. Las reglas empíricas mencionadas se listan a continuación para varios cuerpos anómalos.

*Campo inductor vertical (**Figura 72**):*

- *Para una esfera o un cuerpo isométrico:*
  h = 2x
- *Para un cilindro horizontal*
  h = 2x
- *Para un cilindro vertical*
  h = 1.3x
- *Para un dique delgado vertical*
  h = x

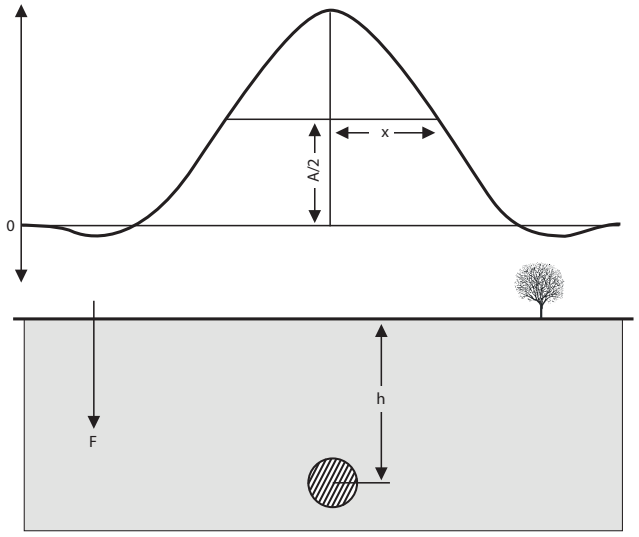


Figura 72.-
Anomalia produzida por uma esfera paramagnética em um campo vertical (nos polos).

Figura 72.-
Anomalía producida por una esfera paramagnética en un campo vertical (en los Polos).

Campo indutor horizontal (figura 73 e 74):

- Para uma esfera ou um corpo isométrico
  h = 2.5x

*Campo inductor horizontal (**Figura 73 y 74**):*

- *Para una esfera o un cuerpo isométrico:*
  h = 2.5x

- Para um cilindro horizontal E-W
  h = 2x
- Para um cilindro horizontal N-S
  h = 1.3x
- Para uma placa horizontal fina e truncada
  h = x

- *Para un cilindro horizontal E-W*
  h = 2x
- *Para un cilindro horizontal N-S*
  h = 1.3x
- *Para una placa horizontal delgada y truncada*
  h = x

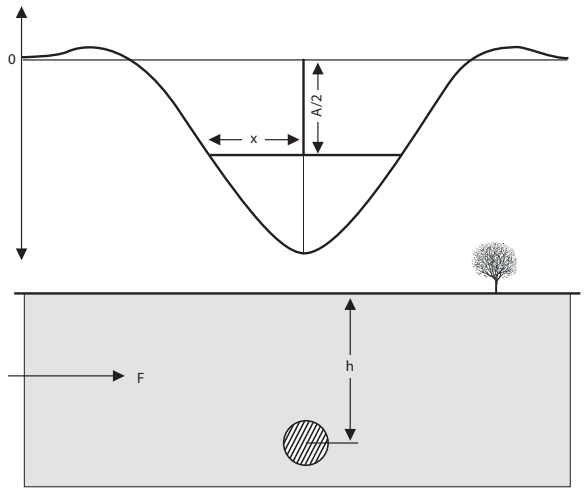


Figura 73.-
Anomalia produzida por uma esfera em um campo horizontal.

Figura 73.-
Anomalía producida por una esfera en un campo horizontal.

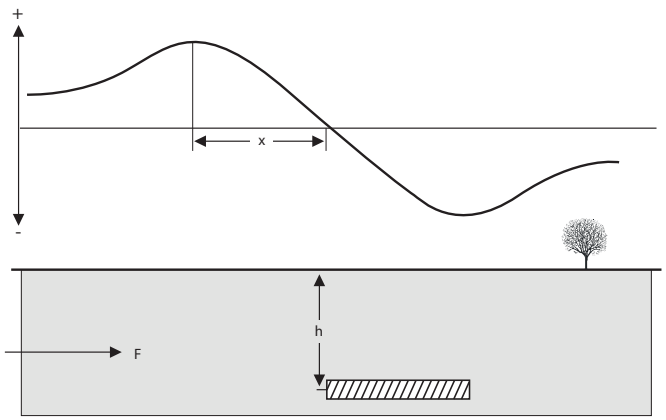


Figura 74.-
Anomalia produzida por uma placa horizontal delgada truncada numa de suas extremidades.

Figura 74.-
Anomalía producida por una placa horizontal delgada truncada en uno de sus extremos.

<u>Campo indutor inclinado</u> (geral):

- Regra de Peters $h = 0.63 (x_a – x_b)$

Para obter x_a e x_b deve-se traçar a tangente do declive máximo sobre a curva de anomalia; posteriormente se traçam as tangentes que tenham declives iguais à metade do declive máximo. Os pontos das tangentes se definem como x_a e x_b (figura 75).

<u>*Campo inductor inclinado*</u> *(General):*

- *Regla de Peters: $h = 0.63 (x_a – x_b)$*

*Para obtener x_a y x_b se traza la tangente de la pendiente máxima sobre la curva de anomalía, posteriormente se trazan las tangentes que tengan pendientes iguales a la mitad de la pendiente máxima. Los puntos de las tangentes se definen como x_a y x_b (**Figura 75**).*

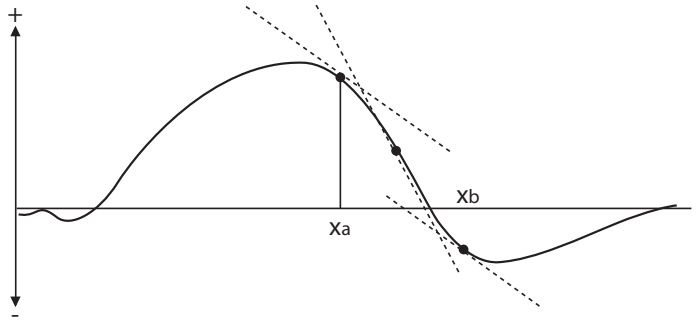


Figura 75.-
Declives traçados conforme a regra de Peters.

Figura 75-
Las pendientes trazadas de acuerdo a la regla de Peters.

- Regra da direita $h = xa – xb$

Onde x_a e x_b são os pontos extremos do segmento da linha tangente direita da anomalia que corresponde ao flanco mais inclinado da anomalia (figura 76).

- *Regla de la Derecha: $h = xa – xb$*

En donde xa y xb son los puntos extremos del segmento de la línea tangente derecha de la anomalía que corresponde al flanco más empinado de la anomalía (Figura 76).

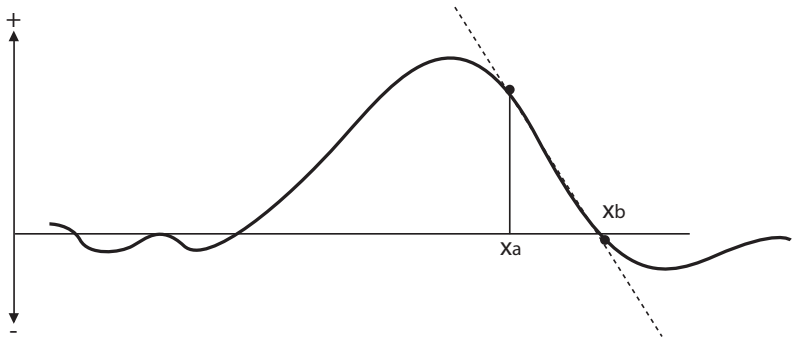


Figura 76.-
Regra da direta.

Figura 76.-
Regla de la derecha.

- O caso de uma falha h = x/2

- *El caso de una falla h = x/2*

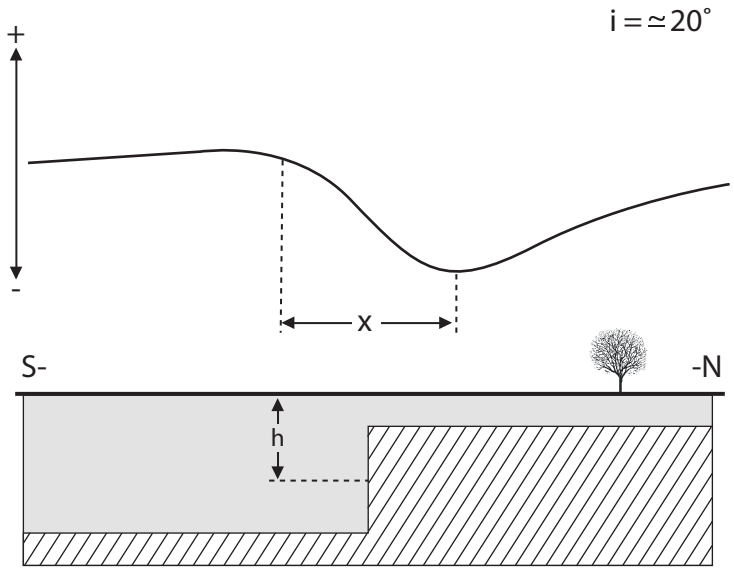


Figura 77.-
Anomalia sobre uma falha.

Figura 77.-
Anomalía sobre una falla.

Entre os métodos simples de usar sobre o terreno, embora mais precisos que as expressões aqui indicadas, encontram-se os propostos por Smelle no volume 21 de **Geophysics**. Por sua vez, para os corpos prismáticos, a **Memoir 47 da Geological Society of América** proporciona uma série de modelos e regras que permitem obter rapidamente tanto profundidades quanto as dimensões laterais dos corpos anômalos. Entretanto, estimar as extensões dos corpos anômalos não é tarefa simples. A posição dos limites laterais em relação aos pontos singulares das anomalias varia de acordo com a inclinação do campo, a profundidade do corpo, sua orientação etc. Para corpos situados a pouca profundidade, é possível localizar suas margens, que se encontram embaixo do ponto de inflexão da curva anômala, entre seu máximo e seu mínimo. Essa regra, entretanto, nem sempre vale. Todavia, é relativamente simples traçar falhas verticais que podem estar situadas na distância média entre o máximo e o mínimo da anomalia (figura 77) ou na metade do segmento inclinado do mesmo.

Entre los métodos simples de usar sobre el terreno pero con más rigor que las expresiones proporcionadas aquí se encuentran los propuestos por Smellie en el volumen 21 de Geophysics. Por otra parte para los cuerpos prismáticos la Memoir 47 de la Geological Society of America proporciona una serie de modelos y reglas que permiten obtener rápidamente tanto profundidades como las dimensiones laterales de los cuerpos anómalos. Sin embargo, estimar las extensiones de los cuerpos anómalos no es simple. La posición de los límites laterales con respecto a los puntos singulares de las anomalías varía con la inclinación del campo, la profundidad del cuerpo, su orientación, etc. Para los cuerpos situados a una profundidad somera es posible localizar sus márgenes, los cuales se encuentran debajo del punto de inflexión de la curva anómala, entre su máximo y su mínimo. Esta regla, sin embargo no tiene validez absoluta. Por otro lado, es relativamente simple trazar fallas verticales, que se pueden situar a la distancia media entre el máximo y mínimo de la anomalía (Figura 77) o a la mitad del segmento inclinado del mismo.

9 BASES DE DADOS REGIONAIS

O estudo do Sistema Aquífero Guarani, desde o ponto de vista da geofísica, deve incluir uma etapa de reconhecimento regional que permita definir seus limites geológico-estruturais, bem como suas características geométricas gerais, particularmente nas zonas em que estas são atualmente desconhecidos. Paralelamente e levando em conta essas informações que devem servir como marco de referência, a seguinte etapa abrange a realização de estudos detalhados destinados a resolver problemas específicos relacionados com o aquífero, tais como: a sua profundidade, a direção do fluxo, a qualidade da água, o volume disponível etc.

Entretanto, antes de iniciar o processo de obtenção de informações a partir da aplicação direta de técnicas geofísicas apropriadas para cada etapa, é muito importante a compilação e, se for o caso, o reprocessamento das bases de dados geofísicos disponíveis dos diferentes países que compõem o SAG. Isso permitirá a otimização dos recursos existentes e, ao mesmo tempo, ajudará no planejamento da distribuição dos diferentes estudos geofísicos ainda necessários, bem como na definição das zonas do SAG que, por causa da falta de informações, devam ser consideradas prioritárias.

9.1 Bases de dados gravimétricos e magnéticos

Entre os objetivos que se procuram alcançar nesta seção está o de proporcionar a informação necessária para poder incorporar a base de dados, de livre acesso, ou disponível à venda, ao Sistema de Informação Geográfica do SAG. Entretanto, em termos regionais, somente parecem ser aproveitáveis os dados gravimétricos, uma vez que os aeromagnéticos estão concentrados principalmente na Argentina e no Brasil, e este último país é o que conta com estudos sobre a quase totalidade do seu território. A maioria dos estudos feitos há décadas, nos países que compartilham o SAG, Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai, foram levados a efeito visando à prospecção de petróleo ou à exploração mineral. Por esse motivo, a cobertura de dados é irregular, pois grande parte dos objetivos petrolíferos estava localizada

9 BASES DE DATOS REGIONALES

El estudio de Sistema Acuífero Guaraní desde el punto de vista de la geofísica, debe incluir una etapa de reconocimiento regional que permita definir sus límites geológico-estructurales así como sus características geométricas generales, particularmente en las zonas en las que éstos se desconocen actualmente. Paralelamente, y tomando en cuenta esta información que debe servir como marco de referencia, la siguiente etapa comprende la realización de los estudios detallados encaminados a resolver problemas específicos relacionados al acuífero, tales como espesor, dirección de flujo, calidad del agua, volumen disponible, etc.

Sin embargo, previo al proceso de adquisición de información a partir de la aplicación directa de las técnicas geofísicas apropiadas en cada etapa, es muy importante la compilación y en su caso reprocesamiento de las bases de datos geofísicos disponibles de los diferentes países que comprenden al SAG. Esto permitirá la optimización de los recursos disponibles, al mismo tiempo que será auxiliar en el diseño de la distribución de los diferentes estudios geofísicos aún requeridos y en la definición de las zonas del SAG que por la falta de información tengan que ser consideradas como prioritarias.

9.1 Bases de Datos Gravimétrica y Magnética

Entre los objetivos que se persiguen en esta sección está el proporcionar la información necesaria para poder incorporar las bases de datos, de acceso libre o disponible en venta, al Sistema de Información Geográfica del SAG. Sin embargo, a nivel regional solamente parecen aprovechables los datos gravimétricos pues los aeromagnéticos están principalmente concentrados en Argentina y Brasil, siendo éste último el que cuenta cubierta casi la totalidad de su territorio. La mayor parte de los estudios en los países que comparten el SAG, Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay, han sido llevados a cabo con fines de prospección petrolera o bien de exploración mineral desde hace décadas. Por esta razón la distribución de datos es desigual pues gran parte de los objetivos petroleros se

nas bacias costeiras, ou no litoral do continente, enquanto que os destinados à produção mineral se localizavam principalmente no interior do Brasil. No *site* da *web* do serviço meteorológico NOAA dos EEUU (www.noaa.gov), pode-se encontrar uma base de dados gravimétricos terrestres da região que compreende o SAG.

A figura 78 mostra a distribuição da informação gravimétrica disponível nesse *site*, onde se podem apreciar grandes lacunas de informação em grande parte da região contornada pela linha vermelha contínua, que reflete a extensão aproximada do SAG. Outra base complementar de dados, de livre acesso, com menor número de informações, é a da francesa BGR (bgi.cnes.fr), que inclui não somente estações gravimétricas terrestres, como também e principalmente estações de gravidade absoluta de referência (primeira e segunda ordem) dos quatro países do Mercosul.

ubican en cuencas costeras o en la margen continental y las de producción mineral se localizan principalmente en Brasil. En el sitio Web del servicio meteorológico NOAA de EEUU (www.noaa.gov) se puede encontrar una base de datos gravimétricos terrestres de la zona que comprende el SAG.

*La **Figura 78** muestra la distribución de la información gravimétrica disponible de este sitio, en donde se pueden apreciar notables vacíos de información en gran parte de la región limitada por el contorno de línea roja continua, la cual representa la extensión aproximada del SAG. Otra base de datos complementaria de libre acceso, aunque menor en número es la de la Francesa BGR (bgi.cnes.fr) que incluye no solo estaciones gravimétricas terrestres, sino principalmente estaciones de gravedad absoluta de referencia (primero y segundo orden) de los cuatro países del Mercosur.*

Figura 78.-
Dados gravimétricos terrestres e marinhos da América do Sul (U. de Texas, 1993). O SAG está apenas parcialmente coberto por esta base de dados que se concentra principalmente em objetivos petrolíferos e de mineração .

Figura 78.-
Datos gravimétricos terrestres y marinos de América del Sur (U. de Texas, 1993). El SAG está cubierto solo parcialmente por esta base de datos que se concentra principalmente en objetivos petroleros y mineros .

Ademais, também é possível obter uma base mais completa de dados gravimétricos, mas não isenta de custos, por meio do *site* da *web* da GETECH Group (www.getech.com) em que se incluem dados obtidos principalmente com finalidade de prospectar petróleo. As figuras 79, 80, 81 e 82 mostram a distribuição de estações gravimétricas terrestres na Argentina, no Brasil, no Paraguai e no Uruguai, respectivamente. A densidade disponível de dados varia entre esses países. Entretanto, a partir dessas informações, é possível compilar de forma integrada uma base de dados gravimétricos a respeito do SAG, com boa resolução. Por meio desse mesmo *site,* podem-se obter as distribuições de levantamentos aeromagnéticos de três dos países que integram o SAG. O Uruguai é o único que não conta com dados dessa natureza. As figuras 83, 84 e 85 mostram a distribuição dos dados aeromagnéticos na Argentina, no Brasil e no Paraguai, respectivamente.

Por otro lado, también es posible obtener una base de datos gravimétricos mas completa aunque no libre de costo a través del sitio Web de GETECH Group (www.getech.com) en donde se incluyen datos adquiridos principalmente con fines de exploración petrolera. Las ***Figuras 79****,* ***80****,* ***81*** *y* ***82*** *muestran la distribución de estaciones gravimétricas terrestres en Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay respectivamente. La densidad de datos disponible varía entre estos países, sin embargo a partir de esta información es posible integrar una base de datos gravimétricos del SAG de buena resolución. A través del mismo sitio se pueden obtener las distribuciones de levantamientos aeromagnéticos de tres de los países que comprenden al SAG. Uruguay es el único de ellos que no cuenta con datos de este tipo. Las* ***Figuras 83****,* ***84*** *y* ***85*** *muestran la distribución de los datos aeromagnéticos en Argentina, Brasil y Paraguay respectivamente.*

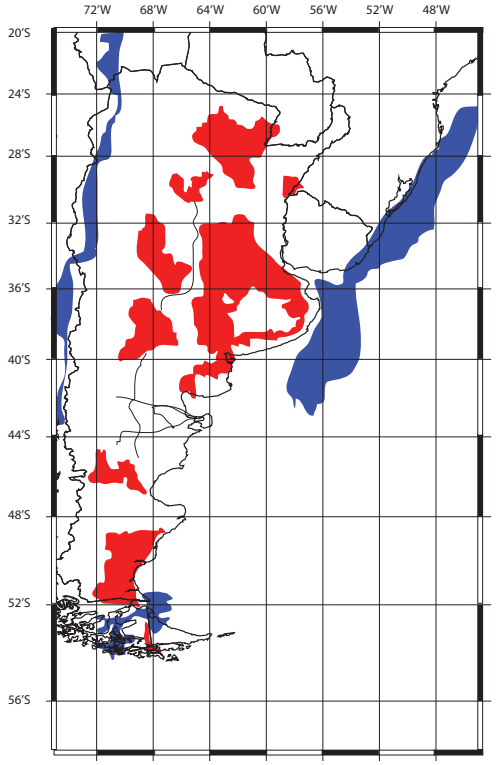


Figura 79.-
Mapa da distribuição de dados gravimétricos terrestres e marítimos (GETECH) na Argentina. A malha de dados digitais disponível tem intervalos de 5' (~10 km) a 2´.

Figura 79.-
Mapa de distribución de datos gravimétricos terrestres y marinos (GETECH) en Argentina. La malla de datos digitales disponible tiene separaciones de 5' (~10 km) a 2´.

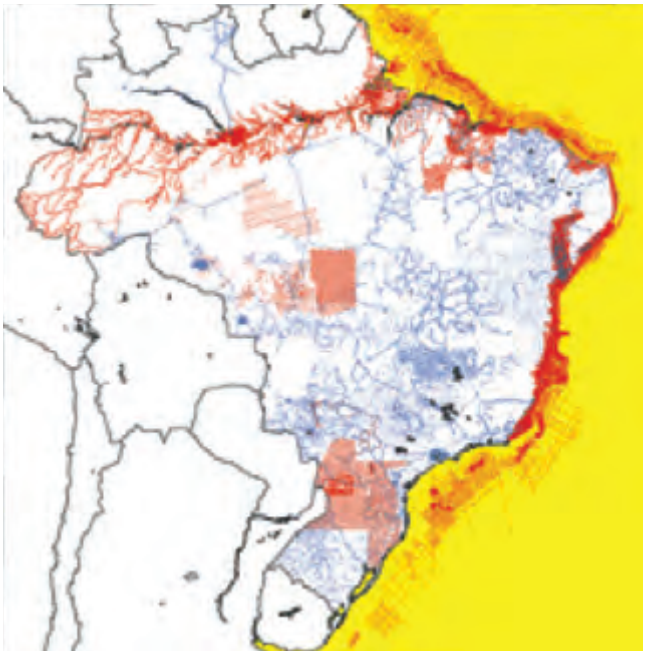


Figura 80.-
Mapa de distribuição de dados gravimétricos terrestres e marítimos no Brasil (GETECH, Universidade de Brasília, Petrobras).

Figura 80.-
Mapa de distribución de datos gravimétricos terrestres y marinos en Brasil (GETECH, Universidad de Brazilia, Petrobras).

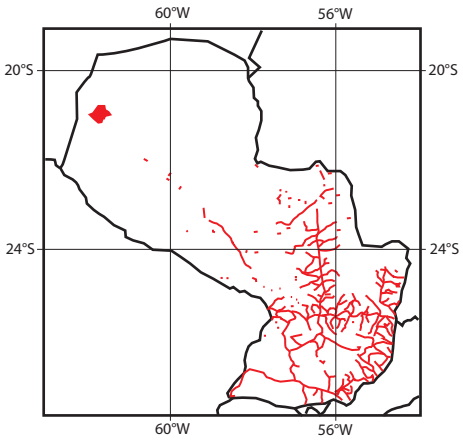


Figura 81.-
Mapa da distribuição de dados gravimétricos do Paraguai (GETECH). A malha de dados digitais disponível tem intervalos de 5' (~10 km).

Figura 81.-
Mapa de distribución de datos gravimétricos de Paraguay (GETECH). La malla de datos digitales disponible tiene separaciones de 5' (~10 km).

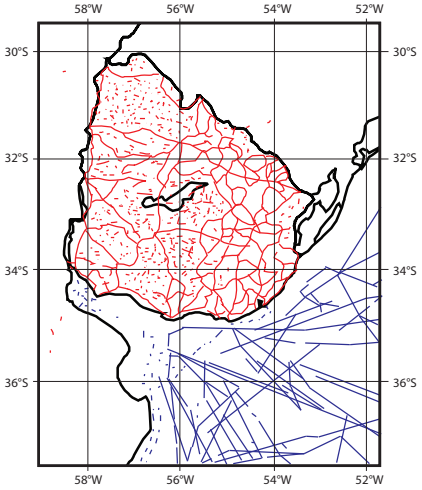


Figura 82.-
Mapa da distribuição de dados gravimétricos do Uruguai. A malha de dados digitais disponíveis tem intervalos de 2' (~4 km).

Figura 82.-
Mapa de distribución de datos gravimétricos de Uruguay. La malla de datos digitales disponible tiene separaciones de 2' (~4 km).

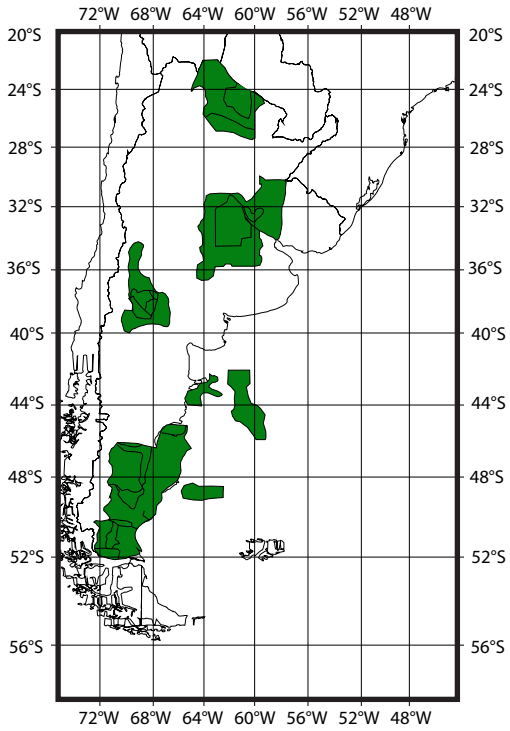


Figura 83.-
Dados aeromagnéticos disponíveis (GETECH) na Argentina (zonas cor verde).

Figura 83.-
Datos aeromagnéticos disponibles (GETECH) en Argentina (zonas en verde).

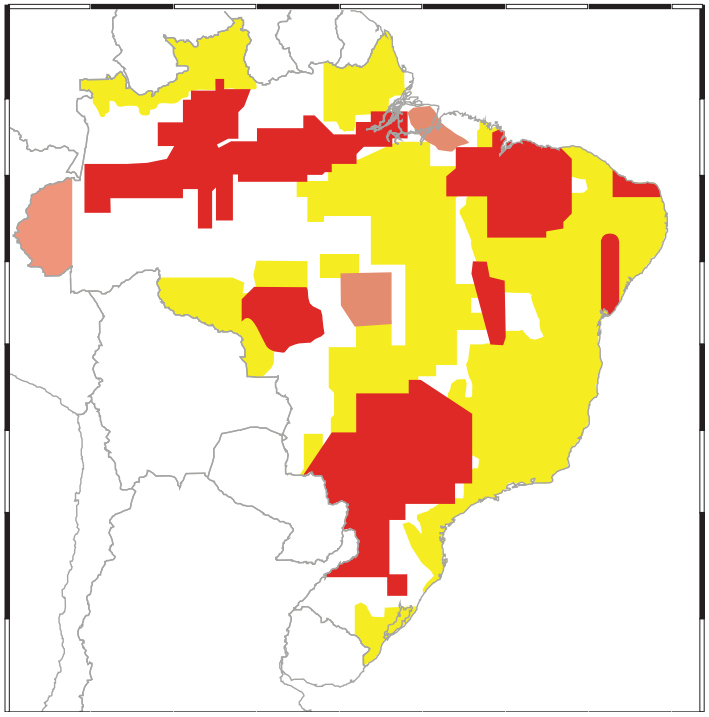


Figura 84.-
Dados magnéticos disponíveis (GETECH) no Brasil. As diferentes cores indicam dados de diferentes épocas e fontes.

Figura 84.-
Datos magnéticos disponibles (GETECH) en Brasil. Los diferentes colores indican datos de diferentes épocas y fuentes.

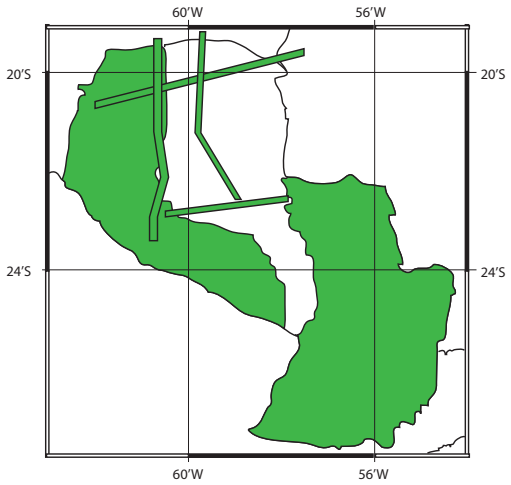


Figura 85.-
Dados aeromagnéticos disponíveis (GETECH) no Paraguai (zonas cor verde).

Figura 85.-
Datos aeromagnéticos disponibles (GETECH) en Paraguay (zonas en verde).

As malhas de dados aeromagnéticos do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), mostrados em cor amarela na figura 84, têm uma distância de apenas 1 km. Na mesma figura, bem como na figura 80, as áreas vermelhas representam dados magnéticos e gravimétricos, terrestres, marítimos e aéreos da veterana agência de petróleo Petrobras. Muitos dos dados marítimos têm sido incorporados a essa base de dados por meio da digitalização de mapas análogos antigos. No entanto, GETECH com a Universidade de Brasília efetuaram levantamentos gravimétricos terrestres durante os últimos dez anos a fim de preencher lacunas de informação existentes no centro do Brasil (linhas e pontos azuis). A zona pintada de amarelo na figura 84 corresponde a dados gravimétricos enviados por satélite e compilados por GETECH. As bases de dados gravimétricas e magnéticas foram previamente utilizadas para estudar os vínculos tectônicos com o continente africano, a fim de ajudar a entender a geologia regional brasileira, o magnetismo e a liberação de esforços relacionados com a abertura do Oceano Atlântico Sul. Entre os produtos mais úteis para o estúdio do SAG, inclui-se a interpretação da profundidade da base.

Diferentemente do Brasil, as bases de dados gravimétricos e magnéticos da Argentina, do Paraguai e do Uruguai são mais homogêneas. As bases de dados gravimétricas para as respectivas zonas do SAG podem ser ordenadas com espaçamentos de 4 a 10 km nas malhas de dados referentes ao território argentino, de 10 km no território paraguaio e 4 km no uruguaio. Ou então, alternativamente, é possível adquirir as cartas de anomalia de Bouger, incluindo o relatório dos levantamentos de campo e processamento dos dados. Os produtos magnéticos que a mesma empresa (GETECH) oferece, além dos seus próprios dados magnéticos organizados em malhas de 1 km, são as cartas de campo magnético total, corrigidas pelo IGRF, a uma altura média de voo sobre o terreno de 1 km, bem como o relatório dos levantamentos aeromagnéticos e do processamento de dados. A única zona do SAG que não conta com dados desse tipo é a correspondente à bacia norte do Uruguai, onde até esta data não se realizou, nem mesmo parcialmente, a cobertura territorial por meio desse método geofísico que resulta ser tão extremamente útil para o mapeamento de petrologias de origem ígnia. A distribuição dos fluxos de basalto de fissura na região ocupada pelo SAG, para ser bem entendida, requer a eventual cobertura do norte do Uruguai por meio de um levantamento aeromagnético para a obtenção dos dados necessários.

*Las mallas de datos aeromagnéticos del Servicio Geológico Brasileño (CPRM), mostrados en color amarillo en la **Figura 84**, tienen una separación de solo 1 km. En la misma figura, así como en la **Figura 80**, las áreas en rojo representan datos magnéticos y gravimétricos terrestres, marinos y aéreos de la antigua agencia petrolera Petrobrás. Muchos de los datos marinos han sido incorporados a esta base de datos por medio de la digitalización de mapas analógicos antiguos. Por otro lado, GETECH junto con la Universidad de Brasilia llevaron a cabo levantamientos gravimétricos terrestres durante los últimos 10 años para llenar vacíos de información existentes en el centro de Brasil (líneas y puntos azules). La zona cubierta de amarillo en la Figura 4 corresponde a datos gravimétricos de origen satelital compilados por GETECH. Las bases de datos gravimétrica y magnéticas han sido utilizadas previamente para estudiar los vínculos tectónicos con el continente Africano para ayudar a comprender la geología regional brasileña, el magmatismo y la liberación de esfuerzos relacionados con la abertura del océano Atlántico Sur. Entre los productos más útiles para el estudio del SAG se incluye la interpretación de la profundidad del basamento.*

A diferencia del caso de Brasil, las bases de datos gravimétricos y magnéticos de Argentina, Paraguay y Uruguay son más homogéneas. Se pueden ordenar las bases de datos gravimétricos para las respectivas zonas del SAG con 4 a 10 km de espaciamiento de las mallas de datos para el territorio argentino, 10 km para el territorio paraguayo y 4 km para el uruguayo. O bien, alternativamente es posible adquirir las cartas de anomalía de Bouguer incluyendo el reporte de los levantamientos de campo y procesamiento de los datos. Los productos magnéticos que la misma empresa (GETECH) ofrece además de los propios datos magnéticos con mallado de 1 km, son las cartas de campo magnético total, corregidas al IGRF, a una altura promedio de vuelo sobre el terreno de 1 km así como el reporte de los levantamientos aeromagnéticos y de procesamiento de los datos. La única zona del SAG que no cuenta con datos de éste tipo es la correspondiente a la cuenca Norte del Uruguay, en donde a la fecha no se ha llevado a cabo la cobertura territorial, ni siquiera parcialmente, con este método geofísico que resulta ser extremadamente útil para el mapeo de litologías de origen ígneo. La distribución de los flujos de basalto de fisura en la región ocupada por el SAG requiere de la eventual cobertura del norte del Uruguay con éste tipo de datos a través de un levantamiento aeromagnético.

Ademais, outra companhia particular (Peterson, Grant & Watson Ltd., ou PGW, www.pgw.on.ca), em colaboração com a GETECH, recopilou mais de quinhentos levantamentos aeromagnéticos na América do Sul. Originariamente esse projeto foi financiado por um consórcio de mais de 29 companhias petrolíferas e de mineração, e seus dados estão disponíveis comercialmente desde 1997. A superfície total coberta por essas bases de dados é de aproximadamente 75% do subcontinente e inclui dados continentais e das zonas costeiras. Esses dados estão disponíveis por país, ou então por superfícies de 1° por 1° em malhas de 1 km x 1 km.

Por otro lado, otra compañía privada (Peterson, Grant & Watson Ltd., o PGW, www.pgw.on.ca) en colaboración con GETECH ha recopilado más de 500 levantamientos aeromagnéticos en América del Sur. Originalmente, este proyecto fue financiado por un consorcio de más de 20 compañías petroleras y mineras y los datos están disponibles comercialmente desde el año 1997. La superficie total que cubre esta base de datos es de aproximadamente el 75% del subcontinente e incluye datos continentales y de las zonas costeras. Los datos están disponibles por país o bien por superficies de 1° x 1° en mallas de 1 km x 1 km.

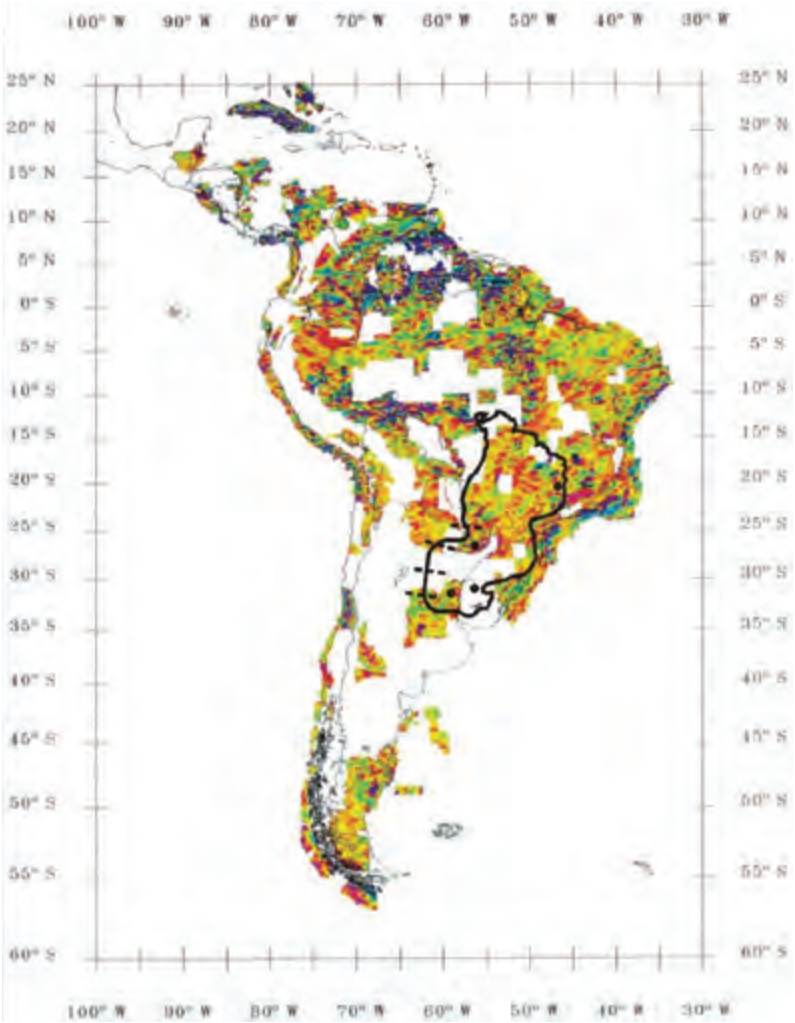


Figura 86.-
Mapa aeromagnético da América do Sul, América Central e Caribe compilado a partir de mais de 500 levantamentos nessas regiões.

Figura 86.-
Mapa aeromagnético de América del Sur, Centro América y el Caribe compilado a partir de mas de 500 levantamientos en la región.

Entretanto, apesar de quão completa possa parecer essa informação, existem grandes lacunas de dados magnéticos em amplas áreas do SAG, Como pode ser visto na figura 86. O contorno de linha contínua representa os limites aproximados do SAG. De maior utilidade parece ser a base de dados gravimétricos, pois além de apresentar uma cobertura adequada para uma primeira interpretação e modelagem das bacias que compreendem o SAG, sua resolução (1 km X 1 km) parece ser apropriada para a realização de uma modelagem regional das mesmas.

9.2 Gravimetria e magnetometria por satélite

A gravimetria por via satélite se acha em estágio bem avançado de realização, de sorte que, no prazo de um ano, ou talvez, alguns meses, será possível contar com mapas continentais com muito boa resolução, mediante os quais seja possível obter modelos e estabelecer limites aproximados de bacias com dimensões semelhantes às reveladas pelo SAG. Este projeto, chamado GRACE, é um projeto cujo principal objetivo é o estudo de campo gravitacional terrestre mediante a utilização de satélites. A missão GRACE é uma junção de organizações científicas, entre as quais se acham o *National Aeronautics and Space Administration* (Nasa) e a *German Aerospace Center* (DLR). Entre seus principais resultados está a obtenção do mais detalhado modelo gravitacional terrestre calculado até agora.

Os mapas de anomalias da gravidade mostram a forma pela qual o campo gravitacional real difere do campo gravitacional uniforme de uma superfície terrestre regular (geóide). As anomalias da gravidade devem-se, em sua maior parte, a concentrações atípicas de massa numa região. Os modelos de anomalia da Terra obtidos até agora se encontram disponíveis de maneira gratuita nos *sites* da *web* das organizações participantes (www.gfz-potsdam.de/grace).

Até há pouco tempo, não existia uma única fonte homogênea de dados do geóide global. Os dados provinham de dúzias de satélites, que realizavam observações sobre as zonas terrestres, e de barcos espalhados nos mares. Todos esses dados eram combinados para produzir o modelo. Tradicionalmente, os modelos

Sin embargo, a pesar de lo completa que puede parecer esta información existen grandes huecos de datos magnéticos en amplias zonas del SAG, como se observa en la ***Figura 86****. El contorno de línea continua representa los límites aproximados del SAG. De mayor utilidad parece ser la base de datos gravimétricos pues además de que tiene una cobertura adecuada para una primera interpretación y modelado de las cuencas que albergan al SAG, la resolución (1 km x 1 km) parece ser la adecuada para realizar un modelado regional de éstas.*

9.2 Gravimetría y magnetometría satelital

La gravimetría satelital se encuentra en una etapa de madures, de tal suerte que en cuestión de un año, tal vez meses, será posible contar con cartas continentales de muy buena resolución, con las cuales será posible obtener modelos y establecer límites aproximados de cuencas con dimensiones semejantes a las que revela el SAG. Este proyecto, llamado GRACE es un proyecto cuyo principal objetivo es el estudio del campo gravitatorio terrestre utilizando métodos satelitales. La misión GRACE es una unión entre organizaciones científicas entre las que se encuentra el National Aeronautics and Space Administration (NASA) y la German Aerospace Center (DLR). Entre los resultados principales está la obtención del más detallado modelo gravitatorio terrestre calculado hasta ahora.

Los mapas de anomalías de la gravedad representan cómo el campo gravitatorio real difiere del campo gravitatorio uniforme de una superficie terrestre regular (geoide). Las anomalías de la gravedad se deben en su mayor parte a concentraciones inusuales de masa en una región. Los modelos de anomalía de la Tierra obtenidos a la fecha están disponible de manera gratuita en los sitios Web de los organismos participantes (e.g. www.gfz-potsdam.de/grace).

Hasta hace poco, no existía una única fuente homogénea de datos del geoide global. Los datos provenían de docenas de satélites que realizaban observaciones sobre las zonas terrestres y barcos en los mares, todos ellos se combinaban para producir el modelo. Tradicionalmente los modelos globales daban

globais produziam bons resultados, mas eram insuficientes para mostrar pequenas variações de elementos do campo gravitacional, ou variações precisas no tempo. O projeto GRACE oferece, pela primeira vez, uma cobertura global do campo gravitacional terrestre a cada trinta dias provinda de uma única fonte de informação. Além disso, as medições são 100 vezes mais precisas que as medições até então existentes e, com o acúmulo de observações, a resolução do geóide vai melhorando pouca a pouco. À medida que o modelo de geóide vai se tornando mais detalhado, vão sendo melhorados a exatidão da altimetria dos satélites, as observações do radar de abertura sintética, os modelos digitais do terreno que cobrem grandes superfícies terrestres e áreas geladas, os usos e aplicações da teledetecção e a cartografia.

O sistema GRACE está composto por dois satélites que agem de forma sincronizada a fim de detectar variações na distância entre os dois satélites gêmeos. Os dois satélites orbitam, um atrás do outro, no mesmo plano orbital a uma distância aproximada de 220 km. Enquanto o par de satélites circunda a Terra, as áreas com maior gravidade (maior concentração de massa) afetam o satélite que viaja na frente, empurrando-o para mais longe do satélite que viaja atrás. Posteriormente, o satélite que vem atrás, ao passar sobre a anomalia gravitacional, é empurrado em direção ao satélite que está na frente. As variações de distância utilizam um sistema muito preciso baseado em micro-ondas, instalado nos satélites que usam um sistema de medida denominado KBR (*K-band Ranging System*), o qual oferece uma precisão de dez micrômetros. Um acelerômetro situado no centro das massas de cada satélite mede as acelerações não gravitacionais (como aquelas devidas ao atrito atmosférico), de forma que sejam levadas em conta apenas as acelerações devidas à gravidade. Os receptores GPS incorporados determinam a posição do satélite sobre a Terra com precisão centimétrica. O controle terrestre do sistema GRACE descarrega toda essa informação vinda dos satélites e a usará para elaborar mensalmente mapas do campo gravitacional médio, durante o período de cinco anos que se prevê que dure a missão.

Em fins de 2004, foi publicada a versão 2 do modelo gravitacional GRACE (GGM02). Este modelo GGM02 está baseado na análise dos

buenos resultados, pero eran precarios para representar pequeñas variaciones de elementos del campo gravitatorio o variaciones precisas en el tiempo. El proyecto GRACE ofrece por primera vez una cobertura global del campo gravitatorio terrestre cada 30 días de una sola fuente de información. Además las mediciones son 100 veces más precisas que las existentes y con la acumulación de observaciones la resolución del geoide se va mejorando poco a poco. A medida que el modelo de geoide se va haciendo más detallado, la exactitud de la altimetría satelital, las observaciones de radar de apertura sintética, modelos digitales del terreno que cubren grandes superficies terrestres y áreas heladas, los usos y aplicaciones de la teledetección y la cartografía se ven mejoradas.

El sistema GRACE está conformado por dos satélites que actúan de manera sincronizada para detectar cambios en la distancia entre los dos satélites gemelos. Los dos satélites orbitan uno de tras de otro en el mismo plano orbital a una distancia aproximada de 220 km. Mientras el par de satélites circunda la Tierra, las áreas con mayor gravedad (mayor concentración de masa) afecta al satélite que viaja primero, empujándolo más allá del satélite que viaja detrás. Posteriormente, el satélite que viaja detrás es empujado hacia el satélite que va delante al pasar sobre la anomalía gravitacional. Las variaciones de distancia utilizan un sistema muy preciso basado en microondas instalado en los satélites que usan un sistema de medida denominado KBR (K-band Ranging System) el cual ofrece una precisión de solo 10 micrómetros. Un acelerómetro situado sobre el centro de masas de cada satélite, mide las aceleraciones no gravitacionales (como aquellas debidas al rozamiento atmosférico) de manera que sólo se tengan en cuenta aquellas aceleraciones debidas a la gravedad. Los receptores GPS incorporados determinan la posición del satélite sobre la Tierra con precisión centimétrica. El control terrestre del sistema GRACE descarga toda esta información desde los satélites y la utilizará para construir cada mes mapas del campo gravitatorio medio durante el periodo de 5 años que se prevé dure la misión.

Hacia finales del año 2004 se publicó la versión 2 del modelo gravitacional GRACE (GGM02). Este modelo GGM02 está basado en el análisis de los

dados do sistema correspondentes a 363 dias de observação. Este modelo está construído tomando por base os dados de informação gravitacional terrestre. Existem outros modelos mais recentes que podem ser consultados em qualquer dos seguintes *sites*:

http://earthobservatory.nasa.gov/Library/GRACE_Revised/page1.html
http://www.csr.utexas.edu/grace
http://www.csr.utexas.edu/grace/gravity/
http://www.gfz-potsdam.de/grace

Outro produto importantes do projeto GRACE é o mapa de anomalia magnética vertical:

(http://www.gfz-potsdam.de/pb1/op/champ/results/index_RESULTS.html).

Entretanto, esta informação tem menos possibilidades de ser útil para o estudo da bacia que alberga o SAG, embora não devesse desprezar sua análise.

9.3 Outras bases de dados

Existe informação adicional na forma de mapas, dados e documentos que podem ser úteis em zonas específicas do SAG e que é conveniente que sejam incorporados ao SIG. Uma variedade de trabalhos se encontra disponível em vários *sites* da *web* por meio das páginas dos serviços geológicos de três dos países que compartilham do SAG (Argentina, Brasil e Uruguai), bem como de alguns outros serviços geológicos (*usgs* e *noaa*) e organizações acadêmicas internacionais, como o BGI (*Buro Gravimetrique Internacional*, França) ou o BGR (*Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe*, Alemanha), que contam com bases de dados com informação parcial de acesso público. No Anexo 3 está incluído um diretório de serviços geológicos na América Latina, onde é possível localizar parte dos citados trabalhos. Já no Anexo 2, inclui-se um diretório de páginas da *web* extraídas do regional *Geophysics Link Page*, que inclui endereços de dados geofísicos por regiões, de sociedades acadêmicas que podem possuir informações referentes ao SAG, bem como dados geológicos regionais e, de modo geral, *software* relacionado a tudo o que já foi processado referente à interpretação geofísica.

datos del sistema correspondientes a 363 días de observación entre. Este modelo está constreñido por datos de información gravitacional terrestre. Existen otros modelos más recientes que pueden ser consultados en cualquiera de los sitios siguientes:

http://earthobservatory.nasa.gov/Library/GRACE_Revised/page1.html
http://www.csr.utexas.edu/grace
http://www.csr.utexas.edu/grace/gravity/
http://www.gfz-potsdam.de/grace

Otro de los productos importantes del proyecto GRACE es el mapa de anomalía magnética vertical:

(http://www.gfz-potsdam.de/pb1/op/champ/results/index_RESULTS.html).

Sin embargo esta información tiene menos posibilidades de ser de utilidad para el estudio de la cuenca que contiene al SAG, aunque no debería soslayarse su análisis.

9.3 Otras Bases de Datos

Existe información adicional en forma de mapas, datos, y documentos que pueden ser útiles para zonas específicas del SAG y que es deseable que sean incorporados al SIG. Una variedad de trabajos se encuentran disponibles en varios sitios de la Web a través de las páginas de los servicios geológicos de tres de los países que comparten al SAG (Argentina, Brasil y Uruguay), así como de algunos otros servicios geológicos (usgs y noaa) y organizaciones académicas internacionales como el BGI (Buro Gravimetrique International, Francia) o el BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Alemania), que cuentan con bases de datos con información parcial de acceso público. En el anexo 3 se incluye un directorio de servicios geológicos en América latina en donde es posible ubicar parte de dichos trabajos. El anexo 2 por otra parte, incluye un directorio de páginas Web extraídas del regional Geophysics Llink Page, que comprende direcciones de datos geofísicos por regiones, de sociedades académicas que pueden contar con información relevante al SAG, así como de datos geológicos regionales y en general software relacionado con el procesado de interpretación geofísica. Algunos de los sitios

Alguns dos *sites* mencionados proporcionam a informação e o *software* de forma gratuita.

Após uma busca em vários dos *sites* incluídos no anexo mencionado, pode-se afirmar que o Setor Operativo Norte (SON) do SAG conta com uma fonte de dados mais ampla que a do SOS, particularmente por causa do volume de informação que se pode aceder nas páginas do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) ou do Ministério de Minas e Energia (DNPM). A respeito do SOS, que é o objetivo principal deste documento, existe menos informação que possa ser de utilidade, não obstante possam, talvez, ser resgatados alguns perfis gravimétricos regionais da base de dados do continente sul-americano, gerada pelo Departamento de Estudos Litosféricos da Universidade de Texas (www.ngde.noaa.gov/seg/cdroms/grav99v1/data/regional).

Entre a informação mais relevante que se pode obter estão vários perfis gravimétricos regionais de anomalia de Bouger de ar livre ou residual (sem correção do terreno) que cruzam o SAG marginalmente. A figura 87 mostra em linhas contínuas os perfis disponíveis dentro e fora da zona de influência do SAG, e a figura 88 mostra um exemplo de um dos perfis regionais que corresponde ao que se situa bem ao sul da zona do SAG marcada com linha contínua na figura 87. Esse perfil se estende desde a costa do Oceano Pacífico até o Atlântico, passando pelo litoral norte do Rio da Prata. Embora na página da *web* supracitada, encontre-se muita informação gráfica relacionada com a base de dados gravimétrica relativa à América do Sul, não existem nem os dados georreferenciados e nem o relatório escrito com essa informação ou com outra que pudesse ser útil para sua reinterpretação. Entretanto, em caso de necessidade, é possível solicitar essa informação diretamente à Universidade de Texas em Houston.

que se incluyen proporcionan la información y/o el software de manera gratuita.

De una búsqueda realizada por varios de los sitios que se incluyen en dicho Anexo, se puede afirmar que el Sector Operativo Norte (SON) del SAG cuenta con una fuente de datos más amplia que la del SOS, particularmente por el volumen de información que se puede acceder de las páginas del Servicio Geológico do Brasil (CPRM) o del Ministerios das Minas e Energía (DNPM). Respecto al SOS, el cual es el objetivo principal de este documento, existe menos información que puede ser de utilidad aunque sin embargo, se pueden rescatar tal vez algunos perfiles gravimétricos regionales de la base de datos del continente Sudamericano generada por el Departamento de Estudios Litosféricos de la Universidad de Texas (www.ngdc.noaa.gov/seg/cdroms/grav99v1/data/regional).

Entre la información mas relevante que se puede obtener están varios perfiles gravimétricos regionales) de anomalía de Bouguer de Aire Libre o Residual (sin corrección de terreno) que cruzan el SAG marginalmente. La ***Figura 87*** *muestra con líneas continuas los perfiles disponibles dentro y fuera de la zona de influencia del SAG en tanto que la* ***Figura 88*** *muestra un ejemplo de uno de los perfiles regionales, que corresponde al que se ubica justo al sur de la zona del SAG marcada con línea continua en la Figura. 87. Este perfil se extiende desde la costa del Océano Pacífico hasta el Atlántico pasando por el litoral norte del Río de la Plata. Aunque en la página Web mencionada se encuentra mucha información gráfica relacionada con la base de datos gravimétrica sudamericana, no existen los datos georeferenciados ni el reporte escrito con ésta información u otra que pueda ser de utilidad para su re-interpretación. Sin embargo, en caso de ser necesario es posible solicitar la información directamente a la Universidad de Texas en Houston.*

Figura 87.-
Mapa de perfis gravimétricos na América do Sul. Vários perfis cortam o SAG, pelo que esta informação é potencialmente útil.

Figura 87.-
Mapa de perfiles gravimétricos en América del Sur. Varios perfiles cortan al SAG por lo que esta información es potencialmente útil.

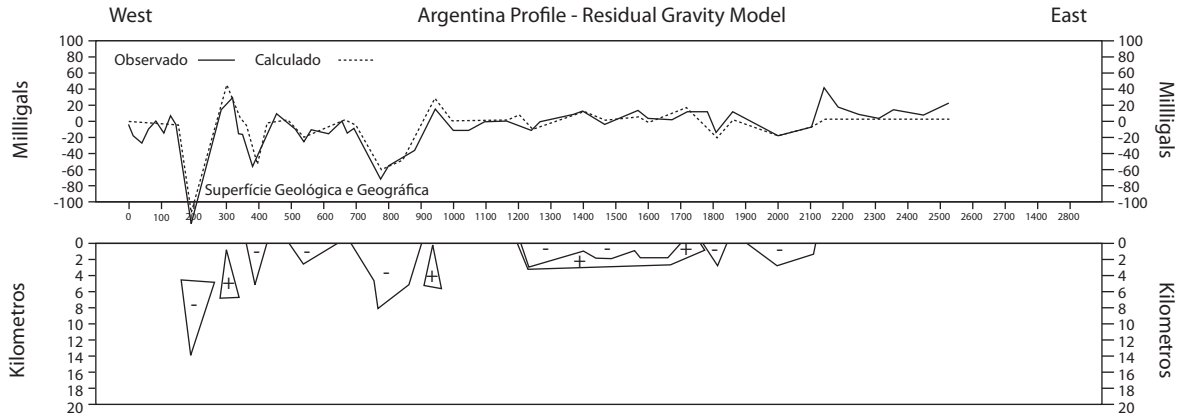


Figura 88.-
Perfil gravimétrico regional de anomalia residual entre o Oceano Pacífico e o Atlântico, precisamente ao sul do SAG.

Figura 88.-
Perfil gravimétrico regional de anomalía residual entre el Océano Pacífico y el Atlántico, justo al sur del SAG.

10 REFERÊNCIAS / *REFERENCIAS*

ALDRIDGE, D. F.; OLDENBURG, D. W. Refractor imaging using an automated wavefront reconstruction method. **Geophysics**, 57, 3, p. 378-385, 1992.

ARCHIE G. E. The electrical resistivity log as an aid to determining some reservoir characteristics. **Trans AIME.**, 146, p. 389-409, 1942.

BAHR, K. Geological noise in magnetotelluric data: a classification of distortion types. **Phys. Earth Planet. Inter.**, 66, p. 24-38, 1990.

BARKER, R. D. Signal contribution sections and their use in resistivity studies. **Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society**, 59, 1, p. 123-129, 1979.
_____. Offset system of electrical resistivity sounding and its use with a multicore cable. **Geophysical Prospecting**, 29, 1, p. 128-143, 1981.

BHATTACHARYA, P. K.; PATRA, H. P. **Direct current electric sounding**. Amsterdam: Elsevier, 1968.

BARRY, K. M. Delay time and its application to refraction profile interpretation. In: MUSGROVE, A. W. (Ed.). **Seismic Refraction Prospecting, SEG**, p. 348-362, 1967.

BROADBENT, M.; HABBERJAM, G. M. A solution to the dipping interface problem using the square array resistivity technique. **Geophysical Prospecting**, 19, 3, p. 321-338, 1971.

CAGNIARD, L. Basic theory of the magneto-telluric method of geophysical prospecting. **Geophysics**, 18, p. 605-635, 1953.

CASAS, A. Prospección geofísica aplicada a la hidrología: Metodologías y técnicas emergentes. In: OLMO-ALARCÓN; GÓMEZ-GETA (Ed.). **Actualidad de las técnicas geofísicas aplicadas en hidrología, s**. Instituo Geológico y Minero de España, 2000.

CLAERBOUT, J. F. **Fundamentals of geophysical data processing**. New York: McGraw-Hill, 1976.
_____. **Imaging the Earth´s interior**. Oxford, Blackwell Scientific, 1985.

CONSTABLE, S. C.; PARKER, R.L.; CONSTABLE, C. G. Occam´s inversion: A practical algorithm for generating smooth models from electromagnetic sounding data. **Geophysics**, 52, 3, p. 289-300, 1987.

CORBO, F. **Modelo geofísico del Acuífero Guaraní: zona comprendida entre Uruguay y Argentina**. Tesis (Maestría)–Universidad Nacional Autónoma de México, 2006.

CORBO, F.; OLEAGA, A.; ARZATE, J. **Análisis comparativo de dos métodos geofísicos (SEV-MT) aplicados en la zona termal del Sistema Acuífero Guaraní en Argentina y Uruguay**. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE GEOLOGÍA, Quito, Ecuador, 2005.

DAILY W. Y OWEN E. Cross-borehole resistivity tomography. **Geophysics**, 56, 8, p. 1228-1235, 1991.

DE SANTA ANA, H.; FERNÁNDEZ GARRASINO, C.; FULFARO, F. Proyecto para la protección Ambiental y Desarrollo sostenible del Sistema Acuífero Guaraní (Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay). **Primer Informe Geológico**. Consorcio Guaraní. Montevideo, Uruguay, 2006.

DOBRIN, M. B.; DAVIT, C. H. **Introduction to geophysical prospecting**. 4th edn. New York: McGraw-Hill, 1988.

EWING, M.; WORZEL, J.; PEKERIS, C. L. **Geological Society of America**, Memoir 27, 1948.

FAUST, L. Y. Seismic velocity as a function of depth and geologic time. **Geophysics**, 16, 2, p. 192-206, 1951.

FECHNER, T. H.; WHITTAKER, J.; DIETRICH, P. **Seismic tomography for characterization of a hydrogeological test-site**. Proceedings II Meeting EEGS. Nantes, 1996

GARDNER, L. W. An areal plan of mapping subsurface structure by refraction shooting. **Geophysics**, 4, 4247-259, 1939.

_____. Refraction seismograph profile interpretation. In: MUSGROVE, A. W. (Ed.). **Seismic Refraction Prospecting, SEG**, p. 338-347, 1967.

GHOSH, D. P. The application of linear filter theory to the direct interpretation of geoelectrical resistivity sounding measurements. **Geophysical Prospecting**, 19, p. 192-217, 1971.

GROOM, R. W.; BAILEY. R. C. Decomposition of Magnetotelluric Impedance Tensor in the presence of Local 3-D Galvanic Distortion. **Journal of Geophysical Research**, n. B-2, p. 1913-1925, 1989.

HABBERJAM, G. M.; WATKINS, G. E. Evaluation of terrain effects in ground magnetic surveys. **Geophysics**, 36, 3, p. 582-589, 1967a.

HAGEDOORN, J. G. The plus-minus method of interpreting seismic refraction sections. **Geophysical Prospecting**, 7, 2, p. 158-182, 1959.

HALES, F. W. An accurate graphical method for interpreting seismic refraction lines. **Geophysical Prospecting**, 6, 3, 285-314, 1958.

HAMMER, S. Estimating ore masses in gravity prospecting. **Geophysics**, 10, 1, p. 50-62, 1945.

HATTON, L.; WORTHINGTON, M. H.; MAKIN, J. **Seismic data processing:** Theory and practice. Oxford: Blackwell Scientific, 1986.

HILL, N. R. Downward continuation of refracted arrivals to determine shallow structure. **Geophysics**, 52, 9, p. 1188-1198, 1987.

HOWELL, B. F. **An introduction to seismological research, history and development**. Cambridge University Press, 1990.

JACOBS, J. A. **Deep interior of the Earth**. Londres: Chapman and Hall, 1992.

JONES A. G. Static shift of magnetotelluric data and its removal in a sedimentary basin environment. **Geophysics**, v. 53, n. 7, p. 967-978, 1988.

KOEFOED, O. **Geosounding principles**. Amsterdam: Elsevier, 1979.

KOMATINA, S. **Quantification of hydrogeological parameters by geophysical methods**. Proceedings III Meeting EEGS. Aharus, 1997.

KORVIN, G. **Geoexploration**, 19, p. 267-276, 1982.

LANKSTON, R. W. High-resolution refraction data acquisition and interpretation. In: WARD, S. H. (Ed.). **Geotechnical and environmental geophysics**, **SEG**, vol. I, p. 45-73, 1990.

LEGCHENKO, A. V.; BALTASSAT, J. M.; BEAUCE, A.; MAKKI, M. A.; AL-GAYDI, B. A. **Application of the surface proton magnetic resonance method for the detection of fractured granite aquifers**. Proceedings IV Meeting EEGS, Barcelona, 1998.

LEGCHENKO, A.; BEAUCE, A.; GUILLEN, A.; VALLA, P.; BERNARD, J. **Capability of the NMR applied to aquifers investigation from the surface**. Proceedings II Meeting EEGS. Nantes, 1996.

LOUIS, J.; KARASTATHIS, V. Estimation of water retaining properties of rocks from seismic and resistivity data in north Greece. Abstracts 54th Meeting EAEG. París, p. 714-715, 1992.

LUGG, R. Marine seismic sources. In: FITCH, A. A. (Ed.). Developments in geophysical exploration methods. **Applied Science Publishers**, London, vl. 1, p. 143-203, 1979.

MADDEN, T.; NELSON, P. A defense of Cagniard`s magnetotelluric method, ONR. Rept, NR 371-401, **Geophysics. Lab**., MIT., 1964.

MC QUILLIN, R. M.; BACON, M.; BARCLAY, W. **An introduction to seismic interpretation**. London: Graham y Trotman, 1984.

MEYER DE STADELHOFEN, C. Applications de la géophysyque aux recherches d´eau. Technique et Documentation, Lavoisier, 1991.

MILLER, R. D.; PULLAN, S. E.; WALDNER, J. S.; HAENI, F. P. Field comparison of seismic shallow sources. **Geophysics**, 51, 11, p. 2067-2092, 1986.

MILLER, R. D.; PULLAN, S. E.; STEEPLES, D. W.; HUNTER, J. A. Field comparison of seismic shallow sources near Chino California. **Geophysics**, 57, 5, p. 693-709, 1992.
_____. Field comparison of shallow sources P-wave seismic sources near Houston, Texas. **Geophysics**, 59, 11, p. 1713-1728, 1994.

MILSOM, J. **Field geophysics**. Milton Keynes, Open University Press, 2003.
MONNET, R.; CHAPELIER, D.; FURRER, J. Application of geophysical methods to quantify hydraulic parameters in a complex porous aquifer. A case history, Pfynwald-Wallis-Switzerland. Proceedings IV Meeting EEGS. Barcelona, 1998.

MOONEY, H. M.; WETZEL, W. W. **The potentials about a point electrode**. Minnesota: University of Minnesota Press, 1956.

NOEL, M.; XU, B. Archaeological investigations by electric resistivity tomography: a preliminary study. **Geophysical Journal International**, 107, p. 95-102, 1991.

OLEAGA BAZTERRICA, A. **Contribución a la hidrogeología del acuífero Guaraní en el sector Uruguay. Un enfoque integral**. Tesis (Maestría)–Universidad Nacional Autónoma de México, p. 119, 2002.

OLMO-ALARCÓN, M.; LÓPEZ-GETA, J. A. (Eds.). **Actualidades de las técnicas geofísicas aplicadas en hidrogeología**. Instituo Geológico y Minero de España, 2000.

O´NEILL, D. J.; MERRIK, N. P. A digital linear filter for resistivity sounding with a generalized electrode array. **Geophysical Prospecting**, 32, 1, p. 105-123, 1984.

PACHECO, J. **Modelo de subsidencia del Valle de Querétaro y predicción de agrietamientos superficiales**. Tesis (Doctorado)–Universidad Nacional Autónoma de México, 2006.

PALMER, D. **The generalized reciprocal method of seismic refraction interpretation**. SEG, Tulsa, 1980.

REDDY, I.; RANKIN, D.; PHILLIPS, R. Three-dimensional modeling in magnetotelluric and magnetic variational sounding. **Geophysics Journal of the Royal Astronomical Society**, v. 51, p. 313-325, 1977.

REDPATH, B. B. Seismic refraction exploration for engineering site investigation. **National Technical Information Service**, 1973.

REGUEIRO, J. Seam waves: what they are used for (part 1). **Geophysics: The Leading Edge**, 90, 4, 1990a.
_____. Seam waves: what they are used for (part 2). **Geophysics: The Leading Edge**, 90, 8, 1990b.
REYNOLDS, J. M. Electrical properties of ice and the implications for ground penetrating radar. **Geophysical Journal International**, 101, 1, 268, 1990b (*abstract*).
_____. **An introduction to applied and environmental geophysics**. John Wiley & Sons Ltd., 1997.

RODI, W.; MACKIE, R. Nonlinear conjugate gradients algorithm for 2-D magnetotelluric inversion. **Geophysics**, v. 66, n. 1, p. 174–187, 2001.

SCHENCK, F. L. Refraction solutions and wavefront targeting. In: MUSGROVE, A. W. (Ed.). **Seismic Refraction Prospecting, SEG**, p. 416-425, 1967.

SHABTAIE, S.; BENTLEY, C. R.; BLANKENSHIP, D. D.; LOVELL, J. S.; GESSETT, R. M. Dome C geophysical survey. **Antartic Journal of the United State**, 15, 5, p. 2-5, 1980.

SHABTAIE, S.; THYSSEN, F.; BENTLEY, C. R. Deep geoelectrical and radar soundings at Dome C, East Antartica. **Annals of Glaciology**, 3, 342, 1982.

SHIMA, H. Two dimensional automatic resistivity inversion technique using alpha centers. **Geophysics**, 55, p. 682-694, 1990.

SIECK, H. C.; SELF, G. W. Analysis of high resolution seismic data. Memoir 16: Seismic stratigraphy: Applications to hydrocarbon exploration. **American Association of Petroleum Geologists**, p. 353-385, 1977.

SMELLIE, D. W. Elementary approximation in aeromagnetic interpretation. **Geophysics**, 21, 4, p. 1021-1040, 1956.

SMITH, R. A. Some depth formulae for local magnetic and gravity anomalies. Geophysical Prospecting, 7, 1, p. 55-63, 1959.

SMITH, J. T.; BROKER, J. R. Rapid Inversion of two and three Dimensional Magnetotelluric data. J. **Geophysics Research**, 96, n. B-3, p. 3905-3922, 1991.

SÖRENSEN, K. Pulled array continuous electrical profiling. Symposium on the application of geophysics to engineering and environmental problems. **SAGEEP**´94, 2, p. 977-983, 1994.

STERNBERG, B. K.; WASHBURNE, J. C.; PELLERIN, L. Correction for static shift in magnetotellurics using transient electromagnetic sounding. **Geophysics**, 53, p. 1459-1468, 1988.

SWIFT, C. M. **A magnetotelluric investigation of an electrical conductivity anomaly in the southwestern United State**. Tesis (Doctoral) M. I. T., 1967.

TELFORD, W. M.; GELDART, L. P.; SHERIFF, R. E.; KEYS, D. A. **Applied Geophysics**. 2nd. Edn. Cambridge University Press, 1990.

THORNBURGH, H. R. Wavefront diagrams in seismic interpretation. Bull. **Of the Am. Association of Petroleum Geologists**, 14, p. 185-200, 1930.

TIMCO, G. W. An analysis of in situ resistivity of sea ice in terms of its microstructure. **Journal of Glaciology**, 22, 88, p. 461-471, 1979.

TROREY, A. W. A simple theory for seismic diffractions. **Geophysics**, 35, 5, p. 762-784, 1970.

VIDALE, J. Finite-difference calculation of travel times in three dimensions. **Geophysics**, 55, 6, p. 521-526, 1990.

VOZOFF, K. The Magnetotellúric method in the exploration of sedimentary basins. **Geophysics**, 37,1, pp 98-141, 1972.

WAFF, H.; RYGH, J.; LIVELYBROOKS, D.; CLINGMAN, W. Results of a magnetotelluric traverse across western Oregon: crustal resistivity structure and the subduction of the Juan de Fuca Plate. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 87, p. 313-324, 1988.

WATERS, K. H. **Reflection seismology**: A tool for energy source exploration. 3. ed. New York: John Wiley, 1978.

WEIDELT, P. The inverse problem of geomagnetic induction. **Zeitschrift fur Geophysik**, n. 38, p. 257-289, 1972.

WYLLIE, M. R.; GREGORY, A. R.; GARDNER, G. H. F. An experimental investigation of factors affecting elastic wave velocities in porous media. **Geophysics**, 23, 3, p. 459-493, 1958.
WYROBEK, S. M. Application of delay and intercept times in the interpretation of multi-layer refraction time distance curves. **Geophysical Prospecting**, 4, 2, p. 112-130, 1956.

XU, B. Y.; NOEL, M. On the completeness of data sets with multielectrode systems for electrical resistivity survey. **Geophysical Prospecting**, 41, 6, p. 791-801, 1993.

YILMAZ, O. **Investigations in Geophysics**: Seismic data processing. SEG, Tulsa, 1987. Volume 2.

ZOHDY, A. A. R. A new method for the interpretation of Schlumberger and Wenner sounding curves. **Geophysics**, 54, 2, p. 245-253, 1989.

11 Anexos

11.1 Anexo 1 Métodos geofísicos convencionais aplicados a problemas hidrogeológicos

	MÉTODO GEOFÍSICO			PROBLEMA HIDROLÓGICO			
				Determinação de parâmetros geométricos		Determinação de parâmetros sobre qualidade da água e contaminação	Determinação de parâmetros hidrogeológicos
	Método	Parâmetro medido	Unidades	Caracterização de estruturas	Localização de aquíferos		
1	**Método gravimétrico** Gravimetria convencional Microgravimetria	• Variações de campo gravitacional (g) • Densidade	MiliGals (mGal) (1mGal=10-5 m/ s2)	• Profundidade da base • Morfologia de bacias sedimentares • Posição e salto de falhas • Condições de fronteira • Localização de paleocanales e vales enterrados	Ambientes sedimentares: - localização de bacias - morfologia de bacias sedimentares • Rochas ígneas e metamórficas: - detecção de falhas e zonas fraturadas - localização de alterações (zonas meteorizadas) • Rochas vulcânicas: - localização de formações não compactas - localização de lavas fraturadas - limites por filões injetados e lavas competentes • Rochas calcárias: - localização de *karsts*		

	MÉTODO GEOFÍSICO			PROBLEMA HIDROLÓGICO			
	Método	Parâmetro medido	Unidades	Determinação de parâmetros geométricos		Determinação de parâmetros sobre qualidade da água e contaminação	Determinação de parâmetros hidrogeológicos
				Caracterização de estruturas	Localização de aquíferos		
2	**Método magnético** • Campo total • Gradiente • Susceptibilidade magnética	• Campo magnético • Susceptibilidade magnética	Nanotesla (nT) (1nT=1gamma = 10-6 CGS)	• Mapa de rochas vulcânicas • Localização de zonas de fratura • Precisão e salto de falhas	• <u>Rochas ígneas e metamórficas:</u> - detecção de falhas e zonas fraturadas - localização de alterações (zonas meteorizadas) <u>• Rochas vulcânicas:</u> - localização de formações não compactas - localização de coladas fraturadas - limites por filões injetados e lavas competentes		
3	**Autopotencial** • SP	• Potencial natural	Milivolts (mV)	• Limite de aquíferos superficiais	• localização olhos de água • limite de aquíferos superficiais	• Circulação térmica • Fugas de água • Fluxo subterrâneo	• Direção de fluxo

	MÉTODO GEOFÍSICO			PROBLEMA HIDROLÓGICO			
				Determinação de parâmetros geométricos		Determinação de parâmetros sobre qualidade da água e contaminação	Determinação de parâmetros hidrogeológicos
	Método	Parâmetro medido	Unidades	Caracterização de estruturas	Localização de aquíferos		
4	**Resistividade elétrica** • Sondagens • Calicatas ou perfilagem	• Resistividade elétrica	Ohm por metro (Ohm-m)	• Espessura de sedimentos • Litologia • Contatos • Estruturas geológicas • Morfologia de bacias sedimentares • Posição e salto de falhas • Condições de fronteira • Localização de paleocanais e vales enterrados	Ambientes sedimentares: - localização de bacias - morfologia de bacias sedimentares • Rochas ígneas e metamórficas: - detecção de falhas e zonas fraturadas - localização de alterações (zonas meteorizadas) • Rochas vulcânicas: - localização de formações fraturadas - limites por filões injetados e lavas competentes • Rochas calcárias: - localização de *karsts*	• Salinidade da água • Posição da interface água doce–salgada • Plumas de contaminação (hidrocarbonetos, lixões, fertili-zantes) • Cartografia de camadas protetoras impermeáveis • Localização de zonas fraturadas • Temperatura da água	• Permeabilidade (condutividade hidráulica) • Direção de fluxo profundidade do nível freático
5	**Polarização induzida** • Dom. tempo • Dom. frequência	• Cargabilidade • Polarizabilidade	milissegundos (ms) Porcentagem (%)			• Invasão de água salgada	• Direção do fluxo

	MÉTODO GEOFÍSICO			PROBLEMA HIDROLÓGICO			
	Método	Parâmetro medido	Unidades	Determinação de parâmetros geométricos		Determinação de parâmetros sobre qualidade da água e contaminação	Determinação de parâmetros hidrogeológicos
				Caracterização de estruturas	Localização de aquíferos		
6	**Métodos eletromagnéticos** **(EM)** • VLF • HLEM • CSAMT • MT-AMT • TDEM • Georadar	• Condutividade elétrica • Diferença de fase •Tempo de chegada	Siemens por metro (S/m) graus nanosegs (ns)	Espessura de sedimentos • Litologia • Estruturas geológicas • Profundidade de bacias • Depósitos superficiais • Zonas de fratura • Morfologia de bacias sedimentares • Posição e salto de falhas • Condições de fronteira • Localização de paleocanais e vales enterrados	<u>Ambientes sedimentares:</u> - localização de bacias - morfologia de bacias sedimentares • <u>Rochas ígneas e metamórficas:</u> - detecção de falhas e zonas fraturadas - localização de alterações (zonas meteorizadas) • <u>Rochas vulcânicas:</u> - localização de formações fraturadas - limites por filões injetados e lavas competentes • <u>Rochas calcárias:</u> - localização de *karsts*	- zonas alteradas - salinidade da água - posição da interface água doce–salgada • Plumas de contaminação (hidrocarboneto, lixões, fertilizantes) • Cartografia de camadas protetoras impermeáveis • Localização de zonas fraturadas • Temperatura da água	• Permeabilidade (condutividade hidráulica) • Direção de fluxo profundidade do nível freático
7	**Exploração sísmica** • Refração • Reflexão	• Tempo de chegada • Velocidade de propagação	Milissegundos (ms) metros/seg (m/s)	• Fraturamento • Mapeamento • Estratigrafia • Posição e salto de falhas • Condições de fronteira • Localização de paleocanais e vales enterrados	• <u>Rochas ígneas e metamórficas:</u> - detecção de falhas e zonas fraturadas - localização de alterações (zonas meteorizadas) • <u>Rochas vulcânicas:</u> - localização de formações fraturadas - limites por filões injetáveis e lavas competentes • <u>Rochas calcárias:</u> - localização de *karsts*	• Localização de zonas fraturadas	• Profundidade do nível freático • Porosidade • Coeficiente de armazenamento

	MÉTODO GEOFÍSICO			PROBLEMA HIDROLÓGICO			
	Método	Parámetro medido	Unidades	Determinación de parámetros geométricos		Determinación de parámetros sobre calidad del agua y contaminación	Determinación de parámetros hidrogeológicos
				Caracterización de estructuras	Localización de acuíferos		
1	**Método gravimétrico** Gravimetría convencional Micro-Gravimetría	• Variaciones del Campo gravitacional (g) • Densidad	MiliGals (mGal) (1mGal=10-5 m/ s2)	• Profundidad del basamento • Morfología de cuencas sedimentarias • Posición y salto de fallas • Condiciones de frontera • Localización de paleocanales y valles enterrados	Ambientes sedimentarios: - localización de cuencas - morfología de cuencas sedimentarias • Rocas ígneas y metamórficas: - detección de fallas y zonas fracturadas - localización de alteraciones (zonas meteorizadas) • Rocas volcánicas: - llocalización de formaciones no compactas - localización de coladas fracturadas - límites por filones inyectados y coladas competentes • Rocas calizas: - localización del karsts		

	MÉTODO GEOFÍSICO			PROBLEMA HIDROLÓGICO			
	Método	Parámetro medido	Unidades	Determinación de parámetros geométricos		Determinación de parámetros sobre calidad del agua y contaminación	Determinación de parámetros hidrogeológicos
				Caracterización de estructuras	Localización de acuíferos		
2	**Método magnético** • Campo total • Gradiente • Susceptibilidad Magnética	• Campo magnético • Susceptibilidad magnética	Nanotesla (nT) (1nT=1gamma = 10-6 CGS)	• Mapeo de rocas volcánicas • Ubicación de zonas de fractura • Posición y salto de fallas	• <u>Rocas ígneas y metamórficas:</u> - detección de fallas y zonas fracturadas - localización de alteraciones (zonas meteorizadas) • <u>Rocas volcánicas:</u> - localización de formaciones no compactas - localización de coladas fracturadas - límites por filones inyectados y coladas competentes		
3	**Auto-potencial** • SP	• Potencial natural	Milivolts (mV)	• Límite de acuíferos superficiales	• localización ojos de agua • límite de acuíferos superficiales	Circulación térmica • Fugas de agua • Flujo subterráneo	• Dirección de flujo

	MÉTODO GEOFÍSICO			PROBLEMA HIDROLÓGICO			
	Método	Parámetro medido	Unidades	Determinación de parámetros geométricos		Determinación de parámetros sobre calidad del agua y contaminación	Determinación de parámetros hidrogeológicos
				Caracterización de estructuras	Localización de acuíferos		
4	**Resistividad Eléctrica** • Sondeos • Calicatas o Perfilaje	• Resistividad eléctrica	Ohm por metro (Ohm-m)	• Espesor de sedimentos • Litología • Contactos • Estructuras geológicas • morfología de cuencas sedimentarias • posición y salto de fallas condiciones de frontera • localización de paleocanales y valles enterrados	Ambientes sedimentarios: - llocalización de cuencas - morfología de cuencas sedimentarias • Rocas ígneas y metamórficas: - detección de fallas y zonas fracturadas - localización de alteraciones (zonas meteorizadas) • Rocas volcánicas: - localización de formaciones fracturadas - límites por filones inyectados y coladas competentes • Rocas calizas: - localización del karsts	• *salinidad del agua* • *posición de la interfase agua dulce – salada* • *plumas de contaminación (hidrocarburos, vertederos, fertilizantes)* • *cartografía de capas protectoras impermeables* • *localización de zonas fracturadas* • *temperatura del agua*	• permeabilidad (conductividad hidráulica) • dirección de flujo profundidad del nivel freático
5	**Polarización Inducida** • Dom. Tiempo • Dom. Frecuencia	• Cargabilidad • Polarizabilidad	milisegundos (ms) Porcentaje (%)			• Invasión de agua salada	• dirección de flujo

	MÉTODO GEOFÍSICO			PROBLEMA HIDROLÓGICO			
	Método	Parámetro medido	Unidades	Determinación de parámetros geométricos		Determinación de parámetros sobre calidad del agua y contaminación	Determinación de parámetros hidrogeológicos
				Caracterización de estructuras	Localización de acuíferos		
6	**Métodos Electro-magnéticos** **(EM)** • VLF • HLEM • CSAMT • MT-AMT • TDEM • Georadar	• Conductividad eléctrica • Diferencia de fase • Tiempo de arribo	Siemens por metro (S/m) grados nanosegs (ns)	• Espesor de sedimentos • Litología • Estructuras geológicas • Profundidad de cuencas • Depósitos superficiales • Zonas de fractura • morfología de cuencas sedimentarias • posición y salto de fallas condiciones de frontera • localización de paleocanales y valles enterrados	Ambientes sedimentarios: - Localización de cuencas - morfología de cuencas sedimentarias • Rocas ígneas y metamórficas: - detección de fallas y zonas fracturadas - localización de alteraciones (zonas meteorizadas) • Rocas volcánicas: - localización de formaciones fracturadas - límites por filones inyectados y coladas competentes • Rocas calizas: - localización del karsts	- Zonas alteradas - salinidad del agua - posición de la interfase agua dulce - salada • plumas de contaminación (hidrocarburos, vertederos, fertilizantes) • cartografía de capas protectoras impermeables • localización de zonas fracturadas • temperatura del agua	• permeabilidad (conductividad hidráulica) • dirección de flujo profundidad del nivel freático
7	**Exploración Sísmica** • Refracción • Reflexión	• Tiempo de arribo • Velocidad de propagación	Milisegundos (ms) metros/seg (m/s)	• fracturamiento • mapeo • estratigrafía • posición y salto de fallas • condiciones de frontera • localización de paleocanales y valles enterrados	• Rocas ígneas y metamórficas: - detección de fallas y zonas fracturadas - localización de alteraciones (zonas meteorizadas) • Rocas volcánicas: - localización de formaciones fracturadas - límites por filones inyectados y coladas competentes • Rocas calizas: - localización del karsts	• localización de zonas fracturadas	• profundidad del nivel freático • porosidad • coeficiente de almacenamiento

11.2 Anexo 2 Páginas selecionadas de interesse para estudiosos do SAG

(Extratos da *Regional Geophysics Link Page*)

Dados geofísicos por região

África (GETECH)
http://www.getech.com/
Continent wide gravity data compilations

Andes Geophysical Laboratory
http://estrella.geol.sc.edu/~agl/
Andean geophysical data products

Brasil
http://www.cprm.gov.br/index.html
Serviço Geológico do Brasil

Bureau Gravimetrique International
http://bgi.cnes.fr/
Access to the worldwide gravimetric database: land, marine & reference data.

Canadá
http://www.nrcan.gc.ca/gsc/data_e.html
Geological Survey of Canada

Europe Wide Gravity Image
http://www.gcn.ou.edu/~jahern/solid_earth/readings/eurograv.html
Image only of gravity compilation

Europe wide Magnetics
http://www.gga-hannover.de/gga_engl/index.htm?page=/gga_engl/downloads/mag_a
Image only magnetic compilation

France (BRGM)
http://www.brgm.fr/
Information about French datasets

Geogratis Canadá
http://geogratis.cgdi.gc.ca/
Free geological, geophysical and remote sensing datasets

Global Magnetic Anomaly Map Project
http://www.ngdc.noaa.gov/IAGA/wg9/map.html
Project to collate world's magnetic anomaly data

11.2 Anexo 2.- Páginas seleccionadas de interés para estudiosos del SAG

(Extractos de la Regional Geophysics Link Page)

Datos Geofísicos por región

África (GETECH)
http://www.getech.com/
Continent wide gravity data compilations

Andes Geophysical Laboratory
http://estrella.geol.sc.edu/~agl/
Andean geophysical data products

Brasil
http://www.cprm.gov.br/index.html
Serviço Geológico do Brasil

Bureau Gravimetrique International
http://bgi.cnes.fr/
Access to the worldwide gravimetric database: land, marine & reference data.

Canada
http://www.nrcan.gc.ca/gsc/data_e.html
Geological Survey of Canada

Europe Wide Gravity Image
http://www.gcn.ou.edu/~jahern/solid_earth/readings/eurograv.html
Image only of gravity compilation

Europe wide Magnetics
http://www.gga-hannover.de/gga_engl/index.htm?page=/gga_engl/downloads/mag_a
Image only magnetic compilation

France (BRGM)
http://www.brgm.fr/
Information about French datasets

Geogratis Canadá
http://geogratis.cgdi.gc.ca/
Free geological, geophysical and remote sensing datasets

Global Magnetic Anomaly Map Project
http://www.ngdc.noaa.gov/IAGA/wg9/map.html
Project to collate world's magnetic anomaly data

Radarsat
http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/data/showcase/showcase_e.html
Free radar data for Canada

United States Geological Survey
http://crustal.usgs.gov/crustal/geophysics/
Access to many open file geophysical datasets

USGS Geode Program
http://geode.usgs.gov/
Open Access USGS datasets

Sociedades geocientíficas

AGSO JAGG 17/2 1997
http://www.ga.gov.au/rural/projects/JAGG_17_2_index.jsp
Collection of papers available for download as pdfs on regional magnetic and radiometric surveys

Organizações Profissionais e Científicas
http://www.uh.edu/~jbutler/geophysics/org.htm
Links to most major Geophysical Societies

Australian Society of Exploration Geophysics
http://www.aseg.org.au/
Publisher of the journal Exploration Geophysics

European Association of Geoscientists and Engineers
http://www.eage.org/
Publisher of the journal Geophysical Prospecting, Near Surface Geophysics, and Petroleum Geosciences

Society of Exploration Geophysicists
http://www.seg.org/
The largest applied geophysics society, and publisher of the journals The Leading Edge, and Geophs

Companhias de exploração comerciais

Applied Geophysics
http://www.appliedgeophysics.com/
Acquisition, interpretation and reprocessing of aeromagnetic data

Ark Geophysics
http://www.arkgeo.com/
Integrated gravity & seismic interp & software

Radarsat
http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/data/showcase/showcase_e.html
Free radar data for Canada

United States Geological Survey
http://crustal.usgs.gov/crustal/geophysics/
Access to many open file geophysical datasets

USGS Geode Program
http://geode.usgs.gov/
Open Access USGS datasets

Sociedades Geocientíficas

AGSO JAGG 17/2 1997
http://www.ga.gov.au/rural/projects/JAGG_17_2_index.jsp
Collection of papers available for download as pdfs on regional magnetic and radiometric surveys

Organizações Profissionais e Científicas
http://www.uh.edu/~jbutler/geophysics/org.htm
Links to most major Geophysical Societies

Australian Society of Exploration Geophysics
http://www.aseg.org.au/
Publisher of the journal Exploration Geophysics

European Association of Geoscientists and Engineers
http://www.eage.org/
Publisher of the journal Geophysical Prospecting, Near Surface Geophysics, and Petroleum Geosciences

Society of Exploration Geophysicists
http://www.seg.org/
The largest applied geophysics society, and publisher of the journals The Leading Edge, and Geophs

Compañías de exploración comerciales

Applied Geophysics
http://www.appliedgeophysics.com/
Acquisition, interpretation and reprocessing of aeromagnetic data

Ark Geophysics
http://www.arkgeo.com/
Integrated gravity & seismic interp & software

Bird Geophysical
http://www.birdgeo.com/

Gravity and magnetic data interpretation.

EdCon
http://www.edcon.com/
Grav/Mag data acquisition

Fugro
http://www.fugro.com/
Largest geophysical surveyor (ate most of the competitors in the late 1990's)

Gedco
http://www.gedco.com/
Organizes and flies surveys

Getech
http://www.getech.com/
Major database of gravity data from around the world

Integrated Geophysics Corp
http://www.igcworld.com/
Data processing and interpretation

McPhar
http://www.mcphar.com/
Flies EM, heli-grav surveys

Paterson, Grant & Watson
http://www.pgw.on.ca/
One of the long established geophysical data consultants

Pearson, deRidder and Johnson, Inc
http://www.prj.com/
Integrated magnetics, gravity, and geology

Sander Geophysics Limited
http://www.sgl.com/
Specializes in high resolution airborne surveys for petroleum and mineral exploration, and environmental geophysics worldwide

UTS
http://www.uts.com.au/Geophysics/UTSGEO_HomePage.htm
Flies very low level (20m) mag surveys

Bird Geophysical
http://www.birdgeo.com/

Gravity and magnetic data interpretation.

EdCon
http://www.edcon.com/
Grav/Mag data acquisition

Fugro
http://www.fugro.com/
Largest geophysical surveyor (ate most of the competitors in the late 1990's)

Gedco
http://www.gedco.com/
Organizes and flies surveys

Getech
http://www.getech.com/
Major database of gravity data from around the world

Integrated Geophysics Corp
http://www.igcworld.com/
Data processing and interpretation

McPhar
http://www.mcphar.com/
Flies EM, heli-grav surveys

Paterson, Grant & Watson
http://www.pgw.on.ca/
One of the long established geophysical data consultants

Pearson, deRidder and Johnson, Inc
http://www.prj.com/
Integrated magnetics, gravity, and geology

Sander Geophysics Limited
http://www.sgl.com/
Specializes in high resolution airborne surveys for petroleum and mineral exploration, and environmental geophysics worldwide

UTS
http://www.uts.com.au/Geophysics/UTSGEO_HomePage.htm
Flies very low level (20m) mag surveys

Bases geológicas

Comissão para o Mapa Geológico Mundial
http://www.cgmw.org/
The CGMW aims are to promote, coordinate and publish synthetic Earth sciences maps, at small scale and/or oceanic areas of the World. It is a non-profit scientific and pedagogic body governed

Geología Digital del Mundo de Conrell
http://atlas.geo.cornell.edu/
Digital global geology compilation

Directorio de Servicios Geológicos Latinos
http://www.igme.es/internet/ASGMI/directorio_miembros.htm
Compañias estatales de servicio geológico

Earth Science Information Partners
http://www.esipfed.org/index.jsp
Gateway to many online Earth Science resources

Free GeoData
http://www.geog.uni-hannover.de/phygeo/geodaten.html
Another set of links to various free data sources

Geological Survey of Canada
http://www.nrcan.gc.ca/gsc/data_e.html
Country-wide data compilations

Geoscience Australia
http://www.ga.gov.au/
Ex AGSO, ex BMR, ex Auslig, supplier of geological and geophysical datasets from across Australia

Lista mundial de Servicios Geológicos
http://www.dme.wa.gov.au/prodserv/pub/mining_info/magix/
Links to geological surveys from everywhere

MineralTown.com: minerals and mineralogy
http://www.mineraltown.com/
Minerals, mineralogy, rocks and fossils. Articles, educational contents, photo galleries, trade zone engine and directory.

United States Geological Survey
http://www.usgs.gov/
Many forms of on-line data access

Bases geológicas

Comissão para o Mapa Geológico Mundial
http://www.cgmw.org/
The CGMW aims are to promote, coordinate and publish synthetic Earth sciences maps, at small scale and/or oceanic areas of the World. It is a non-profit scientific and pedagogic body governed

Geología Digital del Mundo de Conrell
http://atlas.geo.cornell.edu/
Digital global geology compilation

Directorio de Servicios Geológicos Latinos
http://www.igme.es/internet/ASGMI/directorio_miembros.htm
Compañias estatales de servicio geológico

Earth Science Information Partners
http://www.esipfed.org/index.jsp
Gateway to many online Earth Science resources

Free GeoData
http://www.geog.uni-hannover.de/phygeo/geodaten.html
Another set of links to various free data sources

Geological Survey of Canada
http://www.nrcan.gc.ca/gsc/data_e.html
Country-wide data compilations

Geoscience Australia
http://www.ga.gov.au/
Ex AGSO, ex BMR, ex Auslig, supplier of geological and geophysical datasets from across Australia

Lista mundial de Servicios Geológicos
http://www.dme.wa.gov.au/prodserv/pub/mining_info/magix/
Links to geological surveys from everywhere

MineralTown.com: minerals and mineralogy
http://www.mineraltown.com/
Minerals, mineralogy, rocks and fossils. Articles, educational contents, photo galleries, trade zone engine and directory.

United States Geological Survey
http://www.usgs.gov/
Many forms of on-line data access

Processamento geofísico

Geosoft Oasis Montaj
http://www.geosoft.com/
Widely used geophysical and geochemical processing suite

Intrepid
http://www.dfa.com.au/
Geophysical processing package well suited to large organizations

USGS Potential-Field Processing Package
http://geology.cr.usgs.gov/pub/fact-sheets/fs-0076-95/FS076-95.html
Command line, but powerful processing and modeling capabilities

Image Processing Chips
http://www.geogr.ku.dk/chips/index.htm
Free, recently released system

Dimple
http://www.process.com.au/AboutDIMPLE.shtml
Low cost image processing package

ENVI
http://www.rsinc.com/
Image Processing Package, especially good at Hyperspectral Data

ERDAS
http://www.erdas.com/
Another image processing package

ERMapper
http://www.ermapper.com/
Widely used image processing package

MicroImages
http://www.microimages.com/
Powerful GIS and Image Analysis Solutions for Desktop or Enterprise.

MultiSpec
http://dynamo.ecn.purdue.edu/~biehl/MultiSpec/
Free Mac/PC image processing package

PCI
http://www.pcigeomatics.com/
Another image processing package

Procesado Geofísico

Geosoft Oasis Montaj
http://www.geosoft.com/
Widely used geophysical and geochemical processing suite

Intrepid
http://www.dfa.com.au/
Geophysical processing package well suited to large organizations

USGS Potential-Field Processing Package
http://geology.cr.usgs.gov/pub/fact-sheets/fs-0076-95/FS076-95.html
Command line, but powerful processing and modeling capabilities

Image Processing Chips
http://www.geogr.ku.dk/chips/index.htm
Free, recently released system

Dimple
http://www.process.com.au/AboutDIMPLE.shtml
Low cost image processing package

ENVI
http://www.rsinc.com/
Image Processing Package, especially good at Hyperspectral Data

ERDAS
http://www.erdas.com/
Another image processing package

ERMapper
http://www.ermapper.com/
Widely used image processing package

MicroImages
http://www.microimages.com/
Powerful GIS and Image Analysis Solutions for Desktop or Enterprise.

MultiSpec
http://dynamo.ecn.purdue.edu/~biehl/MultiSpec/
Free Mac/PC image processing package

PCI
http://www.pcigeomatics.com/
Another image processing package

Image Compression ECW Header Editor
http://www.ermapper.com/
Edit existing ECW file headers

ECW Image Compressor
http://www.ermapper.com/
Ermapper based image compressor, read/write

Mr Sid
http://www.lizardtech.com/
Image compression software (free reader)

Modelagem de inversão geofísica

Book on Geophysical Inverse Theory
http://acoustics.mines.edu/~jscales/gp605/
This is the latest version of the inversion book available on-line.

GM-SYS
http://www.nga.com/
2 1/2 forward and inverse modeling of potential-field data, based on drawing cross-sections

Mag3D
http://www.geop.ubc.ca/ubcgif/
Major 3D inversion package, based on voxels, also exists for gravity & TEM (Can be free to universities)

Mod3D
http://homepages.uni-tuebingen.de/igor.cerovsky/Main_Soft.html
Simple to use 3D modeling of potential-field data

Modelvision
http://www.encom.com.au/
One of the major potential-field forward modeling and inversion tools used in the minerals explorat

Noddy
http://www.encom.com.au/
Forward modeling system based on superposition of structural events

Potent
http://www.geoss.com.au/
Another potential-field forward modeling and inversion tools used in the minerals exploration in ModelVision

Image Compression ECW Header Editor
http://www.ermapper.com/
Edit existing ECW file headers

ECW Image Compressor
http://www.ermapper.com/
Ermapper based image compressor, read/write

Mr Sid
http://www.lizardtech.com/
Image compression software (free reader)

Modelado de Inversión Geofísica

Book on Geophysical Inverse Theory
http://acoustics.mines.edu/~jscales/gp605/
This is the latest version of the inversion book available on-line.

GM-SYS
http://www.nga.com/
2 1/2 forward and inverse modeling of potential-field data, based on drawing cross-sections

Mag3D
http://www.geop.ubc.ca/ubcgif/
Major 3D inversion package, based on voxels, also exists for gravity & TEM (Can be free to universities)

Mod3D
http://homepages.uni-tuebingen.de/igor.cerovsky/Main_Soft.html
Simple to use 3D modeling of potential-field data

Modelvision
http://www.encom.com.au/
One of the major potential-field forward modeling and inversion tools used in the minerals explorat

Noddy
http://www.encom.com.au/
Forward modeling system based on superposition of structural events

Potent
http://www.geoss.com.au/
Another potential-field forward modeling and inversion tools used in the minerals exploration in ModelVision

QuickMag
http://www.encom.com.au/
Relatively new forward modeling and inversion software for potential-field data

Rockware
http://www.rockware.com/
Commercial simple geophysical modeling tools

Steve Sherrif's Grav/Mag modeling Software
http://www.cs.umt.edu/GEOLOGY/FAC/Sheriff/Software/Sheriff%20software.html
Simple potential-field modeling code

Modelagem 3D

3D Geological Editor
http://3dweg.brgm.fr/
BRGM's new system for forward geological modeling and potential-field modeling and inversion

DataMine
http://www.datamine.com.au/index.html
Long established 3D modeling system

Deep Exploration
http://www.righthemisphere.com/
Software to convert between many CAD & 3D Modeling formats

FracSys
http://www.fractaltechnologies.com/
Object Oriented geological database and 3D data visualization

GeoBlock
http://geoblock.sourceforge.net/geoblock.htm
Open Source 3D Modeling system

GEOL_DH and KAI-2001 AutoCAD applications
http://geol-dh.narod.ru/en_index.html
GEOL_DH. Graphical representation of geological, geophysical, surveyor, mining and Reserve calculation. Graphic log. Digitizing

Gocad
http://www.ensg.inpl-nancy.fr/GOCAD/
3D Geological modeling environment

Seismic Modeling Environment
http://people.cs.uct.ac.za/~dburford/vis/sme/welcome.html

QuickMag
http://www.encom.com.au/
Relatively new forward modeling and inversion software for potential-field data

Rockware
http://www.rockware.com/
Commercial simple geophysical modeling tools

Steve Sherrif's Grav/Mag modeling Software
http://www.cs.umt.edu/GEOLOGY/FAC/Sheriff/Software/Sheriff%20software.html
Simple potential-field modeling code

Modelado 3D

3D Geological Editor
http://3dweg.brgm.fr/
BRGM's new system for forward geological modeling and potential-field modeling and inversion

DataMine
http://www.datamine.com.au/index.html
Long established 3D modeling system

Deep Exploration
http://www.righthemisphere.com/
Software to convert between many CAD & 3D Modeling formats

FracSys
http://www.fractaltechnologies.com/
Object Oriented geological database and 3D data visualization

GeoBlock
http://geoblock.sourceforge.net/geoblock.htm
Open Source 3D Modeling system

GEOL_DH and KAI-2001 AutoCAD applications
http://geol-dh.narod.ru/en_index.html
GEOL_DH. Graphical representation of geological, geophysical, surveyor, mining and Reserve calculation. Graphic log. Digitizing

Gocad
http://www.ensg.inpl-nancy.fr/GOCAD/
3D Geological modeling environment

Seismic Modeling Environment
http://people.cs.uct.ac.za/~dburford/vis/sme/welcome.html

3D Modeling system based on morphing between geological cross-sections

Seismic Modeling Software
http://www.norsar.no/Seismod/
The core application for NORSAR seismic modeling packages are 2D and 3D seismic ray modeling.

Vulcan
http://www.vulcan3d.com/
Long established 3D modeling system

11.3 Anexo 3 Diretório de serviços geológicos na América Latina e no Caribe

O Anexo foi extraído parcialmente do documento preparado pela Divisão de Ciências da Terra da Oficina Regional de Ciência (DCT-ORC) da Unesco para a América Latina e o Caribe (Unesco Montevidéu). Não é possível garantir sua exatidão. Com prazer receberemos sugestões para sua correção ou a incorporação de novos dados (favor enviar *e-mail* para geo@unesco.org.uy). O *site* da *web* da referida divisão, http://www.unesco.org.uy/geoibdex.html, inclui outros diretórios/bases de dados da América Latina e do Caribe como, por exemplo, faculdades/departamentos de geociências, Ministérios de Minas e Meio Ambiente, sociedades geocientíficas, observatórios sismológicos, vulcanológicos e geodésicos, museus de geociências e redes geocientíficas.

Informação adicional sobre serviços geológicos em escala mundial e, especialmente sobre a América Latina e o Caribe, pode ser obtida pelos seguintes *sites* da *web*:

- Asociación de Servicios de Geología y Minería Iberoamericanos – ASGMI
  Directorio de Miembros
  http://www.igme.es/internet/ASGMI/directorio_miembros.htm
- Listas e sites Web de Servicios Geológicos
  http://www.segemar.gov.ar/segemar/enlaces.asp
  http://www.gruber.intercorp.com.br/geoserv.html
  http://tierra.rediris.es/geolsurveys.html
  http://www.realtime.net/%7Erevenant/geo.html#GS
- Directorio de Organizaciones de Geociencias del Mundo
  http://www.gsj.jp/Intl/Dir/a.htm

3D Modeling system based on morphing between geological cross-sections

Seismic Modeling Software
http://www.norsar.no/Seismod/
The core application for NORSAR seismic modeling packages are 2D and 3D seismic ray modeling.

Vulcan
http://www.vulcan3d.com/
Long established 3D modeling system

11.3 Anexo 3.- Directorio de servicios geológicos en América latina y el caribe

El Anexo ha sido extraído parcialmente del documento preparado por la División Ciencias de la Tierra de la Oficina Regional de Ciencia (DCT-ORC) de la UNESCO para América Latina y el Caribe (UNESCO Montevideo). No es posible garantizar su exactitud. Con gusto se reciben sugerencias para su corrección o incorporación de nuevos datos (por favor enviar nota electrónica a geo@unesco.org.uy). El sitio Web de la División referida, http://www.unesco.org.uy/geo/index.html, incluye otros Directorios/Bases de Datos de América Latina y el Caribe, por ejemplo sobre Facultades/Departamentos de Geociencias, Ministerios de Minería y Medio Ambiente, Sociedades Geocientíficas, Observatorios Sismológicos, Volcanológicos y Geodésicos, Museos de Geociencias y Redes Geocientíficas.

Se puede obtener información adicional sobre Servicios Geológicos a nivel mundial y especialmente para América Latina y el Caribe a través de los siguientes sitios Web:

- *Asociación de Servicios de Geología y Minería Iberoamericanos – ASGMI*
  Directorio de Miembros
  http://www.igme.es/internet/ASGMI/directorio_miembros.htm
- *Listados y sitios Web de Servicios Geológicos*
  http://www.segemar.gov.ar/segemar/enlaces.asp
  http://www.gruber.intercorp.com.br/geoserv.html
  http://tierra.rediris.es/geolsurveys.html
  http://www.realtime.net/%7Erevenant/geo.html#GS
- *Directorio de Organizaciones de Geociencias del Mundo*
  http://www.gsj.jp/Intl/Dir/a.htm

- Enlaces a Servicios Geológicos del Mundo del Geological Survey of Canada - Commission Géologique du Canada http://www.nrcan.gc.ca/gsc/connections_e.html#intlsurveys
- Diretórios de Servicios Geológicos do Mundo, Organizações Internacionais etc. (do Serviço Geológico Alemão: Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales / Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe – BGR) http://www.bgr.de/ (através da conexão "Institutionen")

- International Consortium of Geological Surveys – ICOGS
cf. http://www.aist.go.jp/GSJ/EXT/GsOWDir.html

- EuroGeoSurveys – Association of the Geological Surveys of the European Union
http://www.eurogeosurveys.org/

- FOREGS – Forum of the European Geological Surveys Directors
http://www.bgr.de/inst/inter.htm#foregs
http://www.pgi.waw.pl/

- Yahoo – Servicios Geológicos
http://dir.yahoo.com/Science/Earth_Sciences/Geology_and_Geophysics
/Geological_Surveys/

- Conferencia Anual de Ministerios de Minería de las Américas – CAMMA (Annual
Conference of Mining Ministries of the Americas)
http://www.camma.org/ (http://mmsd1.mms.nrcan.gc.ca/camma)

- Asociación de Servicios de Geología y Minería Iberoamericanos – ASGMI
http://www.igme.es/internet/ASGMI/

Argentina
Servicio Geológico Minero Argentino – SEGEMAR
Av. Julio A. Roca 651, Piso 10
1322 Capital Federal
Tel.: +5411-4754-4070
Fax: +5411-4754-4070
www.segemar.gov.ar/

Bolívia
Servicio Nacional de Geología y Minería – SERGEOMIN
Federico Zuazo No. 1673 esq. Reyes Ortiz

- Enlaces a Servicios Geológicos del Mundo del Geological Survey of Canada - Commission Géologique du Canada http://www.nrcan.gc.ca/gsc/connections_e.html#intlsurveys
- Directorios de Servicios Geológicos del Mundo, Organizaciones Internacionales, etc. (del Servicio Geológico Alemán: Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales / Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe – BGR) http://www.bgr.de/ (a través del enlace "Institutionen")

- International Consortium of Geological Surveys – ICOGS
cf. http://www.aist.go.jp/GSJ/EXT/GsOWDir.html

- EuroGeoSurveys – Association of the Geological Surveys of the European Union
http://www.eurogeosurveys.org/

- FOREGS – Forum of the European Geological Surveys Directors
http://www.bgr.de/inst/inter.htm#foregs
http://www.pgi.waw.pl/

- Yahoo – Servicios Geológicos
http://dir.yahoo.com/Science/Earth_Sciences/Geology_and_Geophysics
/Geological_Surveys/

- Conferencia Anual de Ministerios de Minería de las Américas – CAMMA (Annual
Conference of Mining Ministries of the Americas)
http://www.camma.org/ (http://mmsd1.mms.nrcan.gc.ca/camma)

- Asociación de Servicios de Geología y Minería Iberoamericanos – ASGMI
http://www.igme.es/internet/ASGMI/

Argentina
Servicio Geológico Minero Argentino – SEGEMAR
Av. Julio A. Roca 651, Piso 10
1322 Capital Federal
Tel.: +5411-4754-4070
Fax: +5411-4754-4070
www.segemar.gov.ar/

Bolivia
Servicio Nacional de Geología y Minería – SERGEOMIN
Federico Zuazo No. 1673 esq. Reyes Ortiz

La Paz
Tel.: 591-2-326 278 / 363 765
Fax: 591-2-391 725
Correio electrônico: sergeomi@caoba.entelnet.bo

Brasil
Serviço Geológico do Brasil – CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais)
Av. Pasteur, 404, Urca, 22292-240
Rio de Janeiro
Tel.: 55-21-295 53 37
Fax: 55-21-542 36 47
Correo electrónico: SEUS@SGB.CPRM.GOV.BR, cprm@cprm.gov.br
www.cprm.gov.br

Chile
Servicio Nacional de Geología y Minería – SERNAGEOMIN
Av. Santa Maria 0104
Casilla 10465
Santiago
Tel.: 56-2- 737 50 50
Fax:56-2-777 19 06
Correo electrónico: sernageo@huelen.reuna.cl
www.sernageomin.cl/

Colômbia
Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Minero-Ambiental y Nuclear –INGEOMINAS
Diagonal 53, No. 34-53
Apartado Aéreo 4865
Bogotá, D.C.
Tel.: 57-1-222 18 11
Fax: 57-1-222 07 97
http://trilobite.ingeomin.gov.co/
www.ingeomin.gov.co/
www.ingeominas.gov.co/
http://www.ingeominas.gov.co/tmsingeominas/PortalUniversal.htm

Equador
Dirección Nacional de Geología – DINAGE
Av. 10 de Agosto No. 39-134 (5844) y Pereira
Quito
Tel.: 593-2-254 673 / 684
Fax: 593-2- 254 674
Correo electrónico: priodemi2@acnet.ec, dinage@andinanet.net
http://www.mineriaecuador.com/
http://www.menergia.gov.ec/php/index.php

La Paz
Tel.: 591-2-326 278 / 363 765
Fax: 591-2-391 725
Correo electrónico: sergeomi@caoba.entelnet.bo

Brasil
Serviço Geológico do Brasil – CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais)
Av. Pasteur, 404, Urca, 22292-240
Rio de Janeiro
Tel.: 55-21-295 53 37
Fax: 55-21-542 36 47
Correo electrónico: SEUS@SGB.CPRM.GOV.BR, cprm@cprm.gov.br
www.cprm.gov.br

Chile
Servicio Nacional de Geología y Minería – SERNAGEOMIN
Av. Santa Maria 0104
Casilla 10465
Santiago
Tel.: 56-2- 737 50 50
Fax:56-2-777 19 06
Correo electrónico: sernageo@huelen.reuna.cl
www.sernageomin.cl/

Colombia
Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Minero-Ambiental y Nuclear –INGEOMINAS
Diagonal 53, No. 34-53
Apartado Aéreo 4865
Bogotá, D.C.
Tel.: 57-1-222 18 11
Fax: 57-1-222 07 97
http://trilobite.ingeomin.gov.co/
www.ingeomin.gov.co/
www.ingeominas.gov.co/
http://www.ingeominas.gov.co/tmsingeominas/PortalUniversal.htm

Ecuador
Dirección Nacional de Geología – DINAGE
Av. 10 de Agosto No. 39-134 (5844) y Pereira
Quito
Tel.: 593-2-254 673 / 684
Fax: 593-2- 254 674
Correo electrónico: priodemi2@acnet.ec, dinage@andinanet.net
http://www.mineriaecuador.com/
http://www.menergia.gov.ec/php/index.php

Paraguai
Dirección de Recursos Minerales
Subsecretaría de Minas y Energía
Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones – MOPC
Los Rosales esq. Ñangapiry
San Lorenzo
Tel. / Fax: 595 21 672-531
Servicio Geológico del Paraguay
Barrio San Miguel
San Lorenzo, Paraguay
Tel.: 59 5 216 6121
Fax: 59 5 216 6121

Perú
Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – INGEMMET
Av. Canadá No. 1470, San Borja
Apartado 889, Lima 41
Tel.: 51-1-224 29 62
Fax: 51-1-225 45 40
Correo electrónico: ingemmet1@chavin.rcp.net.pe
www.ingemmet.gob.pe/

Uruguai
Dirección Nacional de Minería y Geología – DINAMIGE
Hervidero 2861
11800 Montevideo
Tel.: 598-2-209 31 96
Fax: 598-2-209 49 05
Correo electrónico: secretaria@dinamige.miem.gub.uy;
dinamige@adinet.com.uy http://www.dinamige.gub.uy

Venezuela
Instituto Nacional de Geología y Minería – INGEOMIN
(predecesor: Servicios Geológicos y Mineros – SERVIGEOMIN)
Parque Central, Torre Oeste, Piso 8
Caracas
Tel.: (58212)- 5075247, (58212)-5075333
Telefax: (58212)-5754945
Correo electrónico: ingeomin@uole.com
http://www.ingeomin.gov.ve/

11.4 Anexo 4 Exemplos de técnicas geofísicas de prospecção aplicadas na área de existência do Aquífero Guarani

No presente anexo, são mostrados resultados de estudos geofísicos desenvolvidos na bacia chaco-paranaense, cuja maior parte se aplica no SAG. Esses resultados são apresentados como exemplos e fazem parte de uma seleção que pretende destacar trabalhos relevantes para cada técnica, seja em

Paraguay
Dirección de Recursos Minerales
Subsecretaría de Minas y Energía
Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones – MOPC
Los Rosales esq. Ñangapiry
San Lorenzo
Tel. / Fax: 595 21 672-531
Servicio Geológico del Paraguay
Barrio San Miguel
San Lorenzo, Paraguay
Tel.: 59 5 216 6121
Fax: 59 5 216 6121

Perú
Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – INGEMMET
Av. Canadá No. 1470, San Borja
Apartado 889, Lima 41
Tel.: 51-1-224 29 62
Fax: 51-1-225 45 40
Correo electrónico: ingemmet1@chavin.rcp.net.pe
www.ingemmet.gob.pe/

Uruguay
Dirección Nacional de Minería y Geología – DINAMIGE
Hervidero 2861
11800 Montevideo
Tel.: 598-2-209 31 96
Fax: 598-2-209 49 05
Correo electrónico: secretaria@dinamige.miem.gub.uy;
dinamige@adinet.com.uy http://www.dinamige.gub.uy

Venezuela
Instituto Nacional de Geología y Minería – INGEOMIN
(predecesor: Servicios Geológicos y Mineros – SERVIGEOMIN)
Parque Central, Torre Oeste, Piso 8
Caracas
Tel.: (58212)- 5075247, (58212)-5075333
Telefax: (58212)-5754945
Correo electrónico: ingeomin@uole.com
http://www.ingeomin.gov.ve/

11.4 Anexo 4.- Ejemplos de técnicas geofísicas de prospección aplicadas en el área de existencia del acuífero Guaraní

En el presente apartado, se presentan resultados de estudios geofísicos desarrollados en la cuenca chaco paranense, mayormente aplicados al SAG. Estos se presentan a modo de ejemplo, siendo resultado de una selección que pretende destacar trabajos relevantes para cada

virtude de seu alcance, particularidade, problemática, marco histórico, precisão ou contribuição de informações para o conhecimento geológico na bacia e para o conhecimento hidrológico relativo ao Aquífero Guarani.

12.4.1 Gravimetria

Conforme foi antes indicado, entre as técnicas que são mais úteis para estudos regionais, destaca-se a gravimetria. Esse método potencial é de suma valia para análises qualitativas, embora seja necessário contar com um conhecimento geológico mais detalhado para se obter interpretações mais precisas.

Com o maior desenvolvimento dos computadores, hoje é possível modelar progressivamente a estrutura proposta até que a anomalia calculada coincida com a anomalia medida em campo. Uma vez que não existe uma única solução para uma interpretação quantitativa de maior precisão, torna-se necessário contar com informações auxiliares (ex: perfurações ou sondagens).

Dessa forma, não são apresentados exemplos baseados unicamente na gravimetria. Ao final do anexo, incluem-se exemplos de interpretação de anomalias gravimétricas com informações geológicas e geofísicas.

Como foi indicado no corpo do presente Documento Técnico, existe uma ampla rede de medições gravimétricas em todos os países que compartilham o Aquífero Guarani. Entretanto, no projeto para a proteção ambiental e o desenvolvimento sustentável do Sistema Aquífero Guarani, levou-se em consideração que em algumas áreas seria necessário contar com uma maior densidade de conhecimentos, ou até com novas informações gravimétricas. Por causa disso, novas medições foram realizadas, das quais se apresentam a seguir as primeiras transeções geradas no marco do referido projeto.

técnica, ya sea por su alcance, particularidad, problemática, marco histórico, precisión o aporte de conocimiento al conocimiento geológico en la cuenca e hidrogeológico correspondiente al acuífero Guaraní.

12.4.1 Gravimetría

Como se indicó, entre las técnicas que son más útiles para estudios regionales, se destaca la gravimetría. Este método potencial es de suma utilidad para análisis cualitativos, pero para obtener interpretaciones más precisas es necesario contar con un conocimiento geológico más detallado.

Con el avance de las computadoras, hoy es posible modelar progresivamente la estructura propuesta hasta que la anomalía calculada coincida con la anomalía medida en campo. Dado que la solución no es única, para una interpretación cuantitativa de mayor precisión y ajuste a las características de la cuenca, es necesario contar con información auxiliar (Ej. Perforaciones o sondeos).

Por lo indicado, no se presentan ejemplos basados únicamente en gravimetría. Al final del anexo se incluyen ejemplos de interpretación de anomalías gravimétricas en conjunto con información geológica y geofísica.

Como se indicó en el cuerpo del presente Documento Técnico, existe una amplia red de mediciones gravimétricas en todos los países que comparten el acuífero Guaraní. No obstante, para el proyecto para la protección ambiental y desarrollo sostenible del Sistema Acuífero Guaraní se consideró que en algunas áreas debería contarse con mayor densidad o nueva información gravimétrica. Por ello, nuevas mediciones fueron realizadas, de las cuales a continuación se presentan las primeras transectas generadas en el marco del proyecto referido.

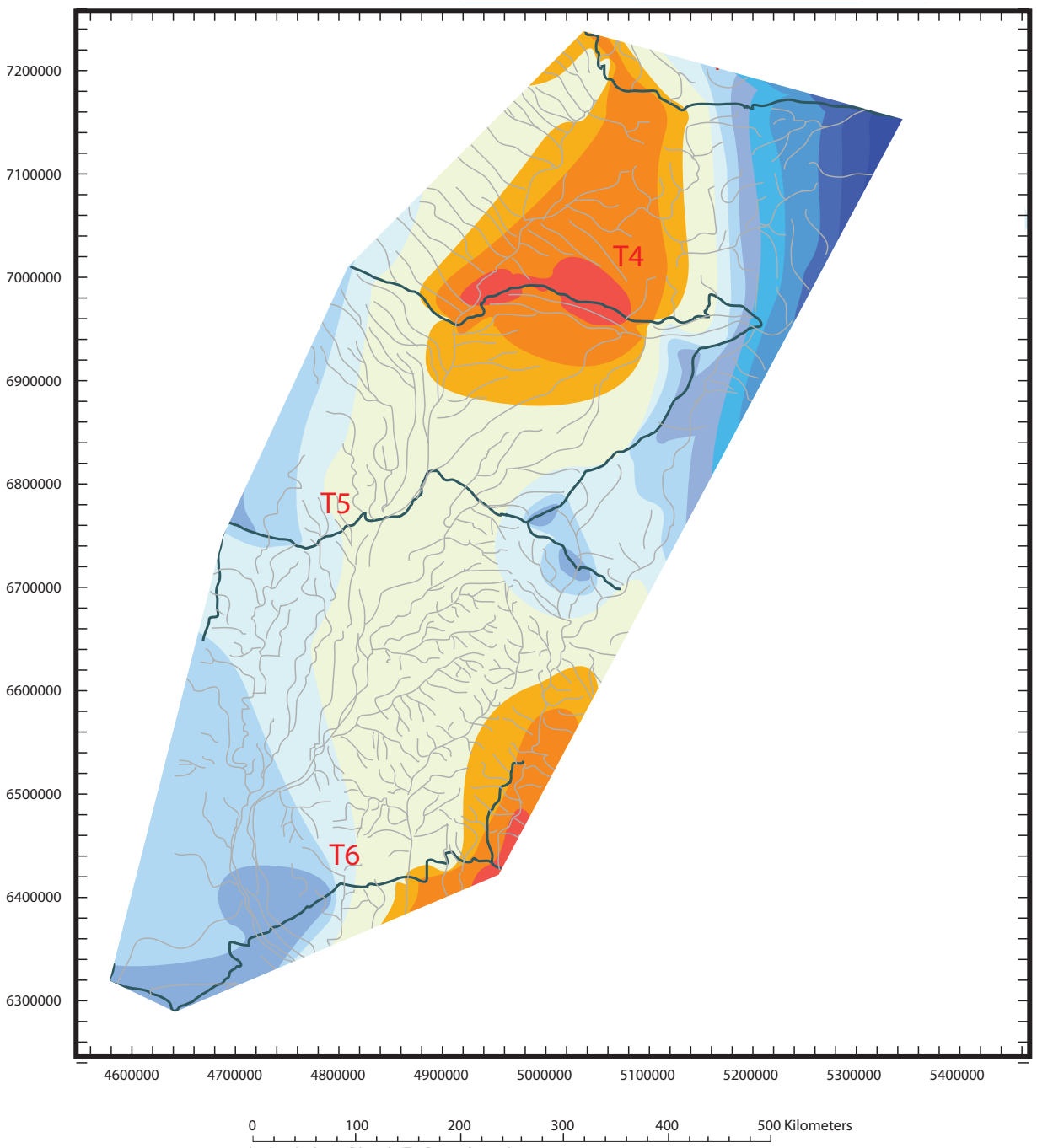


Figura A1.-
Anomalias de Bouger determinadas pelos corte 3 a 6 (Fonte: Projeto SAG).

Figura A1.-
Anomalías de Bouguer determinadas en las transectas 3 a 6.(Fuente: Proyecto SAG).

11.4.2 SEV

A prospecção por Sondagens Elétricas Verticais (SEV) foi uma das primeiras técnicas geofísicas aplicadas à hidrogeologia. Possivelmente, também, seja a mais utilizada na prospecção de água subterrânea, o que se deve ao seu baixo custo relativo, simplicidades técnica e operativa e velocidade de trabalho. Isto é principalmente válido no caso de prospecções pouco profundas (ex. 100 m de profundidade), enquanto para as maiores profundidades se torna mais complexa sob o ponto de vista operacional, apresenta maiores dificuldades para cumprir suas proposições básicas e necessita de equipamento e logística significativamente mais complexos.

Conforme o indicado anteriormente, a enorme maioria dos trabalhos com SEV diz respeito a prospecções pouco profunda. Entretanto, foram feitos trabalhos na bacia do Chaco do Rio Paraná que conseguiram obter informações a respeito do subsolo em setores profundos (centenas de metros e, até mesmo, até perto de 2 km). A presente recopilação concentrará sua análise nesses últimos por causa de sua maior relevância para o Aquífero Guarani.

Silva Busso (1999),[1] em sua tese de Doutorado, indica que, desde 1986, têm sido feito sondagens no litoral da Argentina e do Rio Uruguai. Muitas delas correspondem a estudos prévios para a construção de poços para extração de água termal e estão mencionados ou parcialmente apresentados em trabalhos acadêmicos e outras publicações, mas geralmente não estão livremente disponíveis para consulta, principalmente seus dados e o marco técnico-metodológico.

Nesse referido trabalho, foi feita uma importante recopilação e análise da geofísica realizada no setor argentino da bacia, mostrando-se alguns SEVs e seções geofísicas, algumas das quais são mostradas a seguir.

1 SILVA BUSSO, A. **Contribuição ao Conhecimento da Geologia e Hidrogeologia do Sistema Aquífero Termal da Bacia Chaco-Paranaense Oriental Argentina**. Tese (Doutorado)–Faculdade de Ciências Exatas e Naturais da Universidade de Buenos Aires, Buenos Aires, 1999.

11.4.2 SEV

La prospección por sondeos eléctricos verticales (SEV) ha sido una de las primeras técnicas geofísicas aplicadas a la hidrogeología. Asimismo, posiblemente sea la más utilizada en la prospección de agua subterránea, lo cual se debe a su bajo costo relativo, simplicidad técnica, operativa y velocidad de trabajo. Esto es mayormente válido cuando la prospección es somera (Ej. 100m de profundidad), mientras que para profundidades mayores se torna operativamente más compleja, de mayor dificultad de cumplimiento sus hipótesis básicas y necesita de equipo y logística de significativa mayor entidad.

Por lo indicado, la enorme mayoría de los trabajos con SEV corresponde a prospección somera. No obstante, hay trabajos en la cuenca chacoparanense que consiguieron generar información del subsuelo en sectores profundos (cientos de metros e inclusive, cercano a los 2Km). La presente recopilación centrará su análisis en estos últimos, por su mayor relevancia para el acuífero Guaraní.

Silva Busso, A. (1999)[1] , en su tesis de Doctorado, indica que desde 1986 se han hecho sondeos verticales en el litoral Argentino del Río Uruguay. Muchos corresponden a estudios previos a la construcción de pozos para extracción de agua termal. Estos son referidos o presentados parcialmente en trabajos académicos y publicaciones, pero mayormente no son de libre disponibilidad, especialmente los datos de base y el marco técnico-metodológico.

En referido trabajo, se hizo una importante recopilación y análisis de la geofísica realizada en la parte argentina de la cuenca, presentándose algunos SEV y secciones geofísicas, algunos de los cuales se muestran a continuación.

1 Silva Busso, A. 1999. Contribución al Conocimiento de la Geología e Hidrogeología del Sistema Acuífero Termal de la Cuenca Chacoparanense Oriental Argentina. Tesis Doctoral Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, (inédita), Buenos Aires.

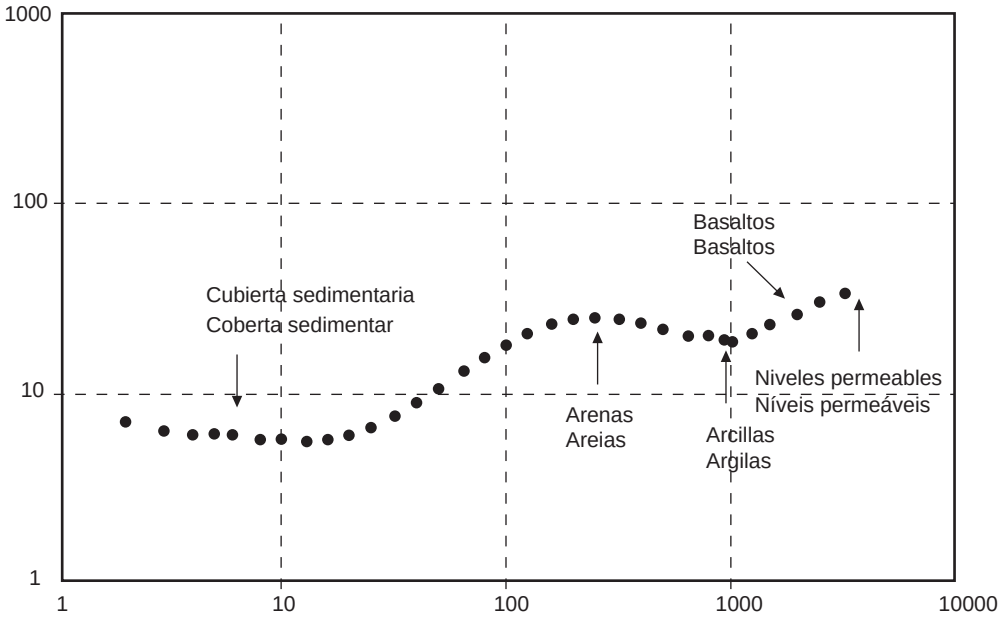


Figura A2.-
Sondagem Elétrica Vertical em Vala Elisa, Entre Rios, Argentina (SILVA BUSSO, A., 1999).

Figura A2.-
Sondeo eléctrico vertical en Villa Elisa, Entre Ríos, Argentina (Silva Busso, A, 1999).

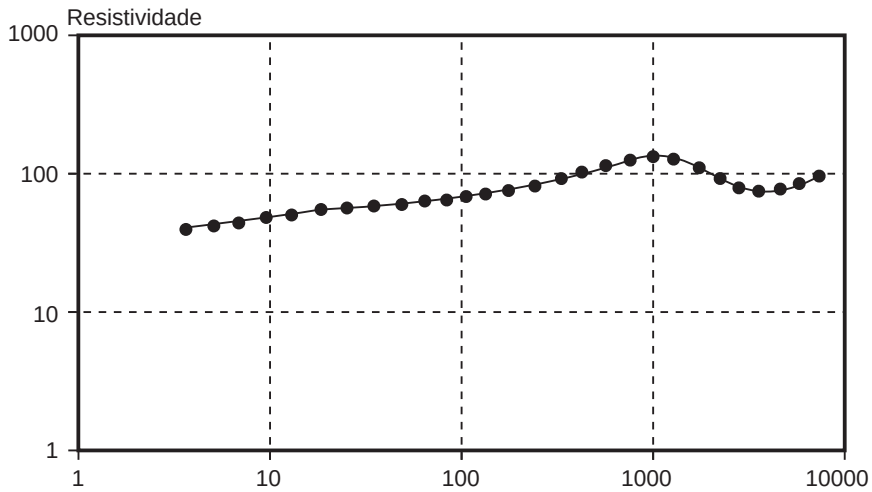


Figura A3.-
Sondagem Elétrica Vertical em Federación, Entre Rios, Argentina (SILVA BUSSO, A., 1999).

Figura A3.-
Sondeo eléctrico vertical en Federación, Entre Ríos, Argentina (Silva Busso, A, 1999).

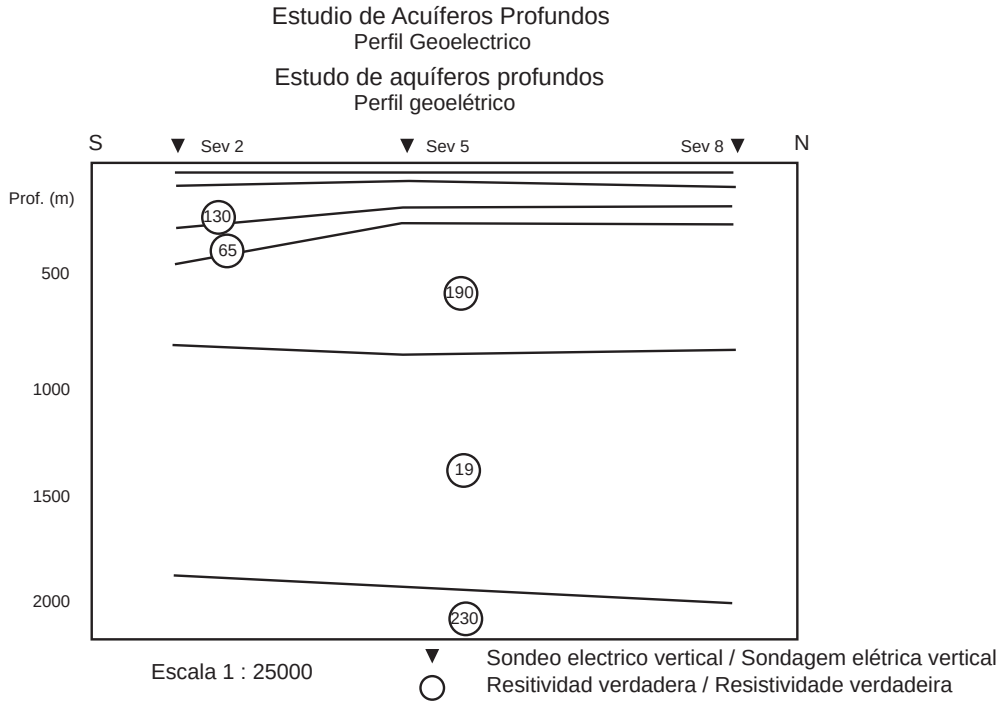


Figura A4.-
Seção geofísica gerada a partir de Sondagens Elétricas Verticais na área de Federación-Concordia, Entre Rios, Argentina (SILVA BUSSO, A., 1999).

Figura A4.-
Sección geofísica generada a partir de sondeos eléctricos verticales en el área Federación-Concordia, Entre Ríos, Argentina (Silva Busso, A, 1999).

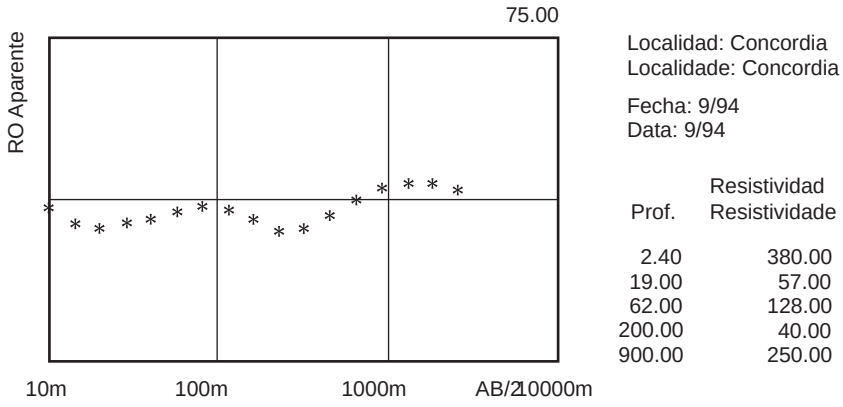


Figura A5.-
Sondagem elétrica em Concordia, Entre Rios, Argentina (SILVA BUSSO, A., 1999).

Figura A5.-
Sondeo eléctrico vertical en Concordia, Entre Ríos, Argentina (Silva Busso, A, 1999).

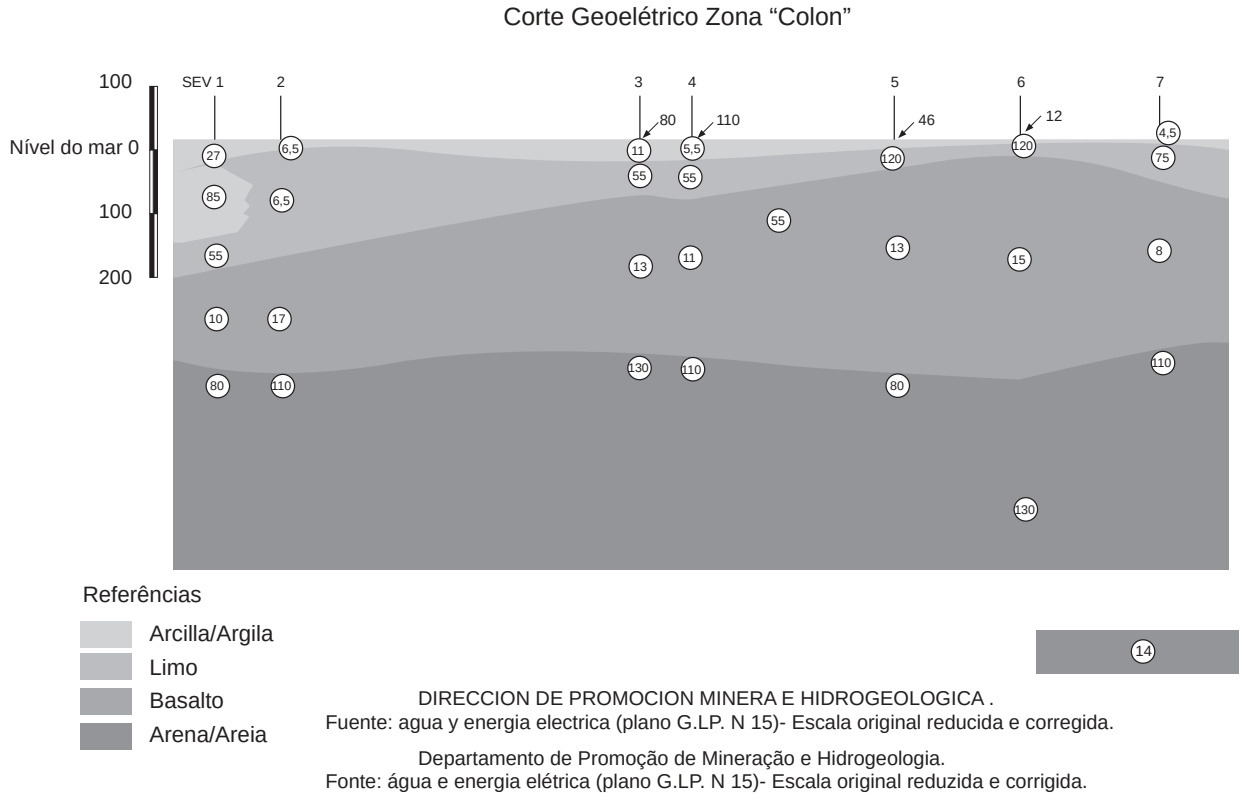


Figura A6.-
Seção geofísica a partir de Sondagens Elétricas Verticais (SILVA BUSSO, A., 1999).

Figura A6.-
Sección geofísica a partir de sondeos eléctricos verticales (Silva Busso, A., 1999).

Como pode ser observado nas figuras antecedentes, os SEVs são uma técnica que permite detectar claramente os principias corpos eletrorresistivos que compõem a bacia e a base, até mesmo em profundidades importantes (superiores a 1000 metros). Tais exemplos de prospecção profunda implicaram aberturas (AB, distância entre pontos de injeção de corrente) de mais de 10 km e, em alguns casos, 16 km de linhas de cabos. No caso de Federación, apesar de ter sido realizada uma abertura de uns 8 km, não se alcançaram medições que permitissem determinar a base dos basaltos, enquanto nos demais casos os resultados foram positivos.

Essas aberturas tão grandes às vezes impossibilitam o cumprimento da proposição básica do método de interpretação, um meio estratificado,

Como puede observarse en las figuras antecedentes, los SEV son una técnica que permite detectar claramente los principales cuerpos electroresistivos que componen la cuenca y el basamento, inclusive a profundidades importantes (superiores a 1000m). Dichos ejemplos de prospección profunda, implicaron aperturas (AB, distancia entre puntos de inyección de corriente) de más de 10Km, y en algún caso 16Km de tendido de cables. En el caso de Federación, a pesar de haber realizado una apertura de unos 8 Km, no se alcanzaron mediciones que permitieran determinar la base de los basaltos, mientras que en los restantes casos si fue suficiente.

Estas aperturas tan grandes, en ocasiones impiden el cumplimiento de la hipótesis básica del método de interpretación, medio estratificado

formando capas planas paralelas. Embora aporte igualmente uma quantidade significativa de informações, a dificuldade anteriormente referida junto com a validade do princípio da equivalência são os principais elementos que atentam contra a precisão dos resultados na interpretação quantitativa dos SEVs.

Principalmente Corbo et al. (2005)[2] após analisar o SEV em torno a poços termais, as espessuras de cada litologia perfurada neles determinar as possíveis soluções que ajustam os pontos medidos em campo, informa que essa técnica apresentou (na área dos SEVs analisados) um erro médio de 30% na determinação das espessuras das litologias. Indica igualmente que caso não seja realizada uma interpretação apoiada numa ajustada faixa de resistividades elétricas das litologias esperadas (a partir de uma avaliação de estudos anteriores), os erros podem, até mesmo, ser maiores.

Recentemente, Favetto et al. (2005)[3] apresenta um conjunto de SEV realizado na margem sul-ocidental da bacia chaco-paranaense uruguaia, com aberturas médias de 6 km. Nesse trabalho, foram realizados catorze sondagens, para as quais se dispensou uma atenção especial aos equipamentos e medições, a fim de se obter um sinal de melhor qualidade. Realizaram-se, até mesmo, sondagens em cruz para avaliar a dimensionalidade do meio e, com isso, a aplicabilidade das proposições do método.

Para melhorar a interpretação quantitativa lançou-se mão de informação prévia de natureza geológica e geofísica, determinando uma delimitada faixa de resistividades esperada e, desse modo, limitar o número de soluções possíveis, produto da validade do princípio de equivalência.

en capas planas paralelas. Aunque igualmente el aporte de información es muy significativo, esta dificultad junto a la validez del principio de equivalencia, son los principales elementos que atentan contra la precisión en los resultados de la interpretación cuantitativa de los SEV.

En particular, Corbo et al (2005)[2] a partir de: analizar SEV en torno a pozos termales, los espesores de cada litología perforada en éstos, y determinar las posibles soluciones que ajustan los puntos medidos en campo, indica que la técnica presentó (para el área y los SEV analizados) un error medio de 30% en la determinación de los espesores de las litologías. Asimismo, se indica que si no se realiza una interpretación apoyada en un ajustado rango de resistividades eléctricas de las litologías esperables (a partir de evaluación de antecedentes) los errores pueden ser inclusive mayores.

Recientemente, Favetto et al (2005)[3] presenta un conjunto de SEV realizados en borde sur-occidental de la cuenca chacoparanense, con aperturas medias de 6Km. En dicho trabajo se realizaron catorce sondeos, para lo cual se tuvo especial atención en el equipamiento y mediciones, y así conseguir una mejor señal. Inclusive se realizaron sondeos en cruz para evaluar la dimensionalidad del medio y con ello la aplicabilidad de las hipótesis del método.

Para mejorar la interpretación cuantitativa se utilizó información antecedente, geológica y geofísica, determinando un acotado rango de resistividades esperables y con ello limitar el conjunto de soluciones posibles, producto de la validez del principio de equivalencia.

---

[2] CORBO, F.; OLEAGA, A.; ARZATE, J. **Análise comparativo de dois métodos geofísicos (SEVTE) aplicados na zona termal do Sistema Aquífero Guarani em Argentina e Uruguai**. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE GEOLOGIA, Quito, Equador, 2005.

[3] Estudo geofísico aplicado à avaliação de recurso geotermal no sudeste de Entre Rios. FAVETTO, A.; POMPOSIELLO, C.; SAINATO, C.; DAPEÑA, C.; GUIDA, N. **Rev. Asociación Geológica Argentina**, Buenos Aires, v. 60, n. 1, jan./mar. 2005.

[2] *Corbo, F.; Oleaga, A.; Arzate, J., 2005. Análisis comparativo de dos métodos geofísicos (SEV-MT) aplicados en la zona termal del Sistema Acuífero Guaraní en Argentina y Uruguay. Congreso Latinoamericano de Geología, Quito, Ecuador, 2005.*

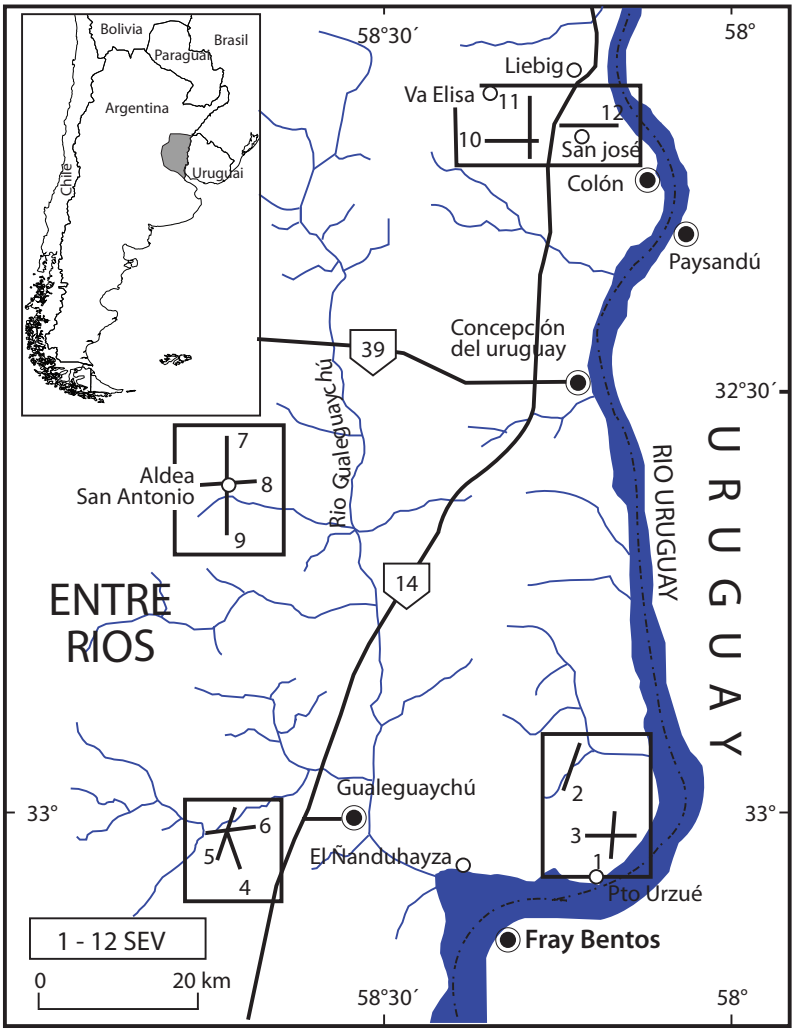
[3] *Estudio geofísico aplicado a la evaluación del recurso geotermal en el sudeste de Entre Ríos. Favetto, A., Pomposiello, C., Sainato, C., Dapeña, C. y Guida, N. Rev. Asociación Geológica Argentina v.60 n.1 Buenos Aires ene./mar. 2005.*

Com base nessa e noutras problemáticas apresentadas por esse método, determinou-se, informar nesse tipo de trabalho, que a detecção da base (e, portanto, de outros corpos resistivos), a profundidades maiores que 1000 m, estaria atingindo o limite de uso do método geoelétrico.

A despeito disso, a informação gerada é de grande valor, possibilitando determinar a estrutura geológica da área, tanto após a interpretação unidimensional das sondagens, quanto a analisar conjuntamente e obter uma seção 2D que será mostrada a seguir.

En base a esta y otras problemáticas del método llevaron a que en dicho trabajo se indique que la detección del basamento (y por tanto de otros cuerpos resistivos), a profundidades mayores de 1000 m estaría en el límite del uso del método geoeléctrico.

No obstante, la información generada es de mucho valor, permitiendo determinar la estructura geológica del área, tanto tras la interpretación unidimensional de los sondeos, como al analizarlos conjuntamente y obtener una sección 2D, lo cual se presenta a continuación.



Continua.-

Continua.-

Continuação.-

Continuación.-

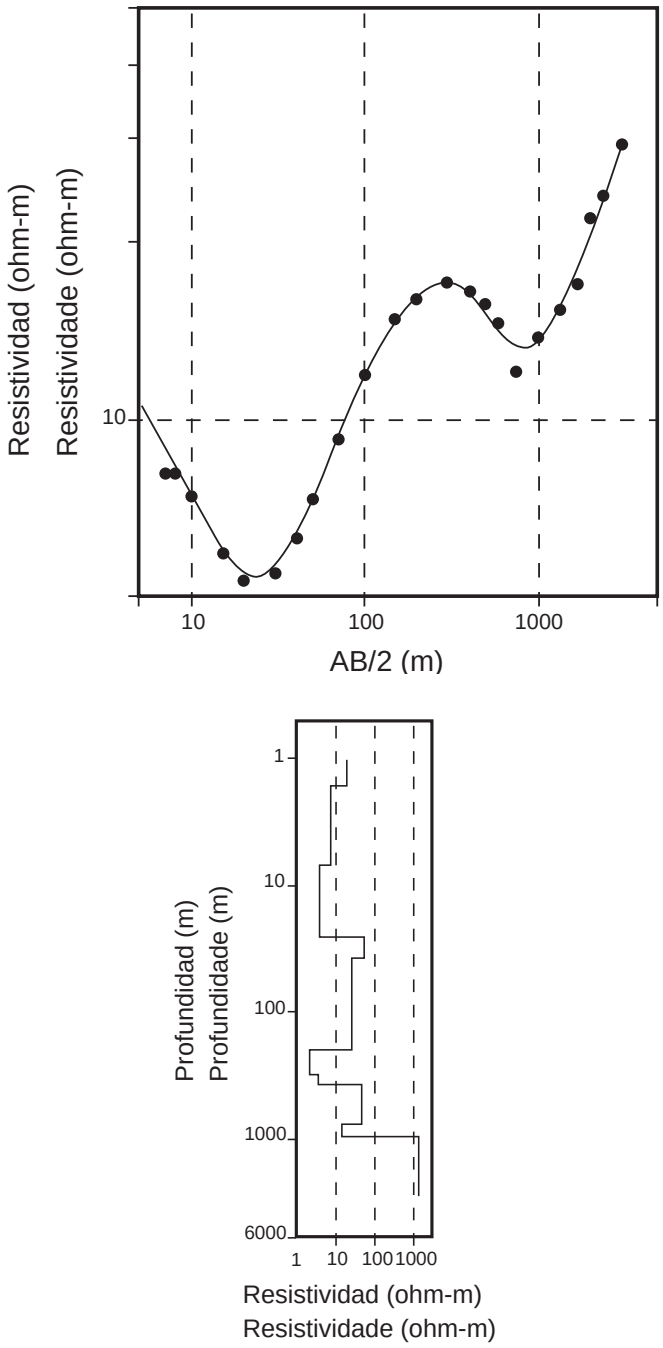


Figura A7.-
Área de estudo, localização de sondagens realizadas. Sondagem Elétrica Vertical nº. 9 e sua interpretação qualitativa (FAVETTO et al., 2005).

Figura A7.-
Área de estudio, ubicación de sondeos realizados. Der. Sondeo eléctrico vertical Nº 9 y su interpretación cualitativa (Fuente: Favetto et al, 2005).

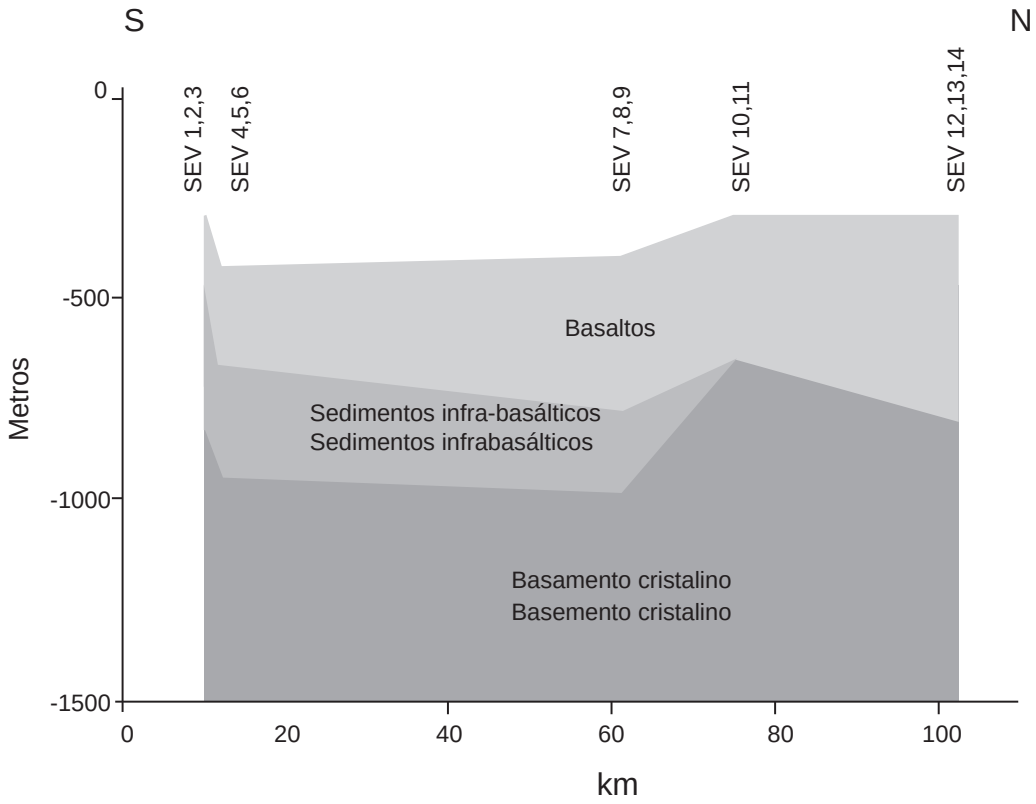


Figura A8.-
Seção 2D desenvolvida a partir dos SEVs realizados (FAVETTO et al., 2005).

Figura A8.-
Sección 2D desarrollada a partir de los SEV realizados (Fuente: Favetto et al, 2005).

12.4.3 Prospecção sísmica

Geralmente, a sísmica não é usada na prospecção geológica (exceto na petrolífera) e nem na hidrogeológica. Isso se deve ao seu elevadíssimo custo de utilização, motivo pelo qual seu uso se restringe quase que exclusivamente à procura de petróleo.

No norte do Uruguai, dentro da bacia chaco-paranaense uruguaia, na década de 1980, a companhia petrolífera nacional daquele país (Ancap) realizou prospecção sísmica de reflexão para procurar hidrocarbonetos (ver a figura seguinte). Após a realização e a detalhada análise da informação por meio de outra técnica geofísica, a gravimetria, decidiu-se a realização da sísmica apenas nos pontos mais promissores. Isso é um claro exemplo do paulatino

12.4.3 Prospección sísmica

Usualmente la sísmica no es utilizada en la prospección geológica no petrolera y la hidrogeológica. Ello obedece al elevadísimo costo de aplicación, por lo cual su uso se encuentra restringido casi exclusivamente a la búsqueda de petróleo.

En el norte Uruguayo, dentro de la cuenca chaco-parenense, en la década del 80 la petrolera nacional de Uruguay (ANCAP) realizó prospección sísmica de reflexión, en la búsqueda de hidrocarburos (Ver siguiente figura). Tras la realización y detallado análisis de información de otra técnica geofísica, gravimetría, se decidió la realización y trazas de prospección de la sísmica. Esto es un ejemplo claro de avance paulatino en

avanço na geração de conhecimentos, utilizando-se técnicas complementares, começando com as de baixo custo (neste caso, gravimetria e magnetometria) e, à medida que se avança no conhecimento da área de interesse, passando a focalizar os trabalhos e estudos nos pontos de maior potencial.

la generación de conocimiento, utilizando técnicas complementarias, donde las primeras son de bajo costo (en este caso gravimetría y magnetometría) y a medida que se avanza en el conocimiento del área de interés se focalizan los trabajos y estudios en aquellos puntos de mayor potencial.

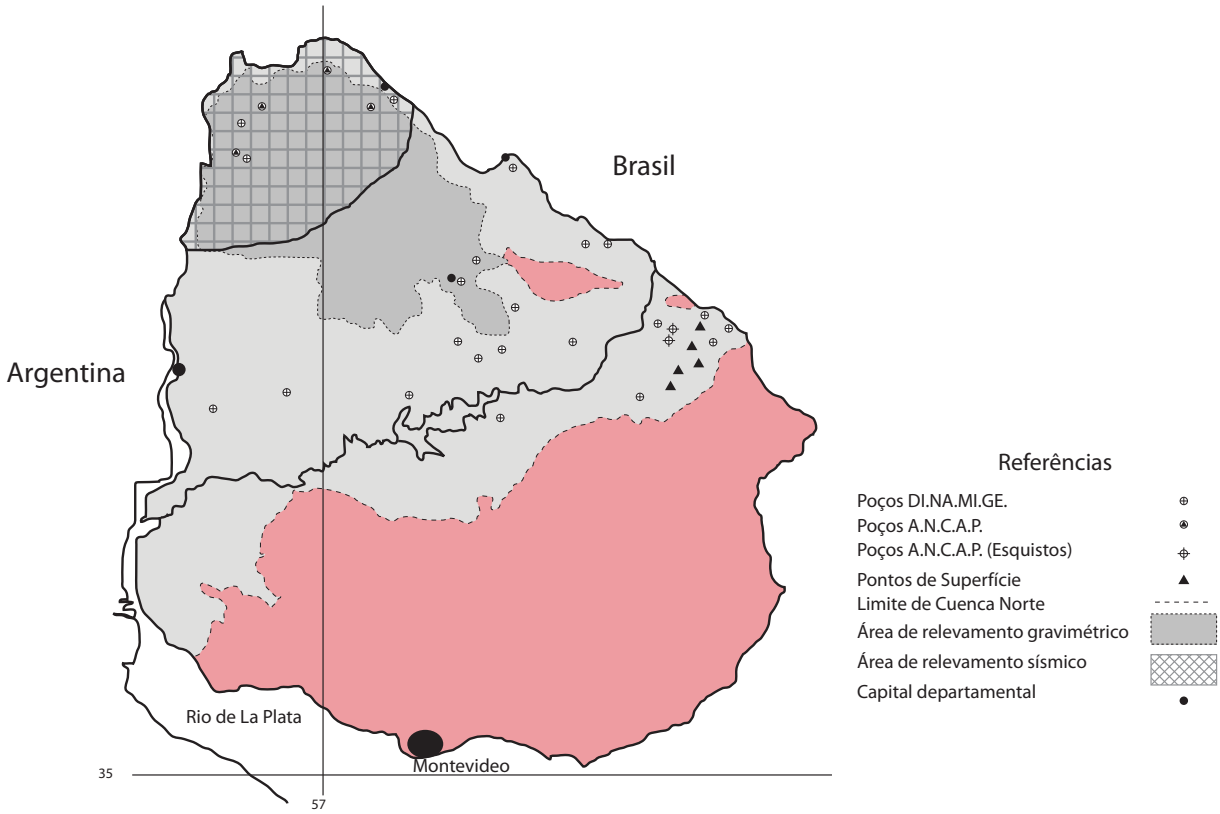


Figura A9.-
Prospecção sísmica realizada no Uruguai dentro da bacia chaco-paranaense.[4]

Figura A9.-
Prospección sísmica realizada en Uruguay dentro de la cuenca chaco paranense.[4]

Após a finalização da prospecção sísmica, foram realizadas perfurações em áreas pontuais que não produzissem nenhuma descoberta de petróleo ou

Tras la culminación de la prospección sísmica, se ubicaron y realizaron perforaciones, sin encontrar petróleo ni gas, pero constituyéndose

[4] DE SANTA ANA, H.; FULFARO, V.; VEROSLAVSKY, G.; GUTIÉRREZ, L. **Associações de facies e sistemas depositacionais da Formação Paso Aguiar e Membro Inferior da Formação Yaguarí (Pérmico Superior) no bacia Norte (Uruguay)**. In: XI CONGRESSO LATINOAMERICANO DE GEOLOGIA MONTEVIDEO, 2001.

[4] *De Santa Ana H., Fulfaro V., Veroslavsky G; Gutiérrez L. (2001). Asociaciones de facies y sistemas depositacionales de la Formación Paso Aguiar y el Miembro Inferior de la Formación Yaguarí (Pérmico Superior) en la Cuenca Norte (Uruguay). XI Congreso Latinoamericano de Geología Montevideo.*

gás; constituíram, entretanto, a maior contribuição de conhecimentos a respeito do subsolo da bacia norte no Uruguai (a extremidade sul-oriental da bacia chaco-paranaense uruguaia). Deve-se destacar que o termalismo, da forma como se conhece no Uruguai, surgiu das perfurações realizadas em busca de petróleo que começaram a ser feitas em fins da década de 1930. Essas perfurações alcançaram os arenitos portadores de água doce, obtendo por urgência importantes vazões de água do hoje denominado Aquífero Guarani.

Dos estudos de prospecção petrolífera suprarreferidos, conhecem-se aspectos parciais, principalmente vindas de algumas publicações técnicas ou acadêmicas.

Na presente bacia, a sísmica de reflexão tem obtido baixa resolução por causa da presença de basaltos (localizados na superfície, ou próximos a ela), que refletem a maior parte da energia incidente. Essa problemática, que afeta a resolução, tem sido e continua sendo o maior fator limitante para a geração de conhecimentos provindos do uso dessa técnica na área sob estudo. Especialmente as seções que se mostram a seguir são as indicadas como as que geram uma melhor resolução, embora sua interpretação fique limitada a uns poucos quilômetros em redor do poço com descrição litológica. Após a perfuração, foram processados vários registros de poços (perfilagens) dentro de cada um deles que contribuíram com dados fundamentais para serem aplicados no ajuste da sísmica e de outras técnicas.

Nas duas seções que se apresentam a seguir, o basalto está localizado na superfície (correspondendo à unidade sismoestratigráfica D). Os arenitos correspondentes ao Aquífero Guarani encontram-se totalmente cobertos pelos basaltos, sendo aproximadamente associáveis à unidade sismoestratigráfica C. Por baixo, aparecem mais duas unidades sismoestratigráficas, apoiadas sobre a base cristalina. O basalto apresenta uma espessura média de uns 500-600 m nas duas seções, 200-300 na unidade C e entre 1500-2000 m de espessura conjunta entre as duas unidades A e B.

Como se pode verificar, a informação produzida pela prospecção sísmica é de enorme valia para o conhecimento da bacia e, com isso, de todos os recursos associados a ela. Não existe, razoavelmente, outra técnica que possa produzir

en el mayor aporte al conocimiento del subsuelo de la cuenca norte en Uruguay (extremo sur-oriental de la chaco-paranense). Es de destacar que el termalismo tal cual se lo conoce en Uruguay, surgió de las perforaciones realizadas en la búsqueda petrolera comenzada al final de la década del 30. Estas perforaciones alcanzaron las areniscas portadoras de agua dulce, obteniendo por surgencia, importantes caudales de agua del hoy denominado Acuífero Guaraní.

De los referidos estudios de prospección petrolera, se conocen aspectos parciales, mayormente resultado de algunas publicaciones técnicas o académicas.

En la presente cuenca, la sísmica de reflexión ha tenido poca resolución debido a la presencia de basaltos (ya sea en superficie o próxima a ésta), los que reflejan la mayor parte de la energía incidente. Esta problemática que afecta la resolución, ha sido y es la mayor limitante para la generación de conocimiento con esta técnica en el área de estudio. En particular, las secciones que se presentan a continuación se indican como aquellas que cuentan con más resolución, y a pesar de lo cual, su interpretación está restringida a pocos kilómetros en torno al pozo con descripción litológica. Tras la perforación, se corrieron varios registros de pozos (perfilajes) dentro de cada uno, aportando datos fundamentales para ser aplicados para el ajuste de la sísmica y otras técnicas.

En las dos secciones que se presentan a continuación, el basalto se ubica en superficie (correspondiendo a la unidad sismoestratigráfica D). Las areniscas correspondientes al acuífero Guaraní se encuentran cubiertas totalmente por los basaltos, siendo aproximadamente asociables a la unidad sismoestratigráfica C. Por debajo se presentan dos unidades sismoestratigráficas más, apoyadas sobre el basamento cristalino. El basalto presenta un espesor medio de unos 500-600m en las secciones, 200-300m la unidad C, y entre 1500-2000m de espesor conjunto entre las dos unidades A y B.

Como se puede observar, la información que aporta la prospección sísmica es de enorme valor para el conocimiento de la cuenca, y con ello todos los recursos asociados a ésta. Razonablemente, no existe otra técnica que

essa resolução com relação aos corpos existentes e ao basalto cristalino. Embora existam equipamentos de prospecção sísmica de custo baixo que alcançam dezenas de metros de profundidade, atualmente se observa ser muito difícil a aplicação dessa técnica ao Aquífero Guarani, tanto pelos custos que são requeridos para uma investigação mais profunda (de acordo com as características desse aquífero) quanto pela problemática que representa a existência de basaltos.

pueda aportar esta resolución de los cuerpos existentes y del basamento cristalino. Aunque hay equipos de prospección sísmica de bajo costo que alcanzan decenas de metros de profundidad, actualmente se observa como de muy difícil aplicación de esta técnica al acuífero Guaraní tanto por los costos que involucra una mayor profundidad de investigación (acorde a las características del acuífero) y la problemática que encierra la presencia de basaltos.

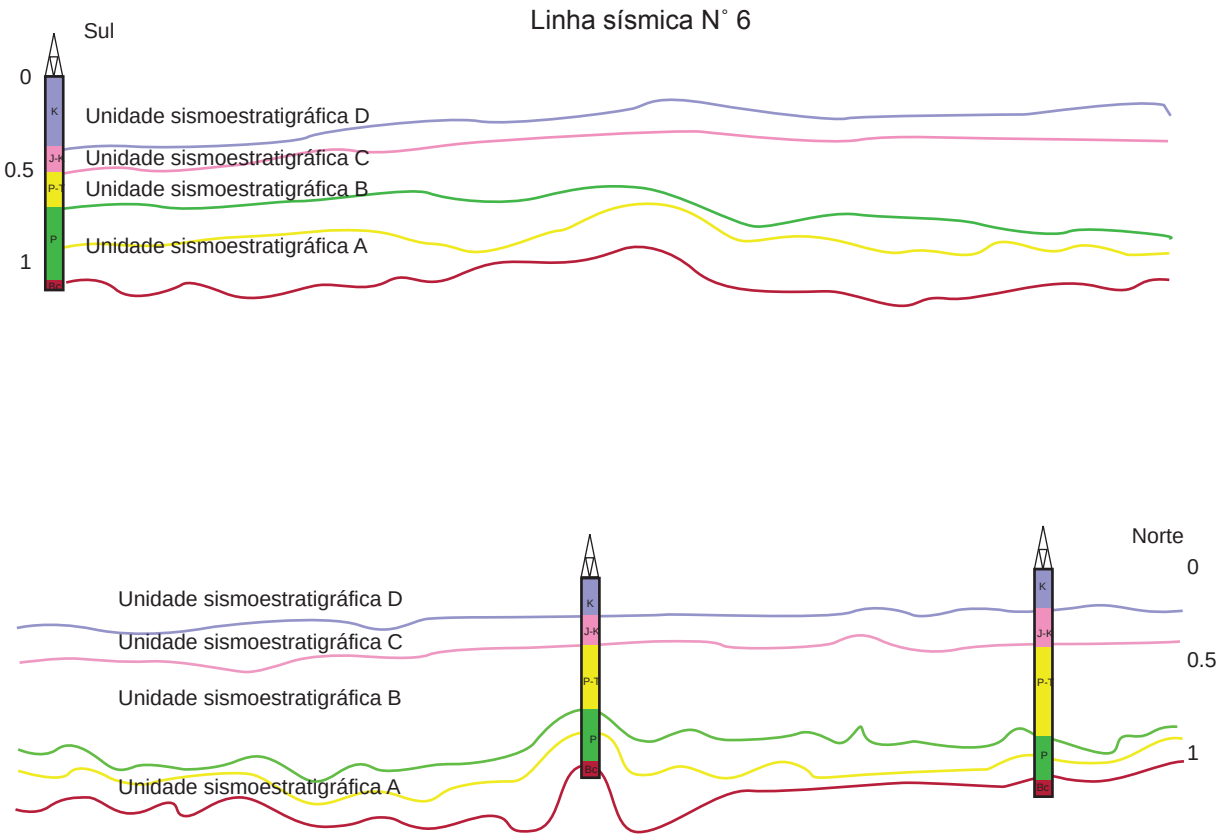


Figura A10.-
Linha sísmica nº. 6. Ancap. Fonte: De Santa Ana, H. (2004).[5]

Figura A10.-
Línea sísmica Nº 6. ANCAP. Fuente: De Santa Ana, H. (2004).[5]

[5] DE SANTA ANA, H. Análise tectonoestratigráfica das sequências permotriássica e juro cretácea da bacia chaco-paranaense uruguaia. Tese (Doutorado)–Programa de Pós-Graduação em Geologia Regional Unesp, 2004.

[5] De Santa Ana, H.. Análise tectono-estratigráfica das seqüências permotriassica e juro cretácea da bacia chacoparanaense uruguaia. 2004. Tesis de Doctorado en: Programa de Pós-Graduação em Geologia Regional - UNESP.

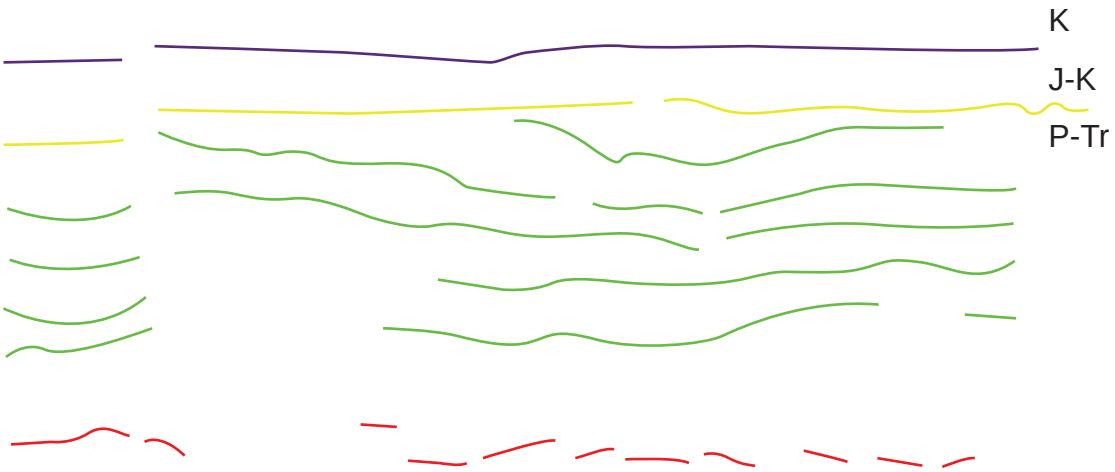


Figura A11.-
Linha sísmica onde se destaca discordâncias entre sequências sedimentares. Fonte: De Santa Ana, H. (2004).[6]

Figura A11.-
Línea sísmica donde se destaca discordancias entre secuencias sedimentarias. Fuente: De Santa Ana, H. (2004).[6]

11.4.4 Registro de poços (perfilagens)

As perfilagens são registros que se realizam dentro das perfurações. Consistem basicamente na descida de um instrumento de medição, permitindo determinar a distribuição de alguma propriedade do meio em que age ao longo do perfil vertical do poço.

Existe uma multiplicidade de perfilagens, destacando-se os eletromagnéticos (ex. resistividade, resistividade do lodo, potencial espontâneo etc.), radioativos (ex. Gama natural), e os físicos (*caliper*, velocidade de propagação das ondas etc.).

Sua utilidade e aplicação são muito amplas, permitindo determinar parâmetros ou propriedades das rochas que são, geralmente, de grande utilidade para estudos geológicos (ex. grau de inclinação com respeito à horizontal de estratos, filões ou capas de terreno), hidrogeológicos (ex. porosidade), petrolíferos (ex.

11.4.4 Registro de Pozos (perfilajes)

Los perfilajes son registros que se realizan dentro de perforaciones. Consisten básicamente en el descenso de un instrumento de medición, permitiendo determinar la distribución de alguna propiedad del medio a lo largo del perfil vertical del pozo.

Hay multiplicidad de perfilajes, destacándose los electromagnéticos (Ej. resistividad, resistividad del lodo, potencial espontáneo, etc.), radioactivos (Ej. Gama natural), y físicos (caliper, velocidad de propagación de las ondas, etc.).

Su utilidad y aplicación es muy amplia, permitiendo determinar parámetros o propiedades de las rocas que usualmente son de suma utilidad para estudios geológicos (Ej. buzamiento), hidrogeológicos (Ej. Porosidad), petroleros (Ej. permeabilidad), e

[6] Héctor de Santa Ana Álvarez. Análise tectono-estratigráfica das seqüências permotriássica e juro cretácea da bacia chacoparanaense uruguaia. 2004. Tese (Doutorado em Programa de Pós-Graduação em Geologia Regional) - UNESP.

[6] *Héctor de Santa Ana Álvarez. Análisis tectonoestratigráfico de las secuencias permotriásica y juro-cretácica de la cuenca chacoparanaense uruguaya. 2004. Tesis (Doctorado en Programa de Postgrado en Geología Regional) - UNESP.*

permeabilidade) e até mesmo, geofísicos (ex. velocidade de propagação das ondas, resistividade elétrica).

De acordo com o indicado, apresentam-se alguns exemplos de sua aplicação ao SAG.

inclusive geofísicos (Ej. Velocidad de propagación de las ondas, resistividad eléctrica).

Por lo indicado, se presentarán algunos ejemplos de su aplicación al SAG.

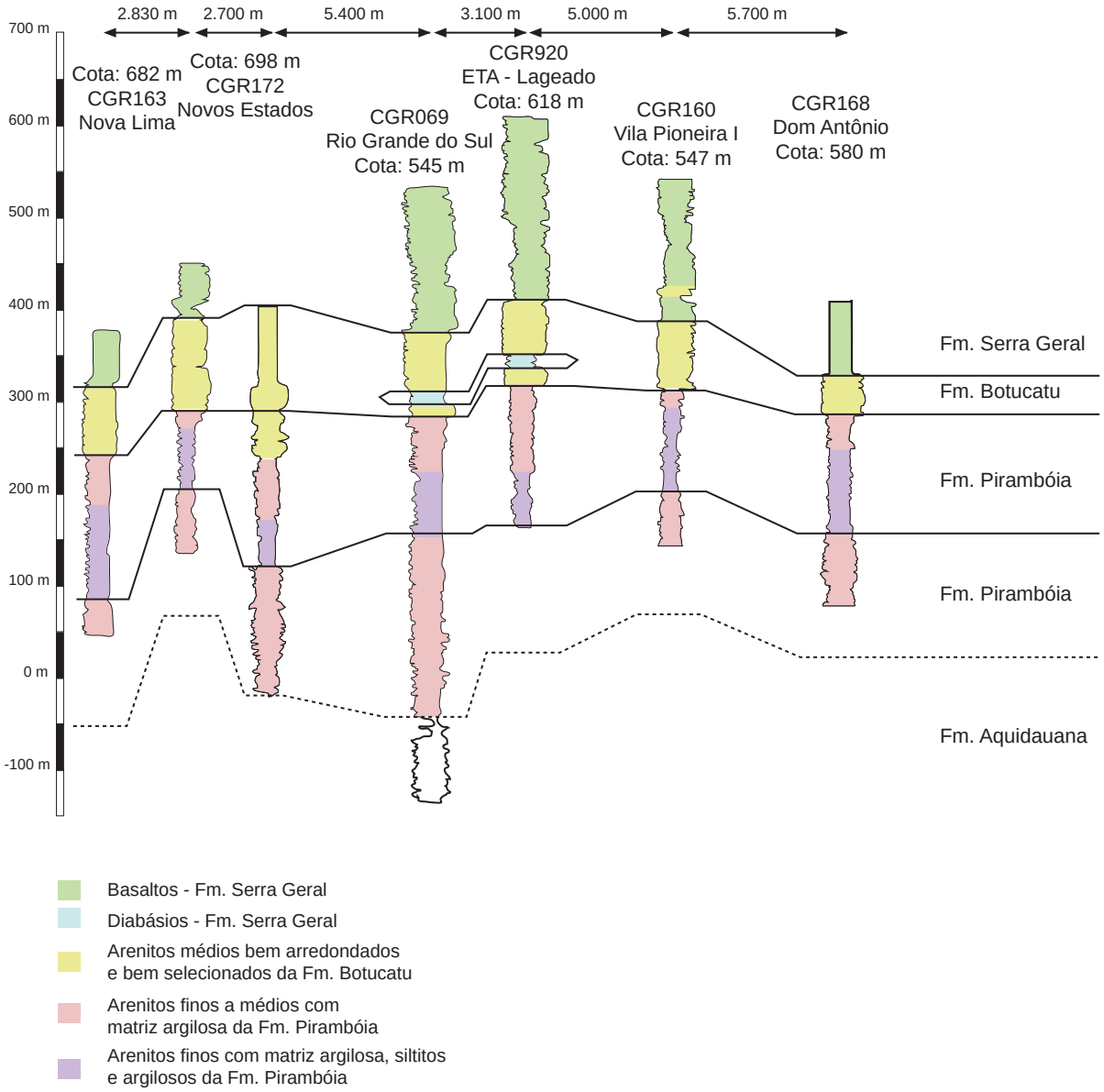


Figura A12.-
Seção geológica NS na cidade de Campo Grande (Brasil) a partir de perfis geofísicos, mostrando variações litológicas e geométricas do SAG (Fonte: GASTMANS, D., 2007).

Figura A12.-
Sección geológica NS en la ciudad de Campo Grande (Brasil), a partir de perfiles geofísicos, mostrando variaciones litológicas y geométricas del SAG (Fuente: Gastmans, D. 2007).

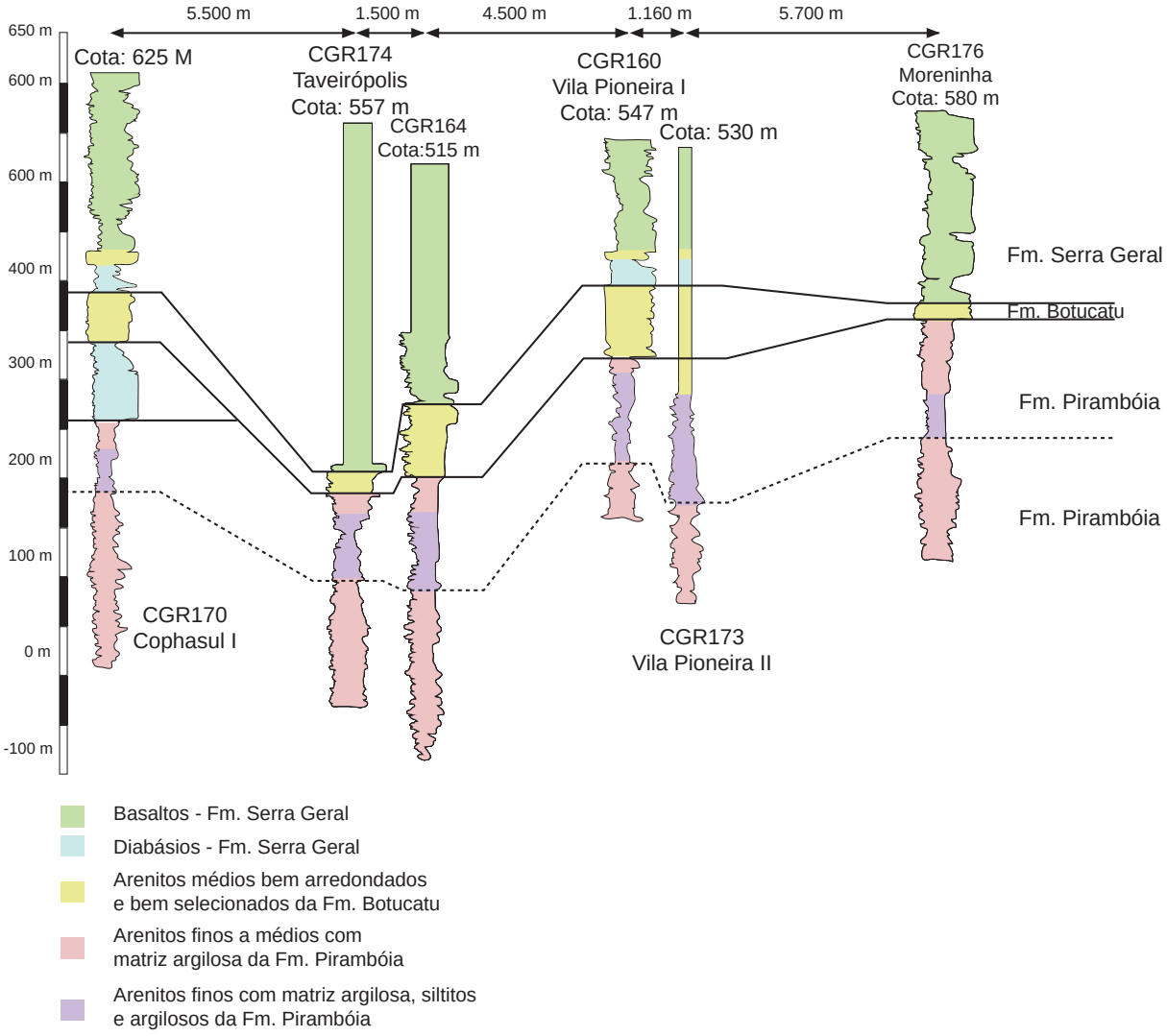


Figura A13.-
Seção geológica NW-SE na cidade de Campo Grande (Brasil) a partir de perfis geofísicos, mostrando variações litológicas e geométricas do SAG (Fonte: GASTMANS, D., 2007 [7]).

Figura A13.-
Sección geológica NW-SE en la ciudad de Campo Grande (Brasil), a partir de perfiles geofísicos, mostrando variaciones litológicas y geométricas del SAG (Fuente: Gastmans, D. 2007 [7]).

[7] GASTMANS, Didier. **Hidrogeologia e hidroquímica do Sistema Aqüífero Guarani na porção ocidental de bacia sedimentar do Paraná**. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente)–Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Unesp, Brasil, 2007.

[6] *Gastmans, Didier. Tesis Doutorado em Geociências e Meio Ambiente. "Hidrogeología e hidroquímica do sistema Acuífero Guaraní na porcao occidental de bacía sedimentar do Paraná". Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP, Brasil. (2007).*

No trabalho correspondente às figuras apresentadas (GASTMANS, D., 2007), foram também utilizadas as perfilagens para obter-se valores de porosidade por meio das perfilagens "sônicas", as quais se baseiam na determinação da velocidade de propagação do som para determinar o parâmetro de interesse.

Deve-se destacar que, para as técnicas geofísicas que se baseiam na resistividade elétrica do subsolo (ex. Sondagens Elétricas Verticais e sondagens magnetotelúricas), contar com seus dados reais em toda a coluna perfurada é de extrema importância. O registro permite determinar faixas de restividade correspondentes a cada litologia e correlacionar as interpretações geofísicas com a geologia da bacia. Particularmente, vários dos exemplos aqui apresentados, baseados em sondagens AM/MT, se apoiam na análise de perfilagem (registro) elétrica.

11.4.5 Sondagens Mmagnetotelúricas (AM/MT)

Estudos prévios

A aplicação da prospecção magnetotelúrica na bacia chaco-paranaense é bastante recente. O primeiro trabalho relevante de aplicação dessa técnica na bacia que está sendo estudada foi realizado em 1989,[8] cujos resultados e resolução refletem o nível dessa técnica naquela data. O progresso dos sistemas de computação (particularmente os algoritmos de investimento e cálculo) e a eletrônica permitiram um notável avanço na operação, na resolução e na interpretação dessa técnica, que se viu refletido nos estudos realizados nos anos posteriores. Ao mudar o século, desenvolveram-se novos estudos de campo na bacia, destacando-se: Padilla, A. e Vitorello, I. [9] (publicado no ano 2000) e Oleaga, A.[10] (publicado em 2002).

En el trabajo correspondiente a las figuras presentadas (Gastmans, D. 2007), también fueron utilizados los perfilajes para obtener valores de porosidad, a través de los perfilajes "sónicos", los cuales se basan en la determinación de la velocidad de conducción del sonido para determinar el parámetro de interés.

Es de destacar que para las técnicas geofísicas que se basan en la resistividad eléctrica del subsuelo (Ej. sondeos eléctricos verticales y sondeos magnetotelúricos), contar con datos reales de ésta en toda la columna perforada es de singular importancia. El registro permite determinar rangos de resistividad correspondientes a cada litología y correlacionar las interpretaciones geofísicas con la geología de la cuenca. En particular, varios de los ejemplos aquí presentados basados en sondeos AMT/MT se apoyan en el análisis de perfilajes (registros) eléctricos.

11.4.5 Sondeos Magnetotelúricos (AMT/MT)

Estudios previos

La aplicación de prospección magnetotelúrica en la cuenca chacoparanense es bastante reciente. El primer trabajo relevado de aplicación de ésta técnica en la cuenca de estudio fue realizado en 1989 [8] , cuyos resultados y resolución reflejan el estado del arte en dicha fecha. El avance de los sistemas computacionales (especialmente los algoritmos de inversión y cálculo) y la electrónica, han permitido un notable avance en la operación, resolución e interpretación de la técnica, lo cual se ha visto reflejado en los estudios realizados en años subsiguientes. Sobre el cambio de siglo se desarrollaron nuevos estudios de campo en la cuenca, destacándose: Padilla, A y Vitorello, I. [9] . (Publicado en el 2000) y Oleaga, A .[10] (Publicado en 2002).

---

[8] PADILHA, A.L.; Trivedi, N. B.; da Costa, J. M.; Vitorello, I.; Dupis, A.; Cavoit, C. Audiomagnetotelluric study in northeast region of Paran Basin, South America. **Geophysics**, v. 54, nº 7, Julio 1989; p. 824-831.

[9] Padilha, A.; Vitorello, I., Magnetotelluric and geomagnetic depth soundings around the Torres Syncline hinge, Southeast Paraná Basin, Brazil. **Geophysical Research Letters**, v 27, nº 22, p. 3655-3658, November 15, 2000.

[10] Oleaga, A. **"Contribución a la hidrogeología del acuífero Guaraní en el sector Uruguay. Un enfoque integral"**. Tese(mestre). Universidad Nacional Autónoma de México, p.119, 2002.

[8] Padilha, A.L.; Trivedi, N. B.; da Costa, J. M.; Vitorello, I.; Dupis, A.; Cavoit, C. Audiomagnetotelluric study in northeast region of Paran Basin, South America. Geophysics. Vol. 54. Nº. 7 (Julio 1989); P. 824-831.

[9] Padilha, A. y Vitorello, I., Magnetotelluric and geomagnetic depth soundings around the Torres Syncline hinge, Southeast Paraná Basin, Brazil. Geophysical research letters, Vol 27, Nº 22. Pag 3655-3658, November 15. 2000

[10] Oleaga, A., 2002. "Contribución a la hidrogeología del acuífero Guaraní en el sector Uruguay. Un enfoque integral". Tesis de maestría, pp. 119. Universidad Nacional Autónoma de México.

O primeiro se concentrou nos aspectos geofísicos –geológico estruturais tendentes a determinar a conformação do sinclinal de Torres, a base da bacia chaco-paranaense, que se encontra em menos de um até vários quilômetros sob sequências ígneas e sedimentares. Apresentam-se a seguir a área de estudos e duas seções obtidas com essa técnica. Deve-se notar que, nesse trabalho, já se apresenta uma seção 2D, resultado da interpretação conjunta dos dados, mostrando o significativo avanço e potencial que havia tido a técnica na década anterior.

El primero se enfocó en aspectos geofísicos - geológico estructurales, tendientes a determinar la conformación del sinclinal de Torres, basamento de la cuenca chacoparanense, el cual se encuentra desde menos de uno a varios kilómetros bajo secuencias ígneas y sedimentarias. A continuación se presenta el área de estudio y dos secciones obtenidas con la técnica. Es de destacar que en dicho trabajo ya se presenta una sección 2D resultado de la interpretación conjunta de los datos, mostrando el significativo avance y potencial que había tenido la técnica en la década precedente.

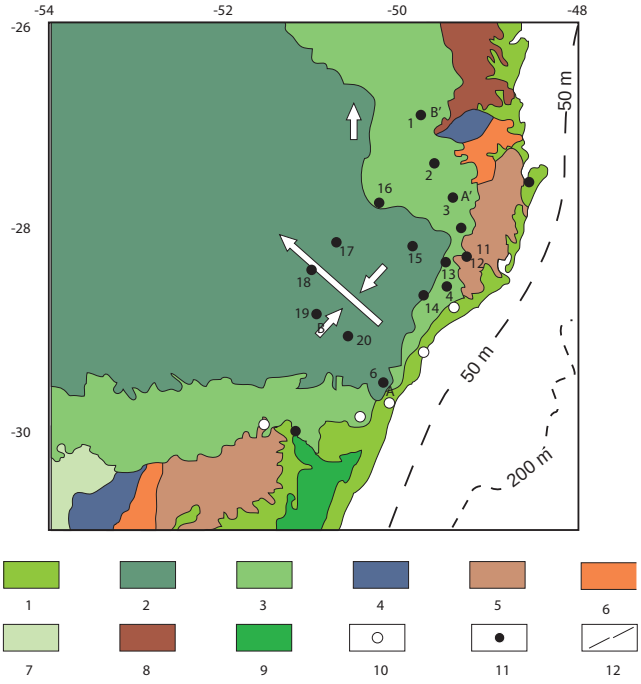


Figura A- Geologia em volta da concavidade Torres (representada pelas grandes flechas) no sul do Brasil. 1- Rochas Sedimentares Quaternárias ; 2- Jurássico Superior- Rochas Vulcânicas do Cretáceo Inferior; 3- Paleozóico Superior- Rochas Sedimentares Triássicas; 4,5,6 – Rochas metamórficas proterozóicas superior (Cinturão Dom Feliciano, granito-gnáissicos e metassedimentos de fáceis, respectivamente); 7- Rochas metamórficas proterozóicas superior; 8- Rochas metamórficas proterozóicas inferior; 9 – Zona de Cisalhamento; 10- minas de carvão; 11 estações MT/GDS; 12 perfis MT. Linhas pontilhadas são a batimetria do Oceano Atlântico.

Figura A- Geología alrededor de la concavidad Torres (representada por las flechas grandes) en el sur de Brasil. En el pequeño mapa la Cuenca del Paraná y el área estudiada en el mapa de América del Sur. 1- Rocas Sedimentarias Cuaternarias; 2- Jurásico Superior - Rocas Volcánicas de Cretácico Inferior; 3- Paleozoico Superior- Rocas Sedimentarias Triásicas; 4,5,6 – Rocas metamórficas proterozoicas superior (Cinturón Dom Feliciano, granito-gnéisicos y metasedimentos de facies, respectivamente); 7- Rocas metamórficas proterozoicas superior; 8- Rocas metamórficas proterozoicas inferior; 9 – Zona de Cizallamiento; 10- minas de carbón; 11 estaciones MT/GDS; 12 perfiles MT. Líneas puntilladas son la batimetría del Océano Atlántico.

Continua.-

Continua.-

Continuação.-

Continuación.-

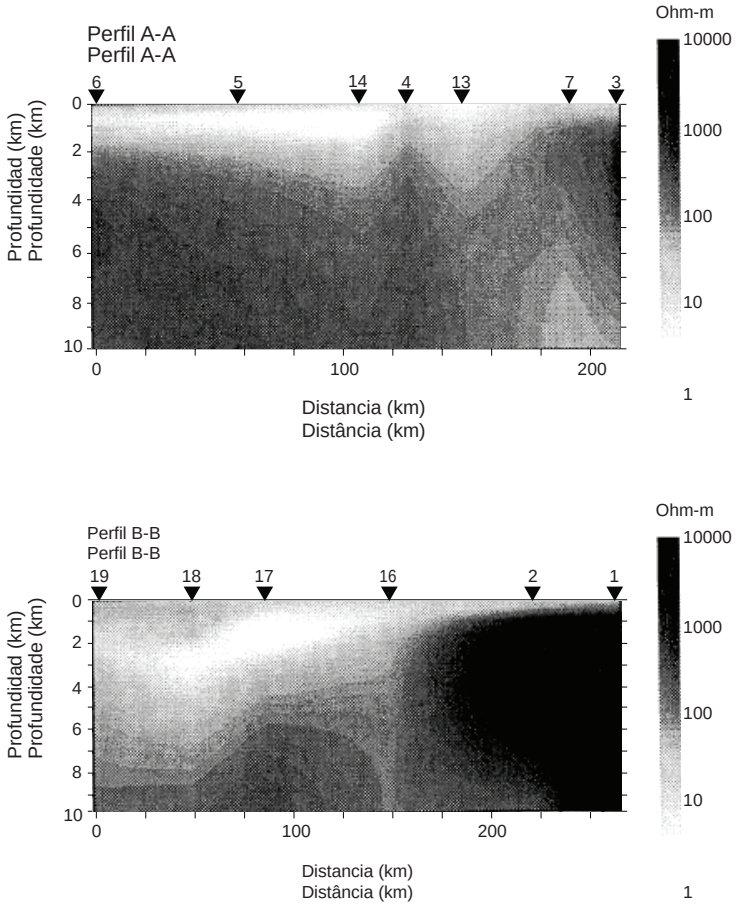


Figura B. Modelos de resistividade elétrica provenientes de inversões 2D dos dados MT para ambos perfis da figura A.

Figura B. Modelos de resistividad eléctrica provenientes de inversiones 2D de los datos MT para ambos perfiles de la figura A.

Figura A14.-
Área de estudo, sondagens e seções eletrorresistivas obtidas no trabalho de Padilha, A. e Vitorello, I. (2000).

Figura A14.-
Área de estudio, sondeos y secciones electro resistivas obtenidas en el trabajo Padilha, A. y Vitorello, I (2000).

No segundo trabalho indicado, utilizou-se essa técnica para determinar a conformação da bacia no Uruguai e das sequências que a compõem numa área de 30.000 km^2, sem informação sobre o subsolo. Deve-se salientar que, nesse trabalho, a geofísica é aplicada para a investigação do Aquífero Guarani, objeto central deste trabalho.

Nesse trabalho, foram realizadas 34 sondagens AMT/MT, todos no Uruguai, vários dos quais foram

En el segundo trabajo indicado, se utilizó la técnica para determinar la conformación de la cuenca en Uruguay y de las secuencias que la componen, en un área de 30.000 Km^2 sin información del subsuelo. Es de destacar que en este trabajo la geofísica es aplicada para la investigación del acuífero guaraní, objetivo central del trabajo.

En dicho trabajo se realizaron 34 sondeos AMT/MT, todos dentro de Uruguay, varios de los cuales fueron

de calibragem, ou seja, para correlacionar os corpos eletrorresistivos detectados na geofísica.

Ficou demonstrada nesse trabalho a grande aplicabilidade dessa técnica na bacia que contém o SAG, ao detectar com grande precisão todas as grandes sequências que a conformam. Destaca-se que a presença de basalto não foi impedimento para a aplicabilidade da técnica ou para obter-se uma grande precisão. Pelo contrário, os pontos de calibragem mostraram um ajuste mínimo decorrente de erros, conferindo assim segurança aos resultados posteriores.

de calibración, o sea, para correlacionar los cuerpos electroresistivos detectados en la geofísica.

Dicho trabajo mostró gran aplicabilidad de la técnica a la cuenca que contiene al SAG, detectando todas las grandes secuencias que la conforman y con gran precisión. Es de destacar que la presencia de basalto no ha sido impedimento para la aplicabilidad de la técnica o en desmedro de su precisión, sino que por el contrario, los puntos de calibración mostraron un ajuste de mínimo error, dándole certidumbre a los resultados posteriores.

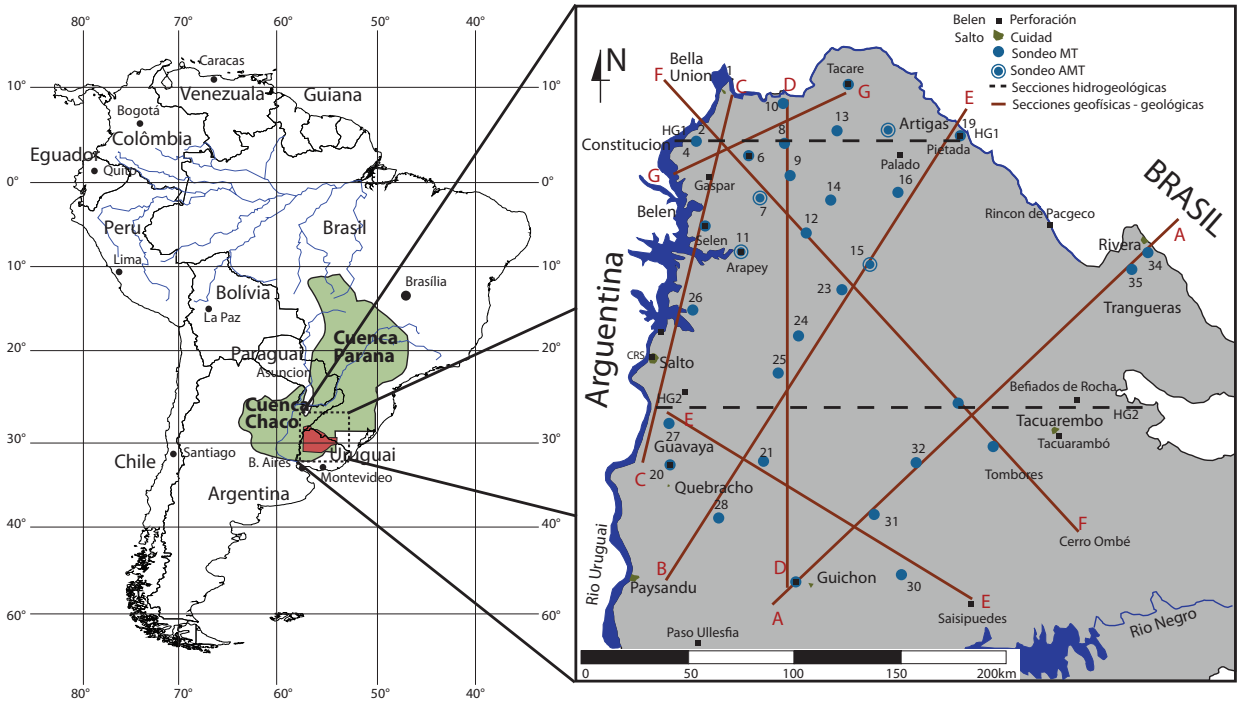


Figura A15.-
Localização da área de estudo. Sondagens AMT/MT e seções geofísicas e geológicas realizadas (OLEAGA, 2002).

Figura A15.-
Ubicación del área de estudio, sondeos AMT/MT y secciones geofísicas y geológicas realizadas (Oleaga, 2002).

Foram geradas várias seções geofísicas que mostram a estrutura e características da bacia. Em particular, apresenta-se uma delas, na qual se destaca a espessura sedimentar superior, os basaltos (cores verde a azuis), as rochas sedimentares (cores amarelo, vermelho e rosado), localizadas entre eles e

Se generaron varias secciones geofísicas que muestran la estructura y características de la cuenca. En particular, se presenta una de ellas, en la cual se destaca el espesor sedimentario superior, los basaltos (colores verde a azules), las rocas sedimentarias (colores amarillo, rojo y rosado)

o embasamento, e a posição deste último (mostrado nas cores azul até bordô).

ubicadas entre éstos y el basamento, y la posición de este último (mostrado en colores azules a bordó).

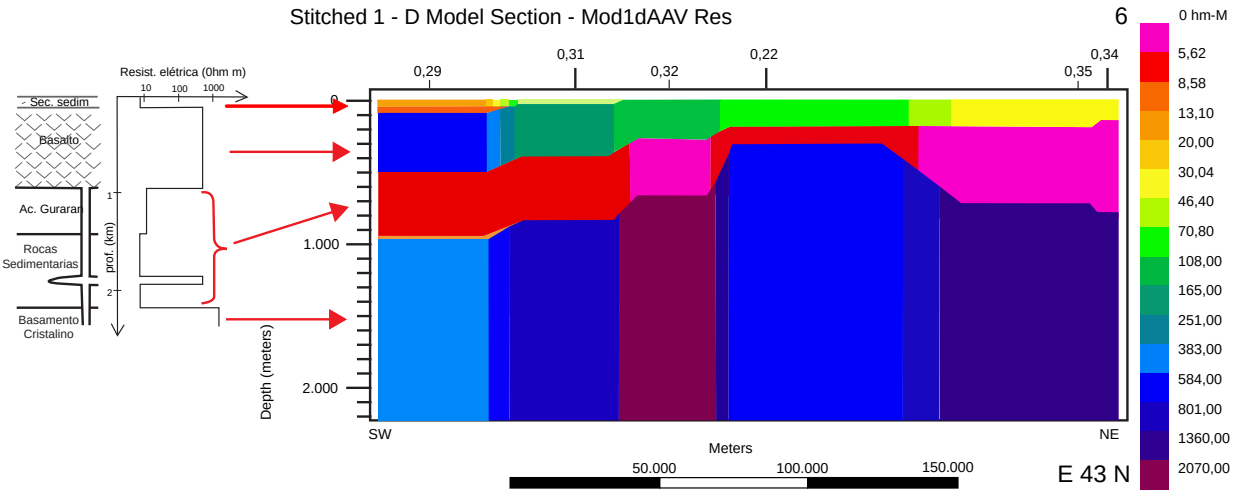


Figura A16.-
Esq. Esquema litológico-resistivo simplificado da Bacia e Dir. Seção A, resultado da união das interpretações 1D das sondagens AMT/MT (OLEAGA, 2002).

Figura A16.-
Izq. Esquema litológico-resistivo simplificado de la Cuenca y Der. Sección A, resultado de la unión de las interpretaciones 1D de los sondeos AMT/MT (Oleaga, 2002).

Projeto SAG

Durante a execução do presente Projeto para a Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Aquífero Guarani, foram realizados dois trabalhos de prospecção AMT/MT que foram de grande relevância para o conhecimento hidrogeológico do Aquífero Guarani, já que representaram uma significativa contribuição para o estudo da geologia dessa bacia. Um dos trabalhos correspondeu ao projeto do fundo de universidades "Investigação geofísica da estrutura geológica da Bacia Chaco-Paranaense, numa área centralizada em volta das cidades de Salto (Uruguai) e Concordia (Argentina)", enquanto o segundo faz parte dos trabalhos de consultoria incluídos nos "Serviços de Inventário, Amostragem, Geologia, Geofísica, Hidrogeoquímica, Isótopos e Hidrogeologia," localizada das Áreas Operativas Norte e Sul do Sistema Aquífero Guarani.

O primeiro foi realizado conjuntamente por três universidades, Universidad de la República

Proyecto SAG

Durante la ejecución del presente "Proyecto para la Protección Ambiental y desarrollo sostenible del acuífero Guaraní", se realizaron dos trabajos de prospección AMT/MT que han sido de gran relevancia, no solo para el conocimiento hidrogeológico del acuífero Guaraní, ya que han sido un significativo aporte para el estudio de la geología de la cuenca. Uno de estos correspondió al proyecto del fondo de Universidades "Investigación geofísica de la estructura geológica de la cuenca Chaco-Paranense, en un área centrada en las ciudades Salto (Uruguay) y Concordia (Argentina)", mientras que el segundo fue parte de los trabajos de consultoría incluidos en los "Servicios de Inventario, Muestreo, geología, Geofísica, Hidrogeoquímica, Isótopos e Hidrogeología localizada de las Áreas Operativas Norte y Sur del Sistema Acuífero Guaraní".

El primero fue realizado conjuntamente por tres universidades, Universidad de la República

(Uruguai), Universidad Nacional Autónoma de México (México) e a Universidad Tecnológica Nacional (Argentina). A área de estudo (10.000 km^2) pertence ao setor sudoeste da Bacia, centralizada num dos maiores, se não o maior, centros turísticos termais da região, de onde são extraídos aproximadamente 20.000 m^3/dia, havendo incertezas quanto à sua sustentabilidade. Com o objetivo de gerar um marco conceitual mais detalhado, principalmente da estrutura geológica que alberga o SAG, foram realizadas trinta sondagens eletromagnéticas de amplo espectro (AMT + MT), as quais foram somadas às 12 sondagens antecedentes na área (realizadas por OLEAGA, 2002). Na figura seguinte se mostram a área de estudo e as sondagens realizadas.

(Uruguay), Universidad Nacional Autónoma de México (México) y la Universidad Tecnológica Nacional (Argentina). El área de estudio (10,000 km^2) pertenece al sector suroeste de la Cuenca, centrada en uno de los mayores, sino el mayor, centros turísticos termales de la región, en donde se extraen aproximadamente 20,000 m^3/día, existiendo incertidumbre sobre su sustentabilidad. Con el objetivo de generar un marco conceptual más detallado, esencialmente de la estructura geológica que alberga al SAG, se realizaron 30 sondeos electromagnéticos de amplio espectro (AMT+MT), a los cuales se sumaron los 12 sondeos antecedentes en el área (realizados por Oleaga, 2002). En la siguiente figura se presenta el área de estudio y los sondeos realizados.

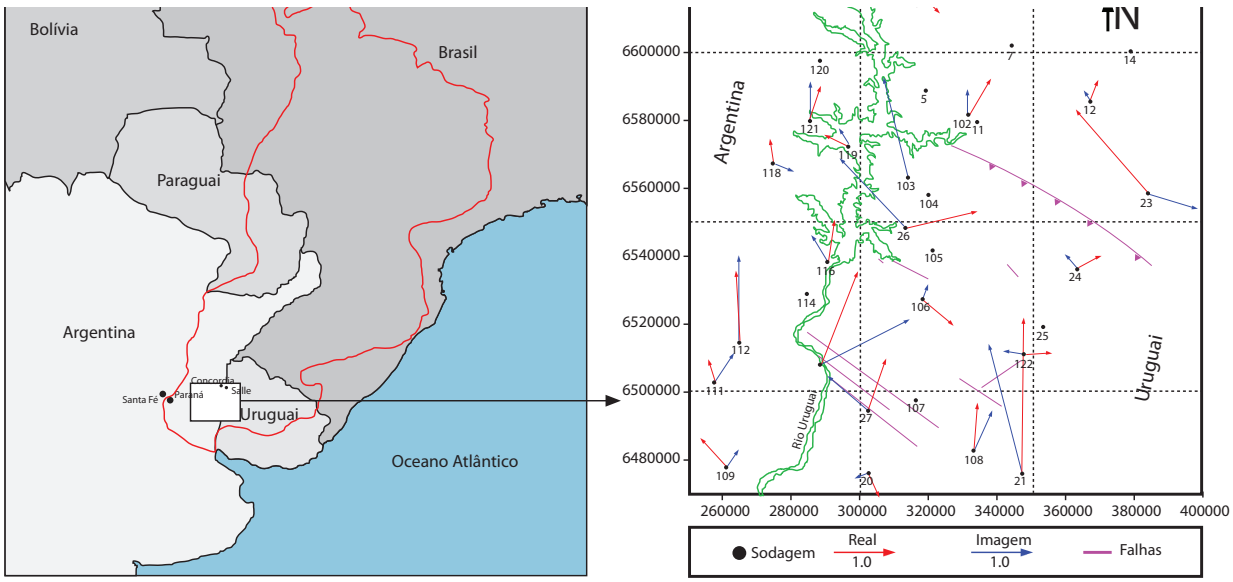


Figura A17.-
Bacia Chaco-Paranaense (esq.) e área de estudo (dir.) onde se inclui a localização das perfurações profundas, a hidrografia a falha principal detectada desde a superfície.

Figura A17.-
Cuenca Chaco-Paranense (izq.) y área de estudio (der.) en donde se incluye la ubicación de las perforaciones profundas, la hidrografía y el fallamiento principal detectado desde superficie.

Foram gerados modelos 1D das 42 sondagens e nove seções 2D da área em estudo, que mostram uma bacia que se aprofunda na direção oeste, alcançando uma profundidade de até 4.800 m, no

Se generaron modelos 1D de los 42 sondeos y nueve secciones 2D del área de estudio, que muestran una cuenca que se profundiza en dirección oeste, alcanzando una profundidad de hasta 4.800m, en el

lado Argentino, setor onde antes se desconhecia a profundidade da base. Os traçados das seções 2D são apresentadas a seguir.

lado Argentino, sector donde antes se desconocía la profundidad del basamento. Las trazas de las secciones 2D se presenta a continuación.

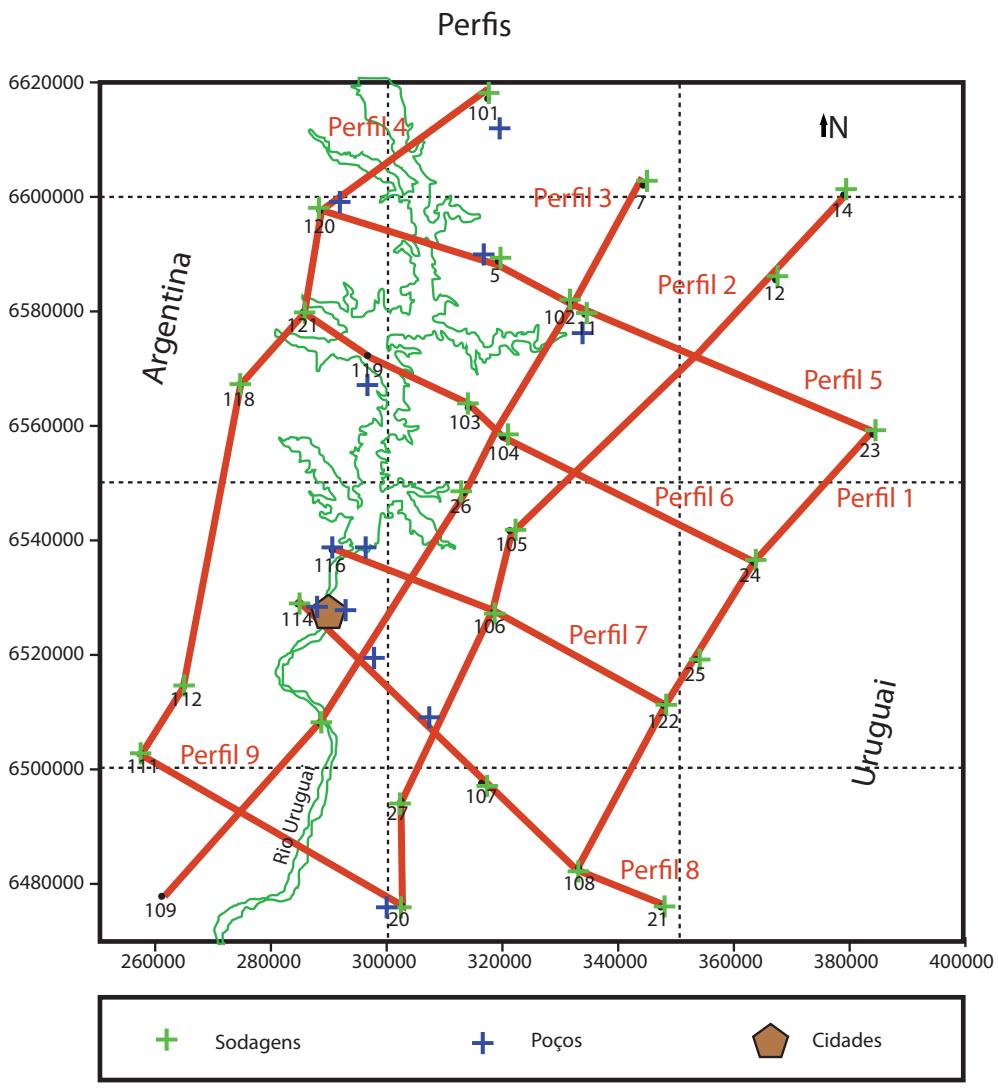


Figura A18.-
Localização de sondagens, perfurações, traços estruturais e seções 2D realizadas.

Figura A18.-
Ubicación de sondeos, peroraciones, rasgos estructurales y secciones 2D realizadas.

Com o trabalho, pôde ser observado que o recheio geológico mostra uma grande influência estrutural quanto à sua geração e evolução, notando-se uma bacia que tem apresentado

Con el trabajo se observó que el relleno muestra gran influencia estructural en cuanto a su generación y evolución, observándose una cuenca que ha presentado una casi permanente

quase uma permanente subsidência, o que permitiu a acumulação de importantes volumes de sedimentos e, posteriormente, de rochas ígneas, podendo cada um deles superar 2.000 m. A bacia apresenta grandes falhas e compartimentação, no que resulta que em menos de 80 km de distância se encontrem setores onde se alcança o Aquífero Guarani a uma profundidade inferior a 400 m e outros onde a base dos basaltos supere os 2.000 m.

O estudo permitiu detectar algumas falhas não cartografadas e confirmar outras, observando-se algumas onde o deslocamento vertical provoca uma descontinuidade entre setores permeáveis do aquífero que superam a sua espessura total, não podendo determinar se essas falhas geraram barreiras ao movimento das águas subterrâneas. A seguir, mostram-se algumas seções 2D obtidas, bem como mapas de profundidade dos principias pacotes que compõem a bacia.

subsidencia, lo cual permitió la acumulación de importantes espesores sedimentarios y posteriormente ígneos, pudiendo superar los 2000m cada uno. La cuenca presenta un gran fallamiento y compartimentación que produce que a menos de 80Km se encuentren sectores donde se alcance el acuífero Guaraní a una profundidad de menos de 400m y otros donde la base de los basaltos supera los 2000m.

El estudio permitió detectar algunas fallas no cartografiadas y confirmar otras, observándose algunas donde el desplazamiento vertical provoca una discontinuidad entre sectores permeables del acuífero que superan el espesor total de éste, no pudiéndose determinar si el fallamiento ha generado barreras al pasaje del agua subterránea. A continuación se presentan algunas secciones 2D obtenidas y mapas de profundidades de los principales paquetes que componen la cuenca.

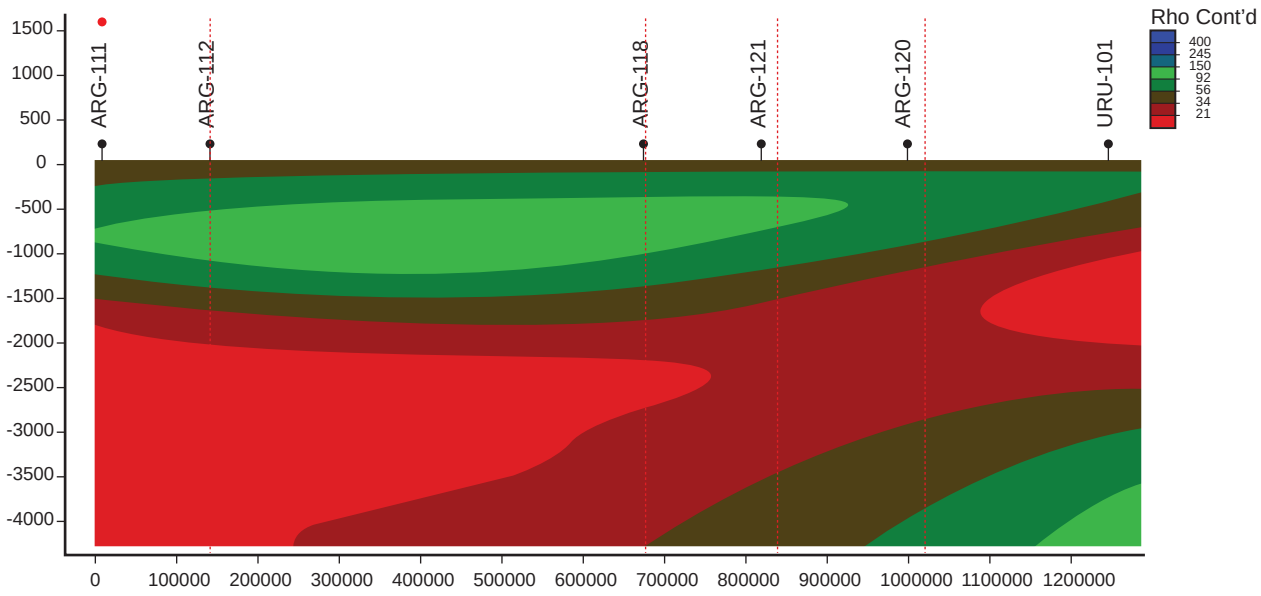


Figura A19.-
Seção n° 4.

Figura A19.-
Sección Nº 4.

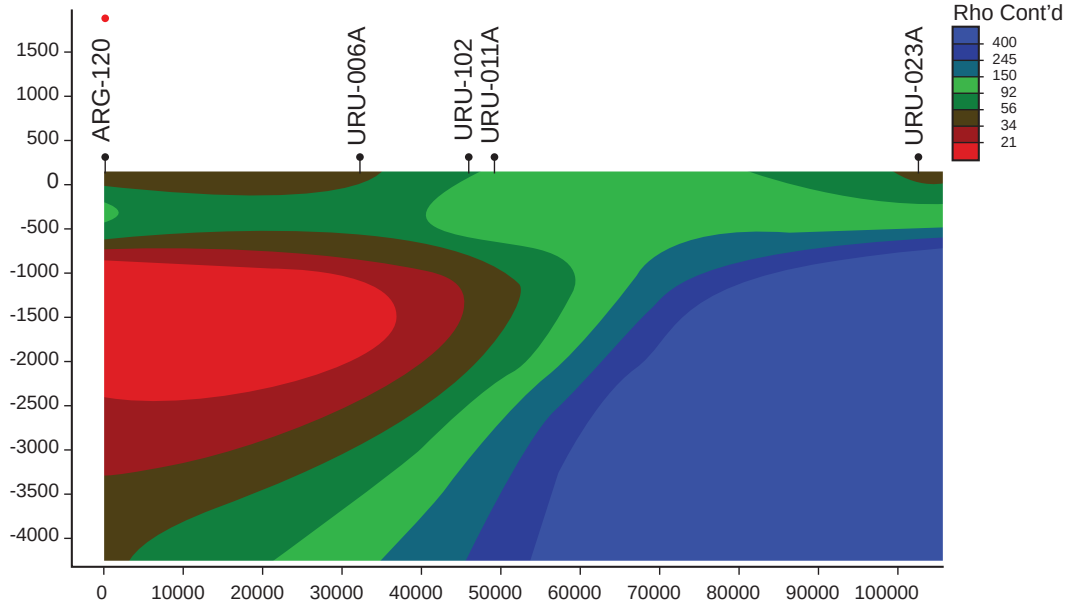


Figura A20.-
Seção n° 5.

Figura A20.-
Sección Nº 5.

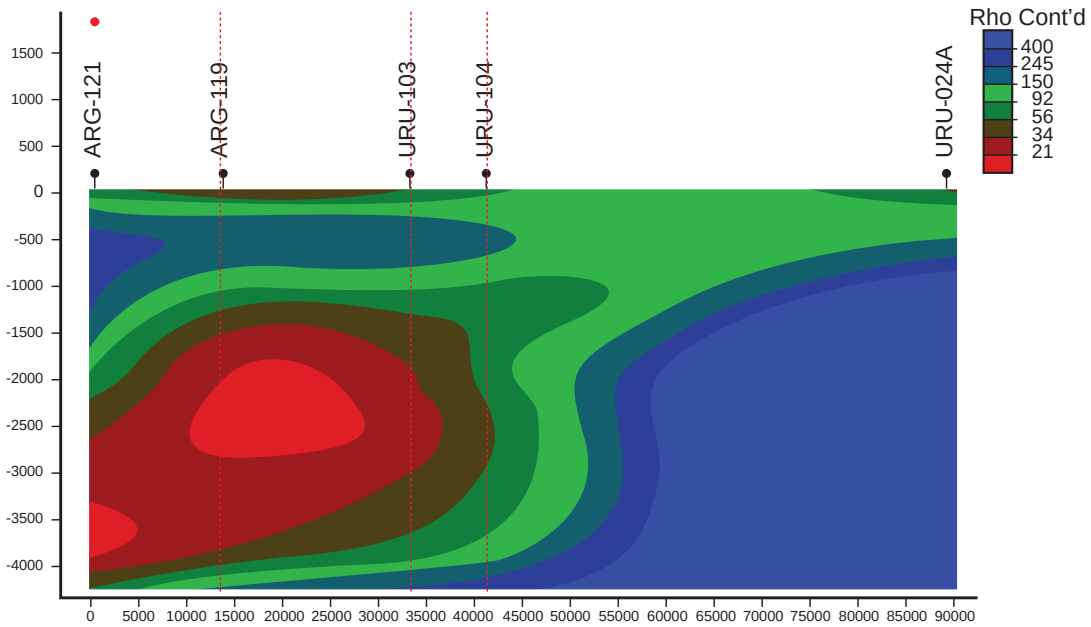


Figura A21.-
Seção n° 6.

Figura A21.-
Sección Nº 6.

De acordo com os valores eletrorresistivos, os tons azuis e verde-claro correspondem a basalto e embasamento cristalino, enquanto os tons verde-escuros chegando aos vermelhos representam rochas sedimentares. Deve-se destacar que tais seções foram obtidas automaticamente, mostrando por si mesmas a estruturação do subsolo.

Os mapas de profundidades (representados a seguir) foram obtidos a partir da interpretação unidimensional das sondagens junto com dados de perfurações que alcançaram o embasamento, permitindo ampliar a informação básica da bacia a toda a região leste da Argentina, onde não existiam informações prévias e hoje se aplicam a uma bacia que supera os 5000 m de profundidade.

Os resultados mostraram que a técnica se ajusta muito bem às características da bacia, permitindo detectar os principais pacotes que a compõem, tanto os que se acham na superfície quanto os que estão a milhares de metros de profundidade. Da mesma forma, a precisão e robustez dos resultados, bem como a facilidade de operação e o baixo custo relativo, até mesmo diante da presença de importantes volumes de basaltos, valorizaram a técnica. Isso redundou em que fosse posteriormente considerada para ser usada nos trabalhos de prospecção no âmbito do projeto SAG.

De acuerdo a los valores electroresistivos, los tonos azules a verde claro corresponden a basalto y basamento cristalino, mientras que los tonos verde oscuros a rojos representan rocas sedimentarias. Es de destacar que dichas secciones se obtuvieron automáticamente, mostrando por si mismas la estructuración del subsuelo.

Los mapas de profundidades (presentados a continuación), se obtuvieron a partir de la interpretación unidimensional de los sondeos junto con datos de perforaciones que alcanzan el basamento, permitiendo extender la información de base de la cuenca a la región Este de Argentina, en donde no existía información previa, y hoy se indica una cuenca que supera los 5000m de profundidad.

Los resultados mostraron que la técnica se ajusta muy bien a las características de la cuenca, permitiendo detectar los principales paquetes que la componen, tanto cuando se encuentran someros como a miles de metros de profundidad. Asimismo, la precisión y robustez de los resultados, así como la facilidad operativa y bajo costo relativo, inclusive ante la presencia de importantes espesores de basaltos, valorizaron la técnica. Ello redundó en que posteriormente sea considerada para la prospección a realizar en el marco del proyecto SAG.

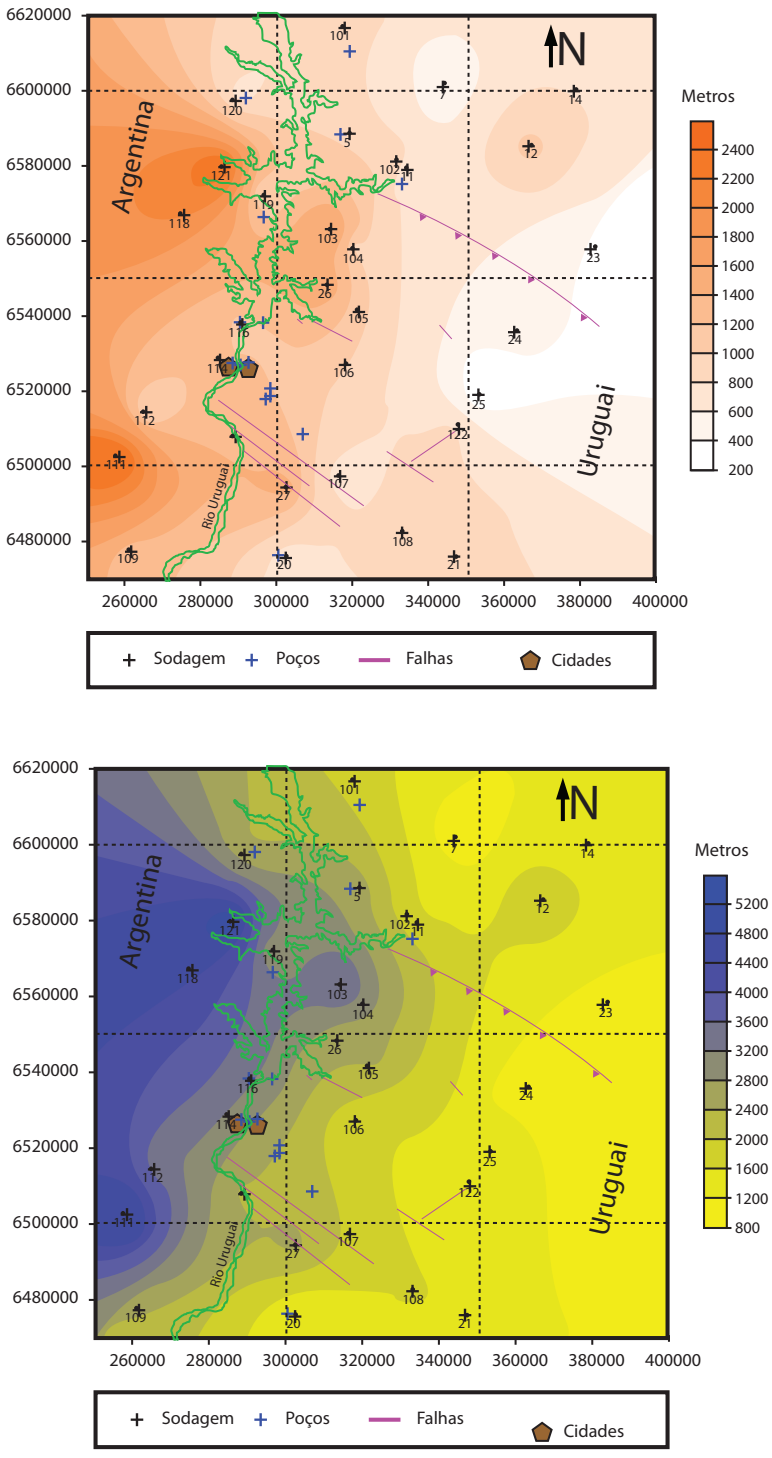


Figura A22.-
Em cima: profundidade até a base do basalto; embaixo: profundidade da bacia.

Figura A22.-
Arriba. Profundidad a la base del basalto; por debajo: Profundidad de cuenca.

Nos anos 2007 e 2008 foram realizados os trabalhos de campo de geofísica correspondentes à consultoria "Serviços de Inventário, Amostragem, Geologia, Geofísica, Hidrogeoquímica, Isótopos e Hidrogeologia", localizada nas áreas Operativas Norte e Sul do Sistema Aquífero Guarani, sob a responsabilidade de SNC – Lavalin Internacional Inc.

Além dos estudos gravimétricos realizados, foram implementadas dezenas de sondagens AMT/MT (Geodados srl, Argentina) nas áreas de maior incerteza ou necessidade de conhecimento do aquífero. Os primeiros trabalhos foram principalmente destinados a fornecer informações a respeito do limite sul-ocidental do Aquífero Guarani, onde se verifica uma brusca transição da água doce/salgada sempre que se leve em conta a água obtida nos poços profundos existentes. Para tal, foram realizadas análises unidimensionais das sondagens e seções bidimensionais (Ingesur srl, Uruguai).

O caso apresentado corresponde a uma seção de uns 40 km de comprimento realizado na porção sul da província de Entre Rios, Argentina, cuja localização se mostra a seguir. Para isso, contou-se com 28 sondagens AMT/MT.

Como parte do processo de interpretação, destaca-se a realização de uma análise de dimensionalidade do meio em cada sondagem, mostrando ainda mais o potencial da técnica de prospecção. O resultado indica que o subsolo apresenta um setor superior (associável às rochas sedimentares sobre o basalto) com comportamento unidimensional, ou seja, com pouca variabilidade lateral. No entanto, os setores mais profundos — associáveis à parte do basalto e, especialmente, aos corpos infrabasálticos e o embasamento — mostram um comportamento bi ou tridimensional, reflexo da importante estruturação.

En los años 2007 y 2008 se realizaron los trabajos de campo de geofísica correspondientes a la consultoría "Servicios de Inventario, Muestreo, geología, Geofísica, Hidrogeoquímica, Isótopos e Hidrogeología localizada de las Áreas Operativas Norte y Sur del Sistema Acuífero Guaraní", responsabilidad de SNC – Lavalin Internacional Inc.

Además de los estudios gravimétricos realizados, se implementaron decenas de sondeos AMT/MT (Geodatos srl, Argentina) en las áreas de mayor incertidumbre o necesidad de conocimiento del acuífero. En particular, los primeros trabajos fueron enfocados en aportar información del límite sur-occidental del Acuífero Guaraní, donde se da una brusca transición de agua dulce / salada, si se considera el agua obtenida de los pozos profundos existentes. Para ello, se realizaron análisis unidimensionales de los sondeos y secciones bidimensionales (Ingesur srl, Uruguay).

El caso presentado corresponde a una sección de unos 40 Km de largo, realizada en la porción sur de la provincia de Entre Ríos Argentina, cuya ubicación se presenta a continuación. Para ello, se contó con 28 sondeos AMT/MT.

Como parte del proceso de interpretación, se destaca la realización de un análisis de dimensionalidad del medio en cada sondeo, mostrando aún más el potencial de la técnica de prospección. De este surge que el subsuelo presenta un sector superior (asociable a las rocas sedimentarias sobre el basalto) con comportamiento unidimensional, o sea, de poca variabilidad lateral. En cambio, los sectores más profundos, asociables a parte del basalto y especialmente a los cuerpos infrabasálticos y el basamento, muestran un comportamiento bi o tri dimensional, reflejo de la importante estructuración.

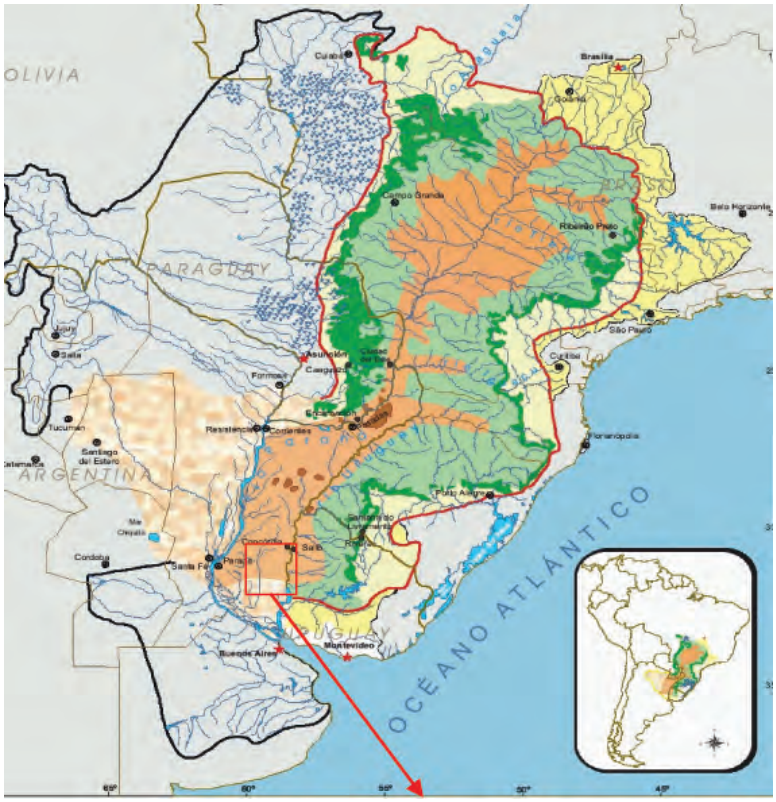


Figura A23.-
Localização da seção de estudos, sondagens realizadas e direção do condutor principal detectado.

Figura A23.-
Ubicación de la sección de estudio, sondeos realizados y dirección del conductor principal detectado.

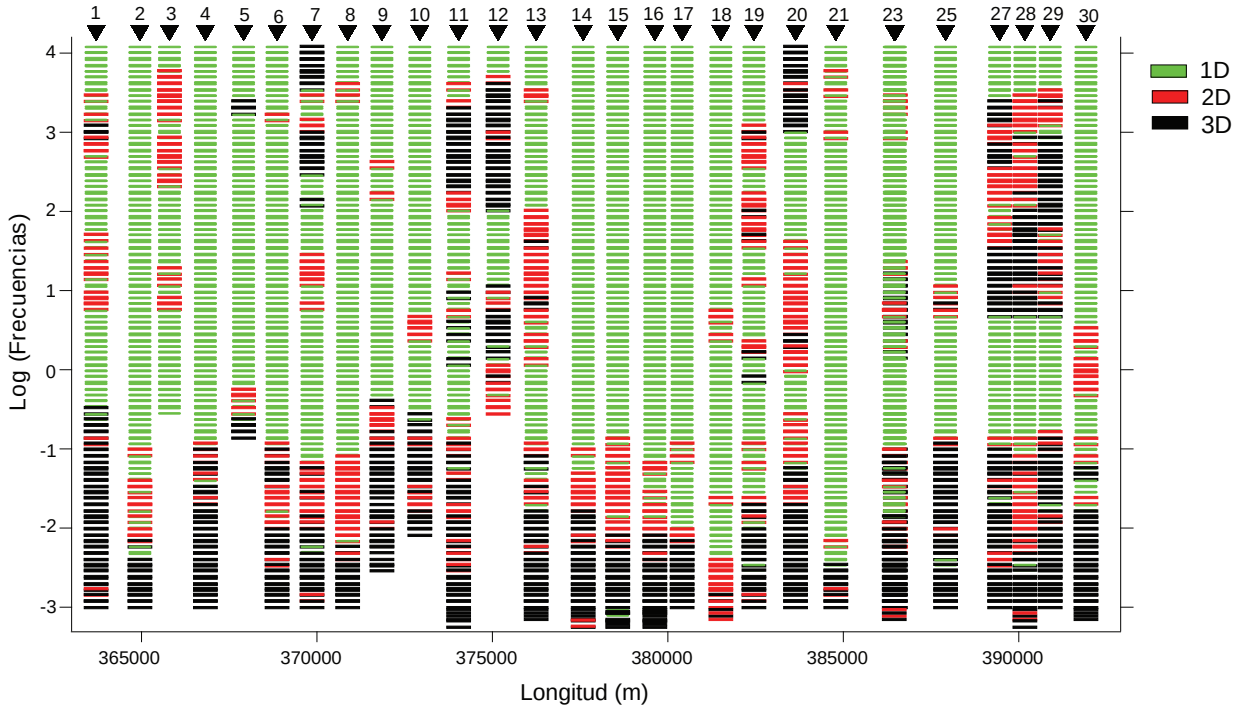


Figura A24.-
Dimensionalidade de cada sondagem para cada frequência de análise.

Figura A24.-
Dimensionalidad de cada sondeo para cada frecuencia de análisis.

Após tal análise, realizaram-se uma interpretação unidimensional em cada lugar e uma seção ao longo de todas as sondagens que se apresentam a seguir.

Os resultados mostram dois setores bem marcados dentro da seção. A metade leste mostra uma bacia relativamente pouco profunda, de mais de mil metros de profundidade, na qual quase não existe a presença de sedimentos, notando-se principalmente basaltos. Em muitas ocasiões não foram detectados, ou foram encontrados em quantidades mínimas sedimentos infrabasálticos, o que minimiza a possibilidade de conexão hidráulica entre as rochas sedimentares do leste e do oeste dessa seção, marcando dessa forma o que seria o limite ocidental do Aquífero Guarani.

Nessa metade, observa-se uma pequena inclinação nos estratos em direção ao oeste, onde no centro de uma importante descontinuidade, abre-se uma bacia de profundidade muito maior.

Tras dicho análisis, se realizó una interpretación unidimensional en cada sitio y una sección a lo largo de todos los sondeos, la cual se presenta a continuación.

Los resultados muestran dos sectores bien marcados dentro de la sección. Su mitad este muestra una cuenca relativamente somera, de hasta algo más de mil metros de profundidad, en la cual no hay casi presencia de sedimentos, observándose mayormente basaltos. En ocasiones, no se detectó o fue de mínima entidad, la presencia de sedimentos infrabasáltos, lo que minimiza la posibilidad de conexión hidráulica entre las rocas sedimentarias el este y el oeste de la sección, dando marco a lo que sería el límite occidental del acuífero guaraní.

En esta mitad, se observa un pequeño buzamiento hacia el oeste, donde al centro una importante discontinuidad da paso a una cuenca de mucho mayor profundidad.

A metade oeste mostra uma bacia de até 4000 m que, a diferença da outra metade, revela importantes capas sedimentares, principalmente sobre embasamento, superando os 2000 m.

A técnica mostrou-se de grande aplicabilidade nessa área detectando todos os grandes elementos que constituem a bacia. Em dois dos três pontos de controle, observou-se um grande ajuste entre os resultados da perfuração e sondagem, enquanto, no terceiro, tal fato não sucedeu em decorrência da consequência do tempo menor que o recomendável para sua medição. Isso mostra que uma parte importante da resolução da técnica está baseada na adoção de um adequado tempo de medição, que em tais condições, como as presentes, deveria não ser menor de 12-15 horas, contando assim com uma adequada quantidade de medições nas baixas frequências (MT). Deve-se destacar que tanto a aplicabilidade quanto a precisão não foram afetadas por elementos altamente ou muito pouco resistivos, como são os basaltos e os aquíferos de água salgada, respectivamente, elementos que dificultariam seriamente a aplicação de outras técnicas como, por exemplo, as Sondagens Elétricas Verticais.

La mitad oeste muestra una cuenca de hasta 4000 m, la cual, a diferencia de la otra mitad, muestra importantes espesores sedimentarios, especialmente sobre el basamento, superando los 2000 m.

La técnica mostró gran aplicabilidad al área, detectando todos los grandes elementos que constituyen la cuenca. En dos de los tres puntos de control, se observó gran ajuste entre los resultados de la perforación y el sondeo, mientras que en el restante no fue así, resultado de un menor tiempo de medición del recomendable. Esto muestra, que una parte importante de la resolución de la técnica está basada en realizar un adecuado tiempo de medición, el cual para condiciones como las presentes debería alcanzar no menos de 12-15 hs, y así contar con adecuada cantidad de mediciones en las bajas frecuencias (MT). Es de destacar que tanto la aplicabilidad como la precisión no han sido afectadas por elementos altamente o muy poco resistivos como son los basaltos y los acuíferos de agua salada respectivamente, elementos que dificultarían seriamente la aplicación de otras técnicas, como por ejemplo los sondeos eléctricos verticales.

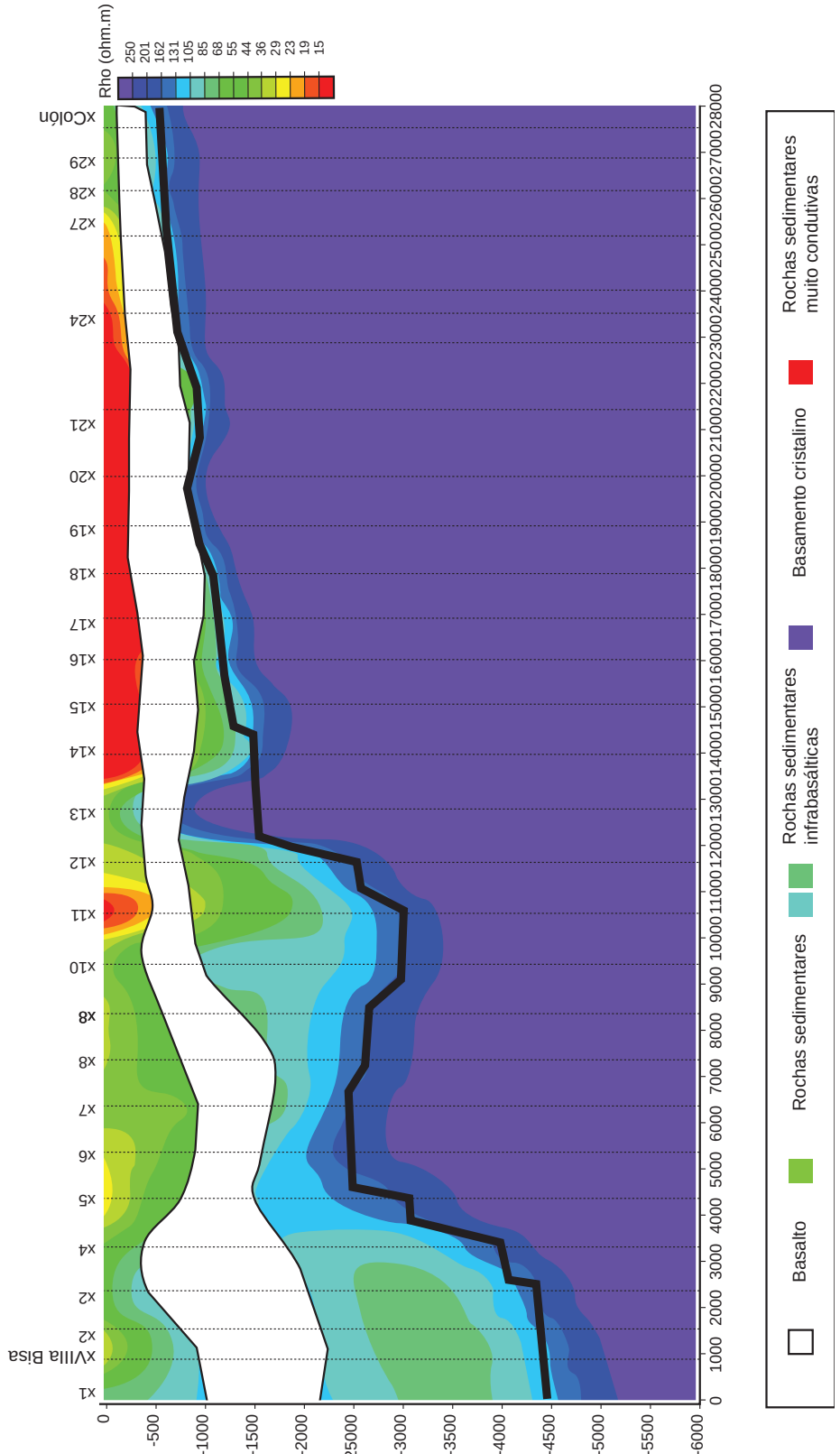


Figura A25.-
Seção 2D interpretativa dos dados AMT/MT sobre a qual se identificam os principais corpos detectados na bacia.

Figura A25.-
Sección 2D interpretativa de los datos AMT/MT sobre la cual se identifican los principales cuerpos detectados en la cuenca.

11.4.6 Técnicas complementares

Normalmente, a aplicação de duas ou mais técnicas geofísicas contribui com informação muito mais significativa do que individualmente contribuiria cada uma delas. Isto é mais observado quando as propriedades em que cada técnica está baseada não estão inter-relacionadas (ex. densidade e resistividade elétrica).

O uso de técnicas complementares é muito usual, especialmente quando existe um grande interesse em detectar certos corpos com precisão.

Conforme indicado anteriormente, mostram-se exemplos nos quais se aprecia claramente a vantagem da análise conjunta.

Gravimetria (densidade), AMT/MT (resistividade elétrica) e geologia

Na área do Aquífero Guarani, a interpretação de uma seção gravimétrica por si só não permite obter-se uma ajustada seção 2D, uma vez que a bacia inclui corpos de diferentes densidades, existindo infinitas soluções para uma anomalia determinada. Da mesma forma, a informação pontual permite apenas chegar a conclusões pontuais ou, no melhor dos casos, a valores intermediários resultantes de interpolações entre dois pontos. No caso presente, uma vez que o modelo a ser gerado deve ajustar toda a informação produzida, a qual corresponde a fenômenos não relacionados diretamente, o ajuste conseguido é muito mais robusto, mostrando de forma muito mais clara e com maior riqueza de detalhes as condições reais da bacia.

No anexo correspondente a sondagens AMT/MT, mostrou-se uma seção obtida exclusivamente na informação gerada com essa técnica (OLEAGA, 2002). No marco desse trabalho, além da mencionada prospecção, utilizou-se informação gravimétrica da bacia chaco-paranaense no Uruguai a fim de gerar seções geofísico-geológicas que ajustassem de forma simultânea as sondagens AMT/MT, os poços com informação litológica, os afloramentos e as anomalias gravimétricas medidas ao longo da seção. O resultado de tal ajuste se mostra na figura seguinte.

Como pode ser observado e comparando com a seção obtida unicamente com sondagens AMT/MT (indicada no anexo da prospecção magneto telúrica), o grau de detalhe que se obtém da bacia é

11.4.6 Técnicas complementarias

Usualmente la aplicación de dos o más técnicas geofísicas aporta significativa más información que lo que individualmente aportarían cada una. Esto es más marcado cuando las propiedades en que se basa cada técnica no son interrelacionadas (Ej. Densidad y resistividad eléctrica).

El uso de técnicas complementarias es muy usual, especialmente cuando hay un marcado interés en detectar precisamente ciertos cuerpos.

De acuerdo a lo indicado, se presentan ejemplos en los cuales se aprecia claramente la ventaja del análisis conjunto.

Gravimetría (densidad), AMT/MT (resistividad eléctrica).y geología

En el área del acuífero guaraní, la interpretación de una sección gravimétrica por si sola no permite obtener una ajustada sección 2D, dado que la cuenca incluye cuerpos de distintas densidades, existiendo infinitas soluciones para una anomalía determinada. Igualmente, la información puntual solo permite sacar conclusiones puntuales, o en el mejor de los casos, valores intermedios resultado de interpolar entre dos puntos. En el presente caso, dado que el modelo a generar debe ajustar toda la información indicada, la cual corresponde a fenómenos no directamente relacionados, el ajuste obtenido es mucho más robusto, mostrando de mucha mejor manera y con más detalles de las condiciones reales de la cuenca.

En el apartado correspondiente a sondeos AMT/MT se presentó una sección obtenida en base exclusivamente a la información generada con dicha técnica (Oleaga 2002). En el marco de dicho trabajo, además de dicha prospección, se utilizó información gravimétrica de la cuenca chacoparanense en Uruguay para generar secciones geofísico geológicas que ajustaran en simultáneo los sondeos AMT/MT, los pozos con información litológica, los afloramientos y las anomalías gravimétricas medidas a lo largo de la sección. El resultado de dicho ajuste se presenta en la siguiente figura.

Como puede observarse, y comparando con la sección obtenida únicamente con sondeos AMT/MT (indicada en el apartado prospección magnetotelúrica), el grado de detalle que se obtiene de la cuenca es significativamente mayor

significativamente maior que o que se poderia obter independentemente, em cada uma das técnicas.

Essa nova interpretação permite verificar e ajustar as condições estruturais da bacia, as principais falhas e seus rechaços (retrocessos encontrados em camadas geológicas por causa de resistências encontradas), elementos de suma relevância para a compreensão da evolução geológica e suas implicações no sistema de fluxo subterrâneo.

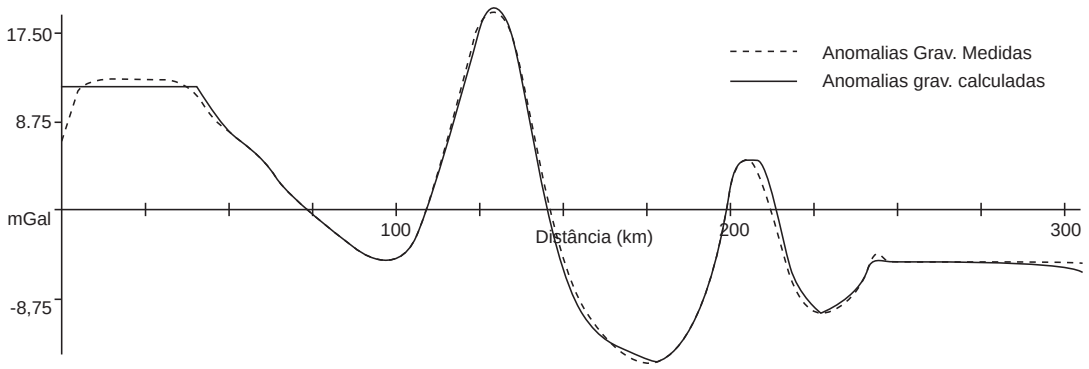
Além do descrito anteriormente, no mencionado trabalho foram realizadas sete seções geológico-geofísicas, que serviram de base para a geração de um esquema tridimensional da bacia no Uruguai. Selecionando-se as três principais seções foi desenvolvida uma vista 3D que se mostra a seguir.

que el que se podría obtener de cada una de las técnicas independientemente.

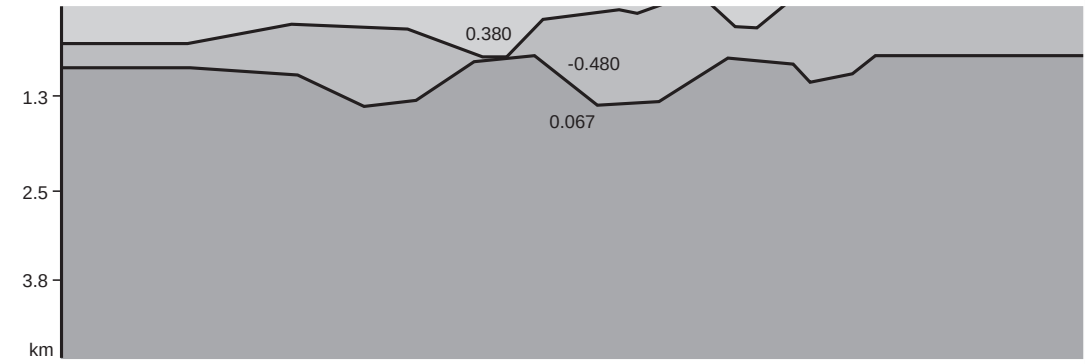
Esta nueva interpretación permite verificar y ajustar las condiciones estructurales de la cuenca, las principales fallas y sus rechazos, elementos de suma relevancia para la comprensión de la evolución geológica y sus implicancias en el sistema de flujo subterráneo.

Además de lo indicado, en dicho trabajo se realizaron siete secciones geológico-geofísicas, en las que se basaron para la generación de un esquema tridimensional de la cuenca en Uruguay. En particular, de considerar las 3 principales secciones, se desarrolló una vista 3D, la cual se presenta.

A)



B)



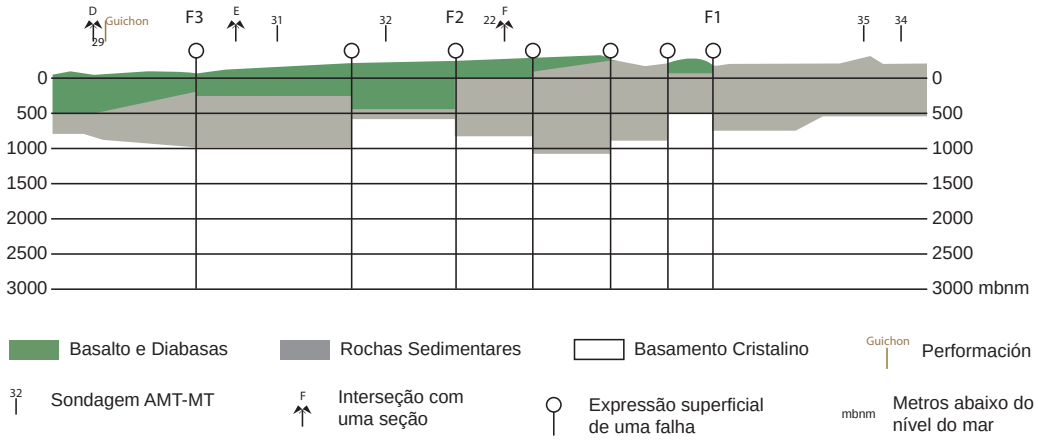
Continua.-

Continua.-

Continuação.-

Continuación.-

C)



D)

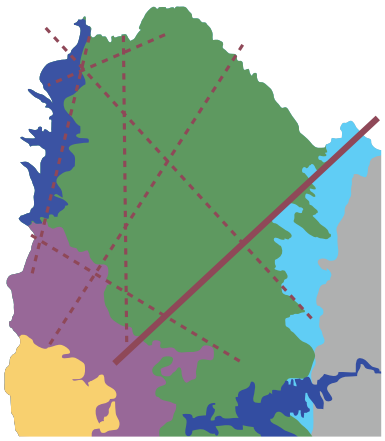


Figura A26.-
Seção A. a) Ajuste entre anomalias calculadas e observadas. b) Seção gravimétrica resultante da interpretação. c) Modelo geológico interpretado da seção gravimétrica obtida, junto a traços estruturais, perfurações existentes e sondagens realizadas. d) Localização da seção na área sob estudo (Oleaga 2002).

Figura A26.-
Sección A. a) Ajuste entre anomalías calculadas y observadas. b) Sección gravimétrica resultante de la interpretación. c) Modelo geológico interpretado de la sección gravimétrica obtenida, junto a rasgos estructurales, perforaciones existentes y sondeos realizados. d) Ubicación de la sección en el área de estudio (Oleaga 2002).

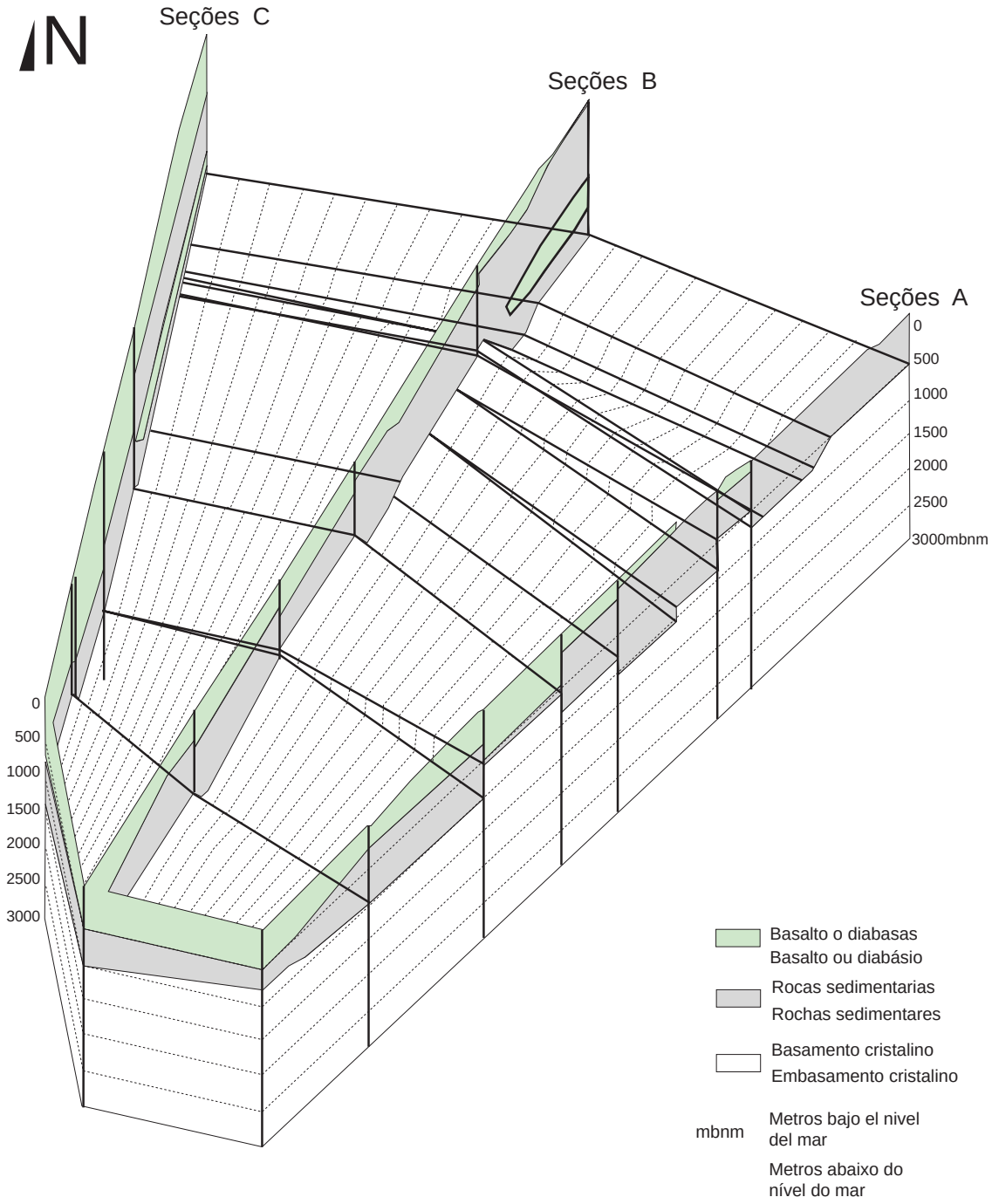


Figura A27.-
Diagrama isométrico que mostra a estrutura da bacia, elaborado com base nas seções geológicas obtidas com os dados de perfurações profundas e informação geofísica (OLEADA, 2002).

Figura A27.-
Diagrama Isométrico que muestra la estructura de la cuenca, elaborado con base en las secciones geológicas obtenidas con los datos de perforaciones profundas e información geofísica. (Oleaga, 2002).

11.5 Anexo 5 Análise de duas técnicas aplicadas na prospecção profunda de água subterrânea

Em grandes áreas, o Aquífero Guarani se encontra a centenas de metros de profundidade, inclusive a mais de um quilômetro. Em muitos lugares dessas áreas, tem sido e continuará sendo uma fonte de água de capital importância, tanto como água potável, quanto como base de um turismo termal, até mesmo, nas áreas onde foram necessárias perfurações de mais de 1.300 m.

Na seguinte tabela, se mostra uma análise particular da aplicação das técnicas utilizadas para a prospecção de água subterrânea a profundidades de mais de 400 m.

11.5 Anexo 5.- Análisis de dos técnicas aplicadas en la prospección profunda de agua subterránea

En grandes áreas el Acuífero Guaraní se encuentra a cientos de metros de profundidad, inclusive a más de un kilómetro. En muchos sitios de estas áreas, ha sido y será una fuente de agua de capital importancia, tanto como agua potable así como base del turismo termal, inclusive donde han sido necesarias perforaciones de más de 1300m.

En la siguiente Tabla se presenta un análisis particular de la aplicación de las dos técnicas utilizadas para la prospección de agua subterránea a profundidades de más de 400m.

	Sondagens Elétricas Verticais	**Sondagens magneto telúricas**
Arranjos / técnica mais usada	Schlumberger	AMT para prof. de até 500 m, AMT/ MT para prof. superiores (até 3000 — 4000 m)
Maiores problemas	Precisam-se de aberturas de vários quilômetros, o que envolve a necessidade de maior potência do equipamento, problemas logísticos com a colocação de cabos e maior dificuldade no cumprimento das hipóteses básicas (especialmente a necessidade de que sejam capas planas paralelas). A presença de basaltos geralmente implica aberturas superiores. Validade do princípio de equivalência.	Equipamento complexo, sensível ao ruído eletromagnético (ex. não aplicável em cidades ou perto de linhas de alta tensão)
Maiores vantagens	Equipamento simples. Técnica bem conhecida.	Podem ser aplicadas próxima a descontinuidades, maior versatilidade, interpretações 2D/3D. Mais robusto, preciso, não sendo válido o princípio de equivalência.
Condições recomendáveis de aplicação	Duas sondagens em cruz no ponto de interesse, com uma abertura superior a 6-8 vezes a profundidade esperada do contacto, devendo contar com não menos de três medições que mostrem claramente a influência do corpo na sondagem.	4 horas de medição para AMT e mais de 12-15 h para MT

	Sondagens Elétricas Verticais	**Sondagens magneto telúricas**
Trabalhos complementares e/ou de base necessários	Estudo geológico prévio que identifique características regionais, informação existente na área, litologias perfuráveis, perfurações utilizáveis como paramétricas e cumprimento de hipóteses do método na área de trabalho (ex. ausência de descontinuidades próximas). Realização de uma sondagem paramétrica à perfuração de comparação selecionada. Determinar faixa de resistividades elétricas associáveis a cada litologia a ser perfurada.	Estudo geológico prévio que identifique características regionais, informação existente na área, litologias perfuráveis, perfurações utilizáveis como paramétricas e cumprimento de hipóteses do método na área de trabalho (ex. ausência de descontinuidades próximas). Realização de uma sondagem paramétrica à perfuração de comparação selecionada. Determinar faixa de resistividades elétricas associáveis a cada litologia a ser perfurada.
Resolução	Boa na detecção de grandes corpos.	Muito boa na detecção de grandes corpos.
Precisão	Baixa — média, por validez de princípio de equivalência (ex. 30%[11]).	Média a alta, dependendo da dimensionalidade do meio e tempo de medição (ex. 5%[12]).

[11] CORBO, F. et al (2005).

[12] Idem, ibidem.

Elementos básicos a incluir no relatório	Técnica a utilizar e condições de aplicação (equipamento, abertura). Relatório geológico. Avaliação de cumprimento das hipóteses da técnica. Interpretação 1D dos resultados, determinando espessuras e resistividades correspondentes a cada corpo detectado. Análises de sensibilidade dos resultados, apresentando faixas de espessura possíveis. Correlação geofísico-geológica a partir de poço paramétrico, identificando litologias a ser perfuradas.	Técnica a utilizar e condições de aplicação (equipamento, técnica e tempo de medição). Relatório geológico. Avaliação de cumprimento das hipóteses da técnica. Interpretação 1D dos resultados, determinando espessuras e resistividades correspondentes a cada corpo detectado. Análises de sensibilidade dos resultados, apresentando faixas de espessuras possíveis. Correlação geofísico-geológica a partir de poço paramétrico, identificando litologias a ser perfuradas.

	Sondeos eléctricos verticales	**Sondagens magneto telúricas**
Arreglos / técnica más usada	Schlumberger	AMT para prof. de hasta 500m, AMT/ MT para prof. superiores (hasta 3000 - 4000m)
Mayores problemáticas	Se precisan aperturas de varios kilómetros, lo cual conlleva la necesidad de mayor potencia del equipamiento, problemas logísticos con el tendido de cables y mayor dificultad en el cumplimiento de las hipótesis básicas (especialmente la necesidad de que sean capas planas paralelas). La presencia de basaltos usualmente implica aperturas superiores. Validez del principio de equivalencia.	Equipamiento complejo, sensible al ruido electromagnético (Ej. No aplicable en ciudades o cercano a líneas de alta tensión)
Mayores ventajas	Equipamiento simple. Técnica muy conocida.	Puede aplicarse cerca de discontinuidades, mayor versatilidad, interpretaciones 2D/3D. Mas robusto, preciso, y no siendo válido el principio de equivalencia.
Condiciones recomendables de aplicación	Dos sondeos en cruz en el punto de interés, con una apertura superior a 6-8 veces la profundidad esperada del contacto, debiendo contar con no menos de tres mediciones que muestren claramente la influencia del cuerpo en el sondeo.	4 horas de medición para AMT y más de 12-15 hs para MT
Trabajos complementarios y/o de base necesarios	Estudio geológico previo que identifique características regionales, información existente en el área, litologías perforables, perforaciones utilizables como paramétricas y cumplimiento de hipótesis del método en el área de trabajo (Ej. Ausencia de discontinuidades cercanas). Realización de un sondeo paramétrico a la perforación de comparación seleccionada. Determinar rango de resistividades eléctricas asociables a cada litología a perforar.	Estudio geológico previo que identifique características regionales, información existente en el área, litologías perforables, perforaciones utilizables como paramétricas y cumplimiento de hipótesis del método en el área de trabajo (Ej. Ausencia de discontinuidades cercanas). Realización de un sondeo paramétrico a la perforación de comparación seleccionada. Determinar rango de resistividades eléctricas asociables a cada litología a perforar.

Resolución	Buena en la detección de grandes cuerpos.	Muy buena en la detección de grandes cuerpos.
Precisão	Baja-media, por validez de principio de equivalencia (Ej 30%[11]).	Media a alta, dependiendo de dimensionalidad del medio y tiempo de medición (Ej. 5%[12]).

[11] *Corbo, F. et al (2005).*

[12] *Corbo, F. et al (2005).*

Elementos básicos a incluir en el informe	Técnica a utilizar y condiciones de aplicación (equipamiento, apertura) Informe geológico Evaluación de cumplimiento de las hipótesis de la técnica Interpretación 1D de los resultados, determinando espesores y resistividades correspondientes a cada cuerpo detectado. Análisis de sensibilidad de los resultados, presentando rangos de espesores posibles. Correlación geofísica-geológica a partir de pozo paramétrico, identificando litologías a ser perforadas.	Técnica a utilizar y condiciones de aplicación (equipamiento, técnica y tiempo de medición) Informe geológico Evaluación de cumplimiento de las hipótesis de la técnica Interpretación 1D de los resultados, determinando espesores y resistividades correspondientes a cada cuerpo detectado. Análisis de sensibilidad de los resultados, presentando rangos de espesores posibles. Correlación geofísica-geológica a partir de pozo paramétrico, identificando litologías a ser perforadas.

Produção:
tdacomunicação
an altran company

GEF

Banco Mundial

OEA

IAEA
International Atomic Energy Agency

BGR Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe