

4.2 DADOS DE ELETORRESISTIVIDADE

A análise dos dados das investigações elétricas foi realizada tanto com base na interpretação qualitativa quanto na interpretação quantitativa. A interpretação qualitativa foi realizada de acordo com a classificação de curvas de Telford, *et al.* (1990)⁴. A interpretação quantitativa permite caracterizar os materiais de subsuperfície determinando-se as espessuras e as resistividades das camadas. Foram adotados modelos de camadas horizontais para a interpretação dos dados, ajustando os dados de resistividade aparente, através do algoritmo de inversão 1D do programa RESIXIP da INTERPEX LTD.

É importante ressaltar que os modelos de inversão 1D dos dados elétricos ajustados não são únicos, podendo variar de acordo com o intérprete, no entanto, todos os modelos de inversão apresentados neste trabalho foram elaborados com base em dados geológicos de poços de investigação e furos a trado com o intuito de diminuir a ambigüidade dos resultados.

4.2.1 IAG/Física

SS01-IAG/Física

A SS01-IAG/Física teve como objetivo determinar a profundidade da rocha granítica, ou seja, o topo do embasamento da Bacia de São Paulo. Para tanto, a abertura máxima dos eletrodos de corrente ($AB/2$) foi de 400m, cuja abertura foi posicionada paralela à Rua do Matão (Figura 3.7).

Os valores de resistividade aparente obtidos em campo foram utilizados no ajuste do modelo geológico de Terra 1D, com a finalidade de se obter um modelo geológico-geológico compatível.

⁴ A classificação de Telford *et al.* (1990) é feita com base nos valores de resistividade do modelo de 3 camadas. Curva tipo H - apresenta um valor mínimo ($\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$). Curva tipo K - apresenta um valor máximo ($\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$). Curva tipo A - apresenta valores de resistividade crescentes ($\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$). Curva tipo Q - apresenta valores de resistividade decrescentes ($\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$). Para se classificar uma curva com mais de 3 camadas, toma-se o tipo que corresponde as três primeiras camadas, seguido do tipo correspondente a segunda, terceira e quarta camadas, seguido do tipo que corresponde a terceira, quarta e quinta camadas, e assim por diante. Por exemplo, uma curva com $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3 > \rho_4 > \rho_5$ é classificada como tipo HKQ.

A Figura 4.28 mostra a SS01 – IAG/Física. Os dados de campo são representados por \square e a linha cheia é o resultado do ajuste do modelo de Terra 1D aos dados.

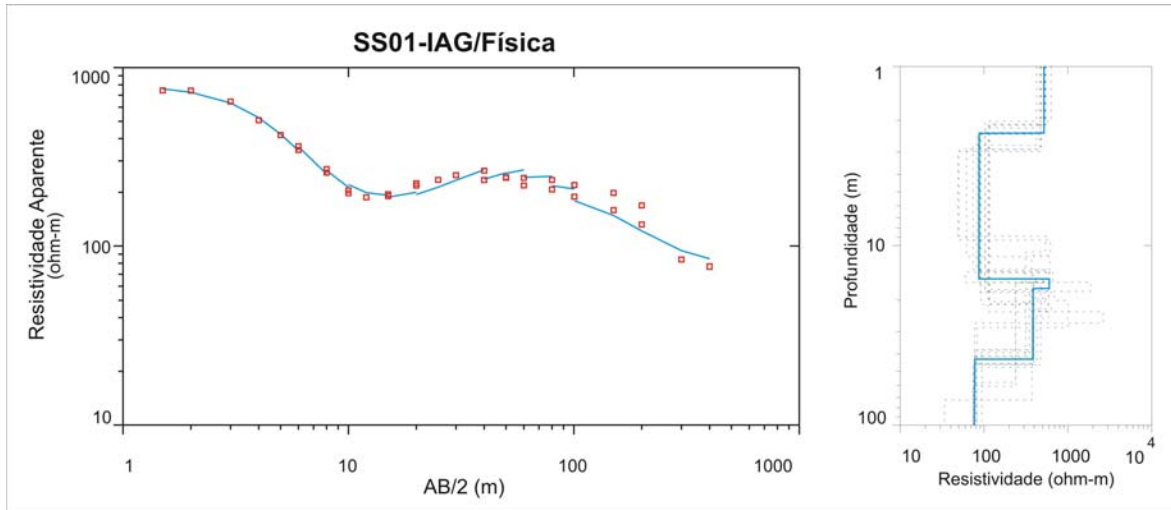


Figura 4.28 - Dados da SS01-IAG/Física ajustados ao modelo (lado esquerdo) e modelos equivalentes de camadas horizontais 1D (lado direito). O erro de ajuste é de 10,25%.

A curva de sondagem foi obtida para um modelo de 5 camadas correspondendo ao tipo HKQ ($\rho_1 > \rho_2 < \rho_3 > \rho_4 > \rho_5$). A curva do tipo Q indica que a sondagem não conseguiu atingir o topo do embasamento.

A análise quantitativa foi realizada com base em dados de poços, sendo proposto um modelo geológico para o modelo geolétrico da SS01-IAG/Física (Figura 4.29).

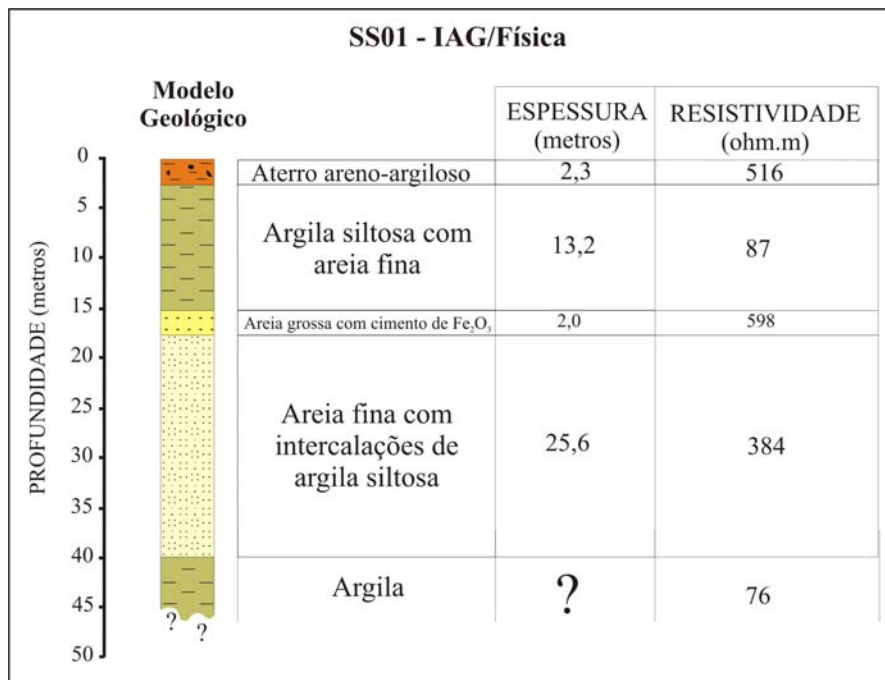


Figura 4.29 – Modelo Geológico-Geolétrico para os dados da SS01-IAG/Física.

Analisando-se o modelo, nota-se que a camada superior (1) que vai da profundidade de 0,00 à 2,3m possui uma resistividade aparente por volta de 516ohm.m, sendo a mesma caracterizada como uma camada de material areno-argiloso (aterro), conforme observado em campo.

A segunda camada (2) vai da profundidade de 2,3 à 15,2m possui uma resistividade em torno de 87ohm.m. Com base nos dados dos poços esta camada é caracterizada como uma camada de material argiloso.

A camada (3) possui uma espessura de 2,0m e vai da profundidade de 15,2 à 17,2m possui uma resistividade em torno de 598ohm.m sendo caracterizada como uma camada de areia grossa (cascalho) com cimento de óxido de ferro.

A quarta camada vai da profundidade de 17,2 à 42,8m possui uma resistividade em torno de 384ohm.m. Com base nos dados dos poços esta camada é caracterizada como uma série de camadas de arenito com interdigitações de camadas de argila siltosa.

A última camada vai da profundidade de 42,8m em diante, possui uma resistividade em torno de 76,7ohm.m. Esta camada é interpretada como uma camada argilosa condutora.

Devido ao fato da SS01-IAG/Física não ter conseguido determinar o topo do embasamento da bacia, suspeitou-se da existência de uma zona de falha paralela à Rua

do Matão que pudesse estar absorvendo grande parte da corrente injetada nos eletrodos AB. Para confirmar esta hipótese, foi adquirida uma outra SEV com arranjo Schlumberger, denominada SS02-IAG/Física, cuja a abertura dos eletrodos de corrente foi posicionada perpendicular à Rua do Matão.

SS02-IAG/Física

A Figura 4.30 mostra a SS02 – IAG/Física. Os dados de campo são representados por \square e a linha cheia é o resultado do ajuste do modelo de Terra 1D aos dados (lado esquerdo). Do lado direito tem-se o modelo equivalente de Terra 1D que se ajusta aos dados.

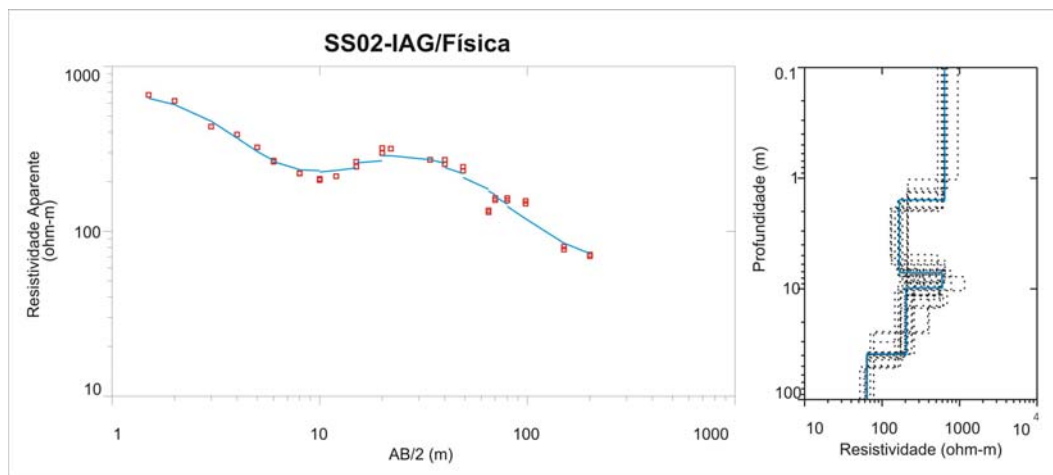


Figura 4.30 - Dados da SS02-IAG/Física ajustados ao modelo (lado esquerdo) e modelos equivalentes de camadas horizontais 1D (lado direito). O erro de ajuste é de 11,74%.

A curva da sondagem também foi obtida para um modelo de 5 camadas correspondendo ao tipo HKQ ($\rho_1 > \rho_2 < \rho_3 > \rho_4 > \rho_5$). A curva interpretada que termina com a seqüência que caracteriza o tipo Q, indica que o topo do embasamento rochoso não foi alcançado pela sondagem.

A análise quantitativa foi realizada com base nos dados dos poços de investigação geológica executados em frente ao IAG/USP, sendo proposto um modelo geológico para o modelo geolétrico da SS02-IAG/Física (Figura 4.31).

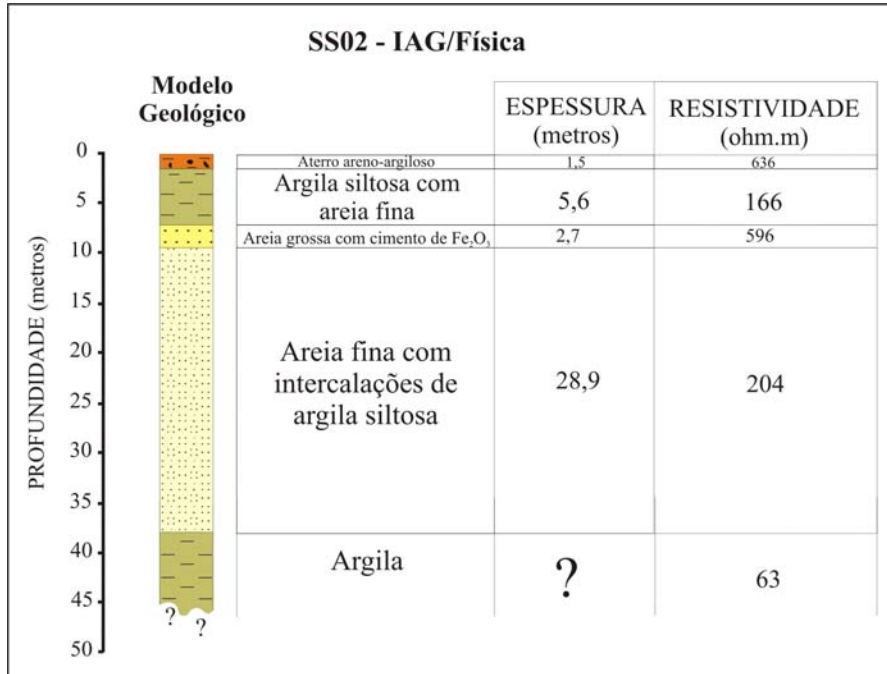


Figura 4.31 – Modelo Geológico-Geolétrico para os dados da SS02-IAG/Física.

Analisando o modelo obtido, nota-se que a camada superior (1) que vai da profundidade de 0,00 à 1,5m possui uma resistividade aparente por volta de 636ohm.m, sendo a mesma caracterizada como uma camada de material argilo-arenoso (aterro), conforme observado em campo.

A segunda camada (2) vai da profundidade de 1,5 à 7,1m possui uma resistividade por volta de 166ohm.m. Esta camada é caracterizada como uma camada de material argiloso.

A camada (3) possui uma espessura de 2,7m e vai da profundidade de 7,1 à 9,8m possui uma resistividade por volta de 596ohm.m sendo caracterizada, com base nos perfis dos poços, como uma camada de areia grossa (cascalho) com cimento de óxido de ferro.

A quarta camada apresenta uma espessura de 28,9m. Esta camada é interpretada como sendo um pacote de areia saturada com intercalações de argila, devido ao valor da ρ_a estar por volta de 204ohm.m, e por observações nos perfis geológicos de poços.

A última camada (5) detectada pela SEV, vai da profundidade de 38,7m em diante. Devido às características da curva, a camada 5 é considerada como sendo uma camada de argila siltosa. Esta SEV também não conseguiu atingir o topo do embasamento.

Os resultados obtidos com a SS02-IAG/Física mostraram que a hipótese da existência de uma zona de falha paralela à Rua do Matão não é verdadeira. Desta forma, verificou-se que os sedimentos da Bacia de São Paulo são bastante condutores, não permitindo determinar o topo do embasamento da bacia. Para contornar esta situação decidiu-se adquirir 3 sondagens elétricas verticais utilizando-se o arranjo dipolo-dipolo que, segundo a literatura (Orellana, 1972; Elis, 1998, 2000; Strobino, 2001), permite alcançar maiores profundidades de penetração.

SDD01-IAG

A Figura 4.32 mostra a SDD01 – IAG. Os dados de campo são representados por ■ e a linha cheia é o resultado do ajuste do modelo de Terra 1D aos dados.

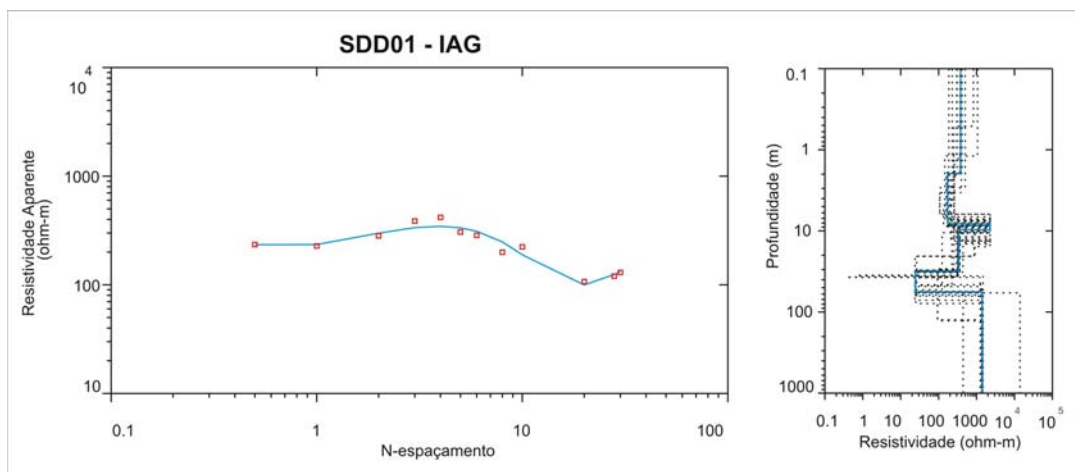


Figura 4.32 - Dados da SDD01-IAG ajustados ao modelo (lado esquerdo) e modelos equivalentes de camadas horizontais 1D (lado direito). O erro de ajuste é de 12,1%.

A curva de sondagem foi obtida para um modelo de 6 camadas correspondendo ao tipo HKQH ($\rho_1 > \rho_2 < \rho_3 > \rho_4 > \rho_5 < \rho_6$). A curva do tipo H indica que a sondagem conseguiu atingir o topo do embasamento da Bacia de São Paulo.

A análise quantitativa foi realizada com base em dados de poços de investigação geológica executados em frente ao IAG/USP, sendo proposto um modelo geológico para o modelo geolétrico da SDD01-IAG (Figura 4.33).

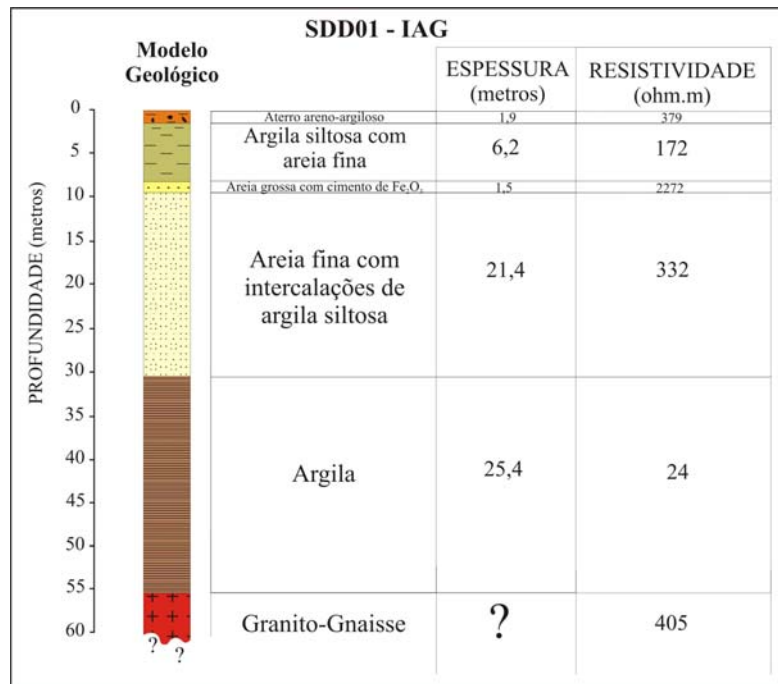


Figura 4.33 – Modelo Geológico-Geolétrico para os dados da SDD01-IAG.

Analisando o modelo, nota-se que a camada superior (1) que vai da profundidade de 0,00 à 1,9m possui uma resistividade aparente por volta de 379ohm.m, sendo a mesma caracterizada como uma camada de material areno-argiloso (aterro), conforme observado em campo.

A segunda camada (2) vai da profundidade de 1,90 à 8,1m possui uma resistividade por volta de 172ohm.m. Esta camada é caracterizada como uma camada de material argiloso.

A camada (3) possui uma espessura de 1,5m e vai da profundidade de 8,1 à 9,6m possui uma resistividade por volta de 2272ohm.m, sendo caracterizada como uma camada de areia grossa (cascalho) com cimento de óxido de ferro.

A quarta camada vai da profundidade de 9,6 à 31,0m possui uma resistividade por volta de 332ohm.m. Esta camada é caracterizada como um pacote de areia fina com intercalações de argila siltosa.

A camada (5) possui uma resistividade aparente por volta de 24ohm.m e apresenta uma espessura de 25,4m. Esta camada é definida como uma camada de argila muito condutora, conforme dados dos poços de investigação geológica.

A última camada detectada pela sondagem vai da profundidade de 56,4m em diante. Devido às características da curva, esta camada é interpretada como o topo do embasamento granito-gnaíssico.

SDD02-IAG

A Figura 4.34 mostra a SDD02 – IAG. Os dados de campo são representados por ■ e a linha cheia é o resultado do ajuste do modelo de Terra 1D aos dados.

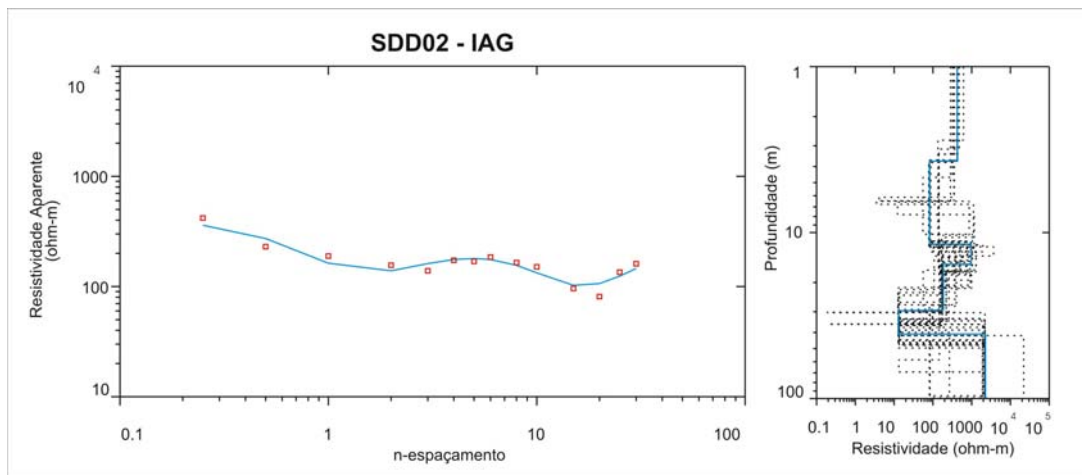


Figura 4.34 - Dados da SDD02-IAG ajustados ao modelo (lado esquerdo) e modelos equivalentes de camadas horizontais 1D (lado direito). O erro de ajuste é de 13,7%.

A curva de sondagem foi obtida para um modelo de 6 camadas correspondendo ao tipo HKQH ($\rho_1 > \rho_2 < \rho_3 > \rho_4 > \rho_5 < \rho_6$). A curva do tipo H indica que a sondagem conseguiu atingir o topo do embasamento.

A análise quantitativa foi realizada com base em dados de poços de investigação geológica executados em frente ao IAG/USP, sendo proposto um modelo geológico para o modelo geolétrico da SDD01-IAG (Figura 4.35).

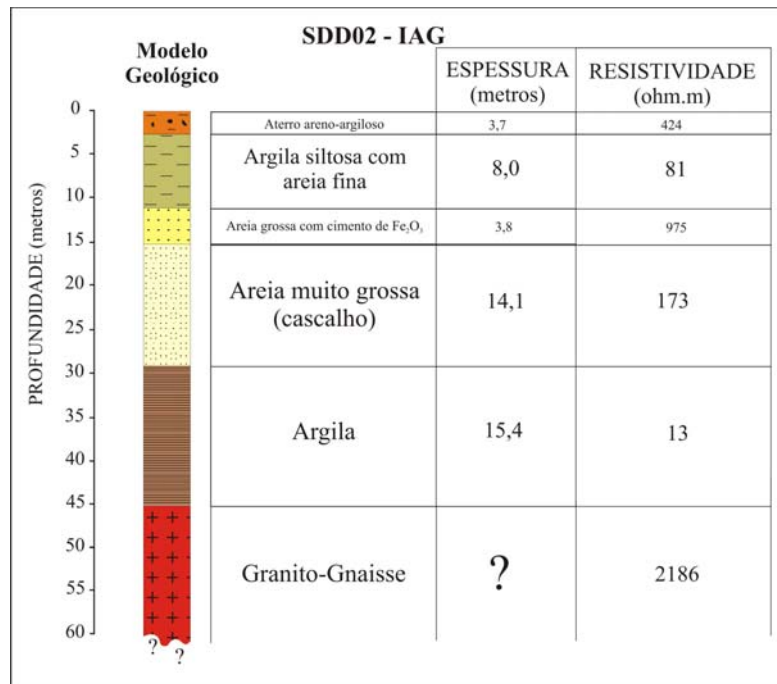


Figura 4.35 – Modelo Geológico-Geolétrico para os dados da SDD02-IAG.

Analisando o modelo, nota-se que a camada superior (1) que vai da profundidade de 0,0 à 3,7m possui uma resistividade aparente por volta de 424ohm.m, sendo a mesma caracterizada como uma camada de material areno-argiloso (aterro), conforme observado em campo.

A segunda camada (2) vai da profundidade de 3,7 à 11,7m possui uma resistividade por volta de 81ohm.m. Esta camada é caracterizada como uma camada de material argiloso com areia fina.

A camada (3) possui uma espessura de 3,8m e vai da profundidade de 11,7 à 15,5m possui uma resistividade por volta de 975ohm.m sendo caracterizada como uma camada de areia grossa (cascalho) com cimento de óxido de ferro.

A quarta camada vai da profundidade de 15,5 à 29,6m possui uma resistividade por volta de 173ohm.m. Esta camada é caracterizada como um pacote de areia fina com intercalações de argila siltosa.

A camada (5) possui uma resistividade aparente por volta de 13ohm.m e apresenta uma espessura de 10,2metros. Esta camada é definida como uma camada de argila condutora, conforme dados dos poços de investigação geológica.

A última camada detectada pela sondagem vai da profundidade de 40,8m em diante. Devido às características da curva (resistividade aparente por volta de 2186ohm.m) esta camada é interpretada como o topo do embasamento granito-gnaíssico.

SDD03-IAG

A Figura 4.36 mostra a SDD03 – IAG. Os dados de campo são representados por \square e a linha cheia é o resultado do ajuste do modelo de Terra 1D aos dados.

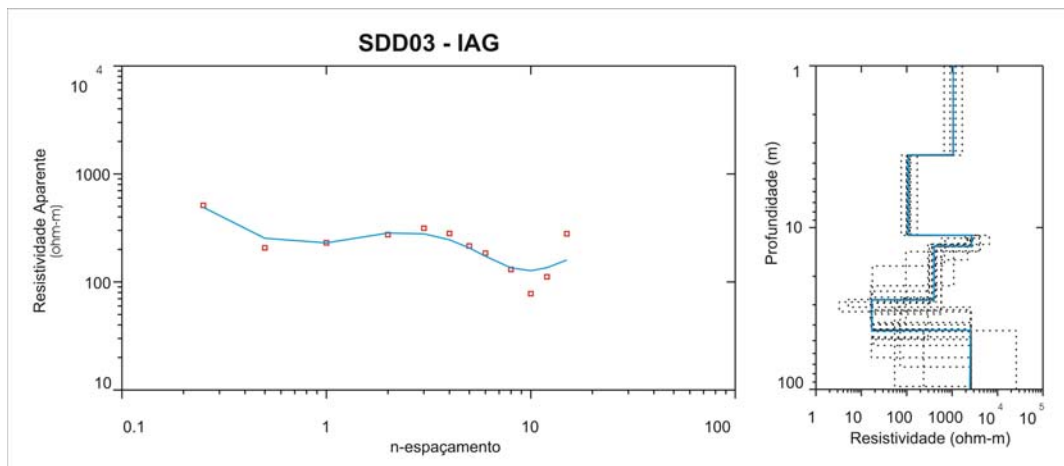


Figura 4.36 - Dados da SDD03-IAG ajustados ao modelo (lado esquerdo) e modelos equivalentes de camadas horizontais 1D (lado direito). O erro de ajuste é de 26,7%.

A curva de sondagem foi obtida para um modelo de 6 camadas correspondendo ao tipo HKQH ($\rho_1 > \rho_2 < \rho_3 > \rho_4 > \rho_5 < \rho_6$). A curva do tipo H indica que a sondagem conseguiu atingir o topo do embasamento.

A análise quantitativa foi realizada com base em dados de poços de investigação geológica executados em frente ao IAG/USP, sendo proposto um modelo geológico para o modelo geolétrico da SD03-IAG (Figura 4.37).

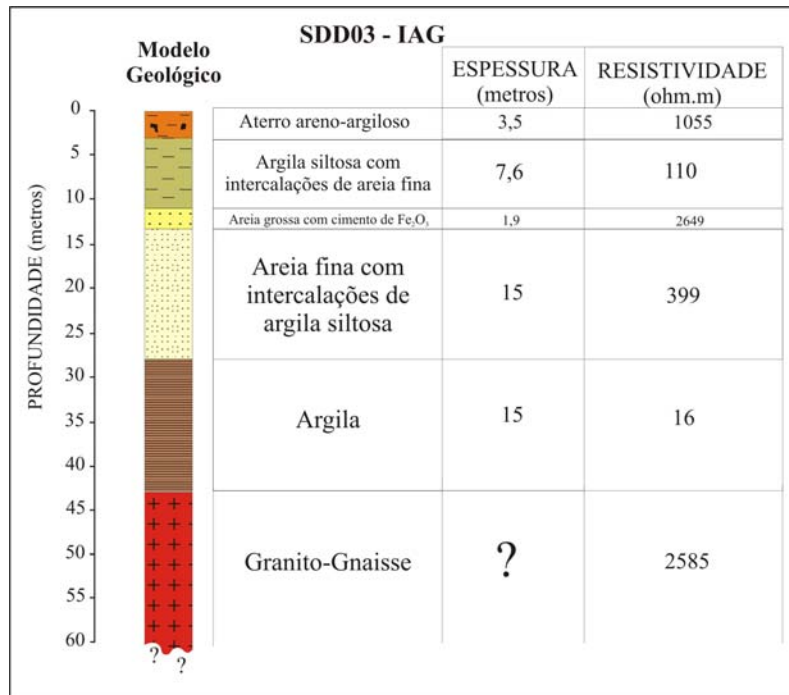


Figura 4.37 – Modelo Geológico-Geolétrico para os dados da SDD03-IAG.

Analisando o modelo, nota-se que a camada superior (1) que vai da profundidade de 0,00 à 3,5m possui uma resistividade aparente por volta de 1055ohm.m, sendo a mesma caracterizada como uma camada de material areno-argiloso (aterro), conforme observado em campo.

A segunda camada (2) vai da profundidade de 3,5 à 11,1m possui uma resistividade por volta de 110ohm.m. Esta camada é caracterizada como uma camada de material argiloso com areia fina.

A camada (3) possui uma espessura de 1,90m e vai da profundidade de 11,1 à 13,0m possui uma resistividade por volta de 2649ohm.m sendo caracterizada como uma camada de areia grossa (cascalho) com cimento de óxido de ferro.

A quarta camada vai da profundidade de 13,0 à 28,0m possui uma resistividade por volta de 399ohm.m. Esta camada é caracterizada como um pacote de areia fina com intercalações de argila siltosa.

A quinta camada possui uma resistividade aparente por volta de 17ohm.m e apresenta uma espessura de 15,0m. Esta camada é definida como uma camada de argila condutora.

A última camada detectada pela SDD vai da profundidade de 43,0m em diante. A resistividade aparente é de aproximadamente 2505ohm.m, indicando que esta camada trata-se do topo do embasamento granito-gnaíssico.

CAMINHAMENTO ELÉTRICO

A análise dos perfis de caminhamento elétrico foi realizada com base na interpretação qualitativa. Esse tipo de interpretação consiste em elaborar uma pseudo-seção de resistividade aparente em função dos níveis de medida para diferentes arranjos de eletrodos.

Uma interpretação quantitativa, que consiste em obter um modelo geolétrico 2D que melhor se ajusta aos resultados obtidos, está em andamento, como parte do desenvolvimento do Projeto FAPESP (99/12215-2) (Porsani, 2002). Deste modo os perfis de caminhamento elétrico serão plotados com relação a nível de investigação, e não em profundidade.

CE – 10

A Figura 4.38 mostra a pseudo-seção de resistividade aparente do perfil de caminhamento elétrico com dipolos de 10m. Observa-se a presença de duas regiões resistivas anômalas: entre 15 e 40m, e entre 100 e 120m. Uma outra região anômala sub-horizontal ocorre entre as posições 110 e 200m, estando em torno do segundo nível de investigação (N=2).

A primeira região resistiva anômala apresenta uma ρ_a por volta de 550ohm.m e encontra-se aproximadamente no primeiro nível de investigação (N=1). Este resistor é relacionado a interferência superficial de uma passarela de concreto que liga a rua do Matão ao Instituto de Física.

A segunda região resistiva anômala (100 – 120m) possui um valor de resistividade aparente máxima por volta de 370ohm.m. Este resistor, conforme observado em campo, é devido a um “bueiro” (galeria de captação de águas pluviais).

A região anômala sub-horizontal observada no CE-10 possui ρ_a máxima de aproximadamente 370ohm.m e encontra-se no terceiro nível de investigação (N=3). Este resistor é interpretado, com base nos dados dos poços de investigação geológica, como sendo uma camada de areia grossa (cascalho) com cimento de óxido de ferro.

Nota-se também a presença de duas regiões anômalas condutoras: entre 40-100m e entre 120-180m, sendo interpretadas como camadas de argila e/ou areia saturada.

CE – 20

A Figura 4.39 mostra a pseudo-seção de resistividade aparente do perfil CE com dipolos de 20m. Observa-se a presença de duas regiões resistivas anômalas horizontais. A primeira localizada entre 35 a 70m, e a segunda localizada entre 110 e 190m no perfil CE-20.

A primeira região resistiva anômala horizontal apresenta uma ρ_a por volta de 310ohm.m, e está localizada no primeiro nível de investigação (N=1).

A segunda região resistiva anômala horizontal observada no CE-20 encontra-se também no primeiro nível de investigação (N=1), apresentando uma resistividade aparente média de 350ohm.m.

Com base no perfil geológico do poço P1, as duas regiões resistivas anômalas horizontais observadas no CE-20 são caracterizadas como uma camada de areia grossa (cascalho) com cimento de óxido de ferro.

Ao longo de todo o perfil, observa-se uma zona condutora anômala entre 70 e 110m de distância, estando relacionada com a presença de níveis de argila e areia saturada. É provável que esta zona anômala seja devido às variações faciológicas (areia – argila) nos sedimentos da Bacia de São Paulo.

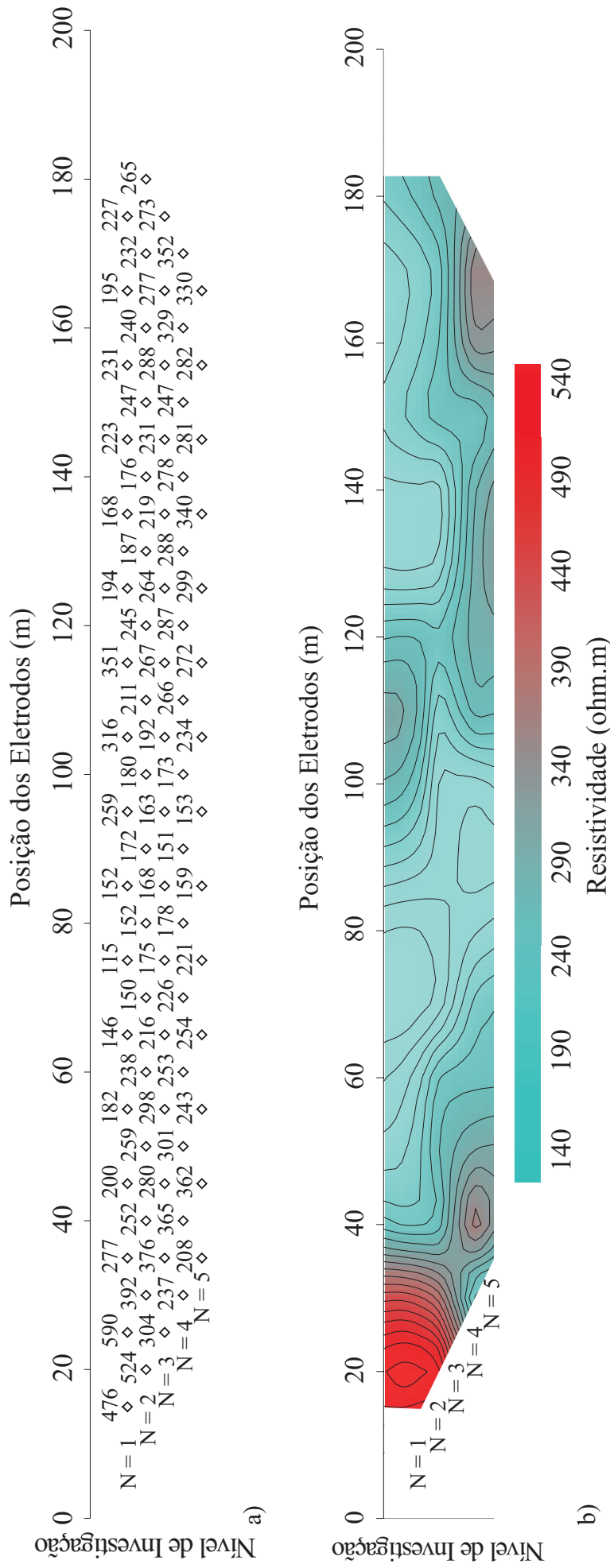


Figura 4.38 - (a) Dados de resistividade aparente do caminhamento elétrico CE-10. (b) Pseudoseção de resistividade aparente do caminhamento elétrico CE-10.

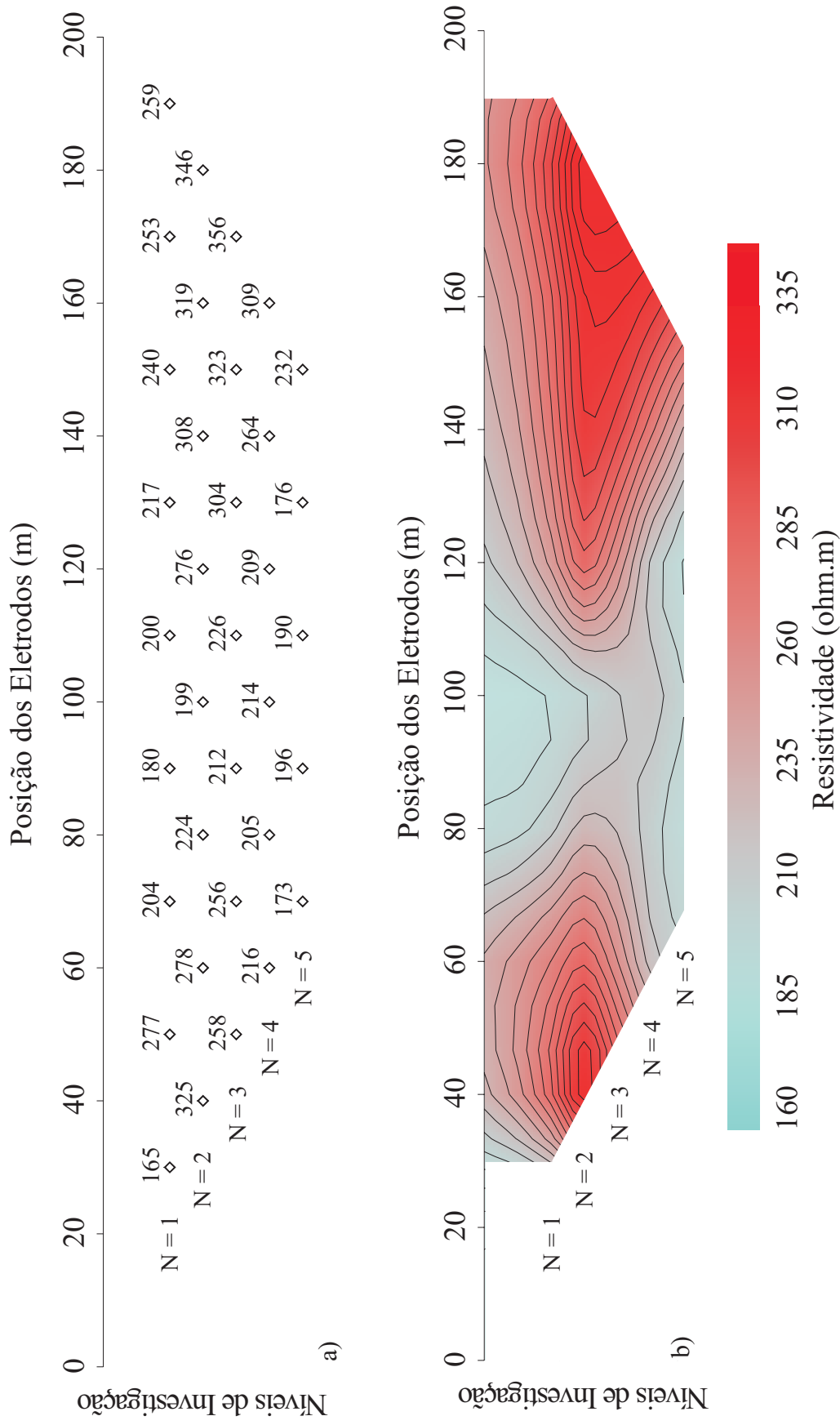


Figura 4.39 - (a) Dados de resistividade aparente do caminhamento elétrico CE-10. (b) Pseudoseção de resistividade aparente do caminhamento elétrico CE-20.

Os dados de eletrorresistividade foram agrupados, dando origem a uma seção geolétrica (Figura 4.40). A interpretação geológica foi realizada através da correlação com dados de poços de investigação geofísica.

Na seção geolétrica foram identificadas as camadas:

- 1) Aterro, com resistividade oscilando de 379 a 1055 ohm.m;
- 2) Argila siltosa com intercalações de areias finas, resistividade variando de 81 a 172 ohm.m;
- 3) Areia Grossa, resistividade entre 598 a 2649 ohm.m;
- 4) Areias Finas e Argilas, resistividade de 13 a 76 ohm.m; e
- 5) Granito-Gnaisse, resistividade oscilando entre 1398 a 2585 ohm.m.

As SEV's com arranjo dipolo-dipolo (SDD) permitiram identificar o embasamento cristalino em torno de 50m de profundidade e as SEV's com arranjo Schlumberger (SS) conseguiram definir com clareza variações litológicas superficiais. O fato das SEV's com arranjo Schlumberger não identificarem o embasamento na área, deve-se, provavelmente, ao fato da presença de uma expressiva camada de argila condutora sobre o mesmo. Conforme verificado com a perfilagem elétrica realizada no poço P1 (Porsani, 2001) as camadas de argila que sobrepõem o embasamento apresentam uma resistividade aparente variando de 10 a 20ohm.m, confirmando a elevada condutividade destas camadas.

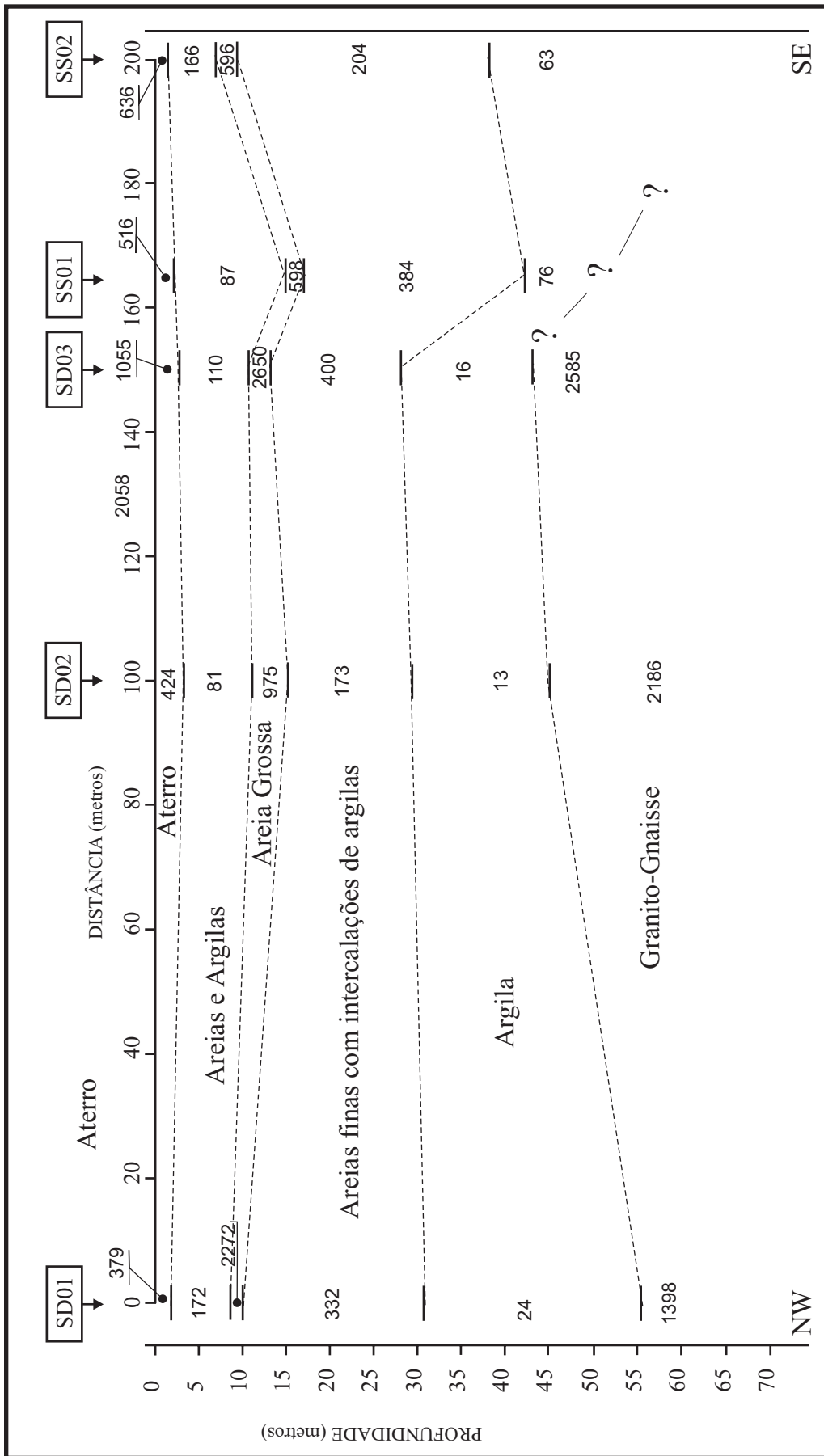


Figura 4.40 - Seção geológica-geolétrica elaborada a partir dos dados de Sondagens Elétricas Verticais com arranjo Schlumberger (SS) e Dipolo-Dipolo (SDD) realizadas em frente ao IAG/Física.

4.2.2 IPEN

SS01-HU/IPEN

A Figura 4.41 mostra a SS01–HU/IPEN. Os dados de campo são representados por ■ e a linha cheia é o resultado do ajuste do modelo de Terra 1D aos dados.

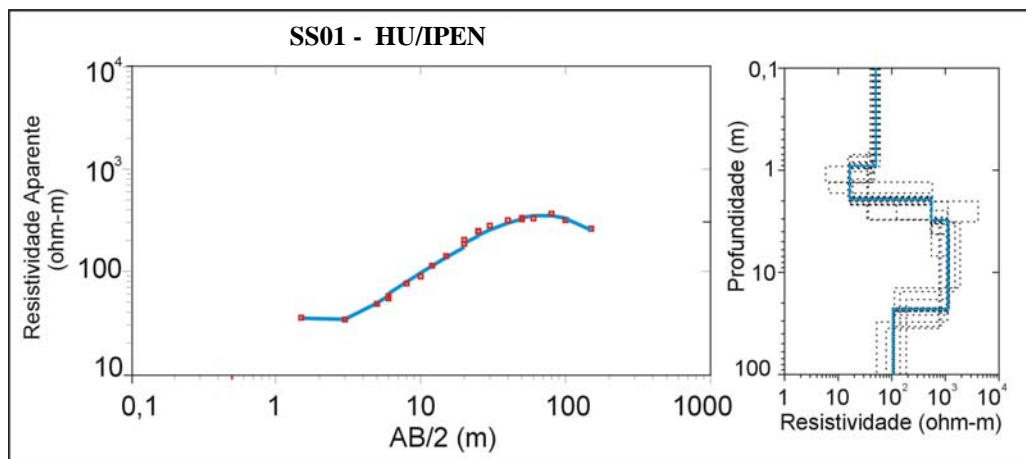


Figura 4.41 - Dados da SS01 – HU/IPEN ajustados ao modelo (lado esquerdo) e modelos equivalentes de camadas horizontais 1D (lado direito). O erro de ajuste é de 5,65%.

A curva de sondagem foi obtida para um modelo de 5 camadas correspondendo ao tipo HAK ($\rho_1 > \rho_2 < \rho_3 < \rho_4 > \rho_5$). A curva do tipo K indica que a sondagem não conseguiu atingir o topo do embasamento.

Foi proposto um modelo geológico para o modelo geolétrico da SS01-HU/IPEN (Figura 4.42).

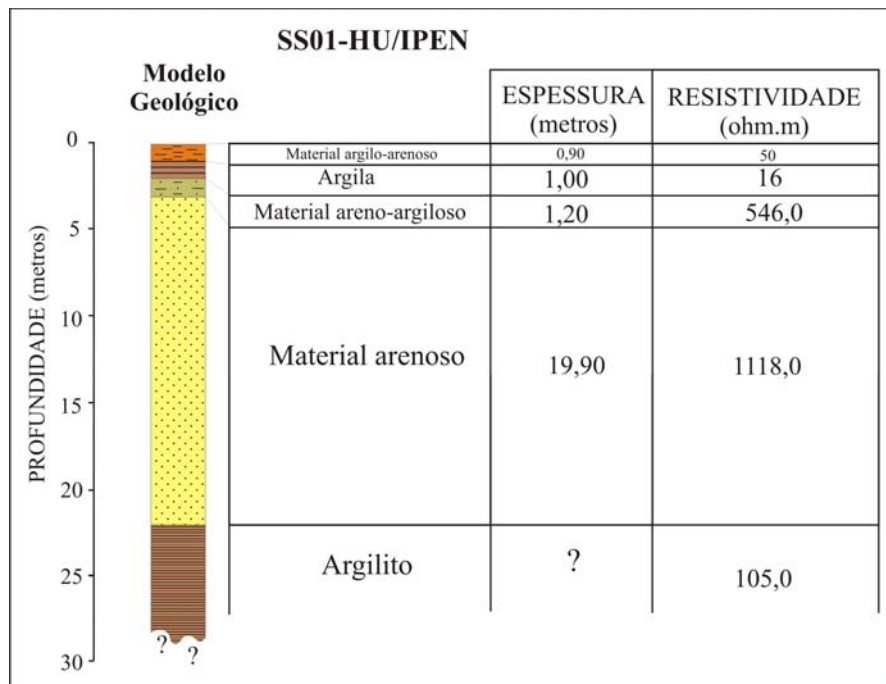


Figura 4.42 – Modelo Geológico-Geolétrico para os dados da SS01-HU/IPEN.

Analisando o modelo, nota-se que a camada superior (1) que vai da profundidade de 0,00 à 0,90m possui uma resistividade aparente por volta de 50ohm.m, sendo a mesma caracterizada como uma camada de material argilo-arenoso (aterro), conforme observado em campo.

A segunda camada (2) vai da profundidade de 0,90 à 1,90m possui uma resistividade por volta de 16ohm.m. Com base nos dados dos furos de sondagem a trado esta camada é caracterizada como uma camada de material argiloso.

A camada (3) possui uma espessura de 1,20m e vai da profundidade de 1,90 à 3,10m possui uma resistividade por volta de 546ohm.m sendo caracterizada como uma camada de areia fina com intercalações de argila siltosa.

A quarta camada vai da profundidade de 3,10 à 23,0m possui uma resistividade por volta de 1118ohm.m. Esta camada é caracterizada como uma camada de areia muito grossa (cascalho) saturada.

A última camada detectada na sondagem vai da profundidade de 23,0m em diante, possui uma resistividade por volta de 105ohm.m. Esta camada é interpretada como uma camada argilosa condutora e/ou o corpo granito-gnaíssico muito alterado e/ou fraturado.

O resultado obtido com a SS01-HU/IPEN mostra que o embasamento não foi identificado. Devido a enorme quantidade de matações de rochas granito-gnaíssicas e

inúmeros clastos de dimensões decimétricas (conforme observado em campo), acredita-se que a anisotropia do meio tenha influenciado nos dados coletados, provocando um erro de ajuste no modelo geolétrico.