

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA

TESE DE MESTRADO

**INTERFACE GRÁFICA PARA PRÉ E PÓS-PROCESSAMENTOS DE
DADOS ELÉTRICOS E ELETROMAGNÉTICOS EM GEOFÍSICA**

HUMBERTO DEODATO MALCHER MONTEIRO



BELÉM - PARÁ
2001

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
GEOFÍSICA

INTERFACE GRÁFICA PARA PRÉ E PÓS-PROCESSAMENTOS DE
DADOS ELÉTRICOS E ELETROMAGNÉTICOS EM GEOFÍSICA

TESE APRESENTADA POR
HUMBERTO DEODATO MALCHER MONTEIRO

COMO REQUISITO PARCIAL À OBTENÇÃO DE GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS NA
ÁREA DE GEOFÍSICA

Data da Aprovação: 09/10/2001

NOTA: 9,2 (Excelente)

COMITÊ DE TESE:

Dr. Luiz Rijo (Orientador)

Dr. Elói Luiz Favero

Dr. José Gouvêa Luiz

BELÉM - PARÁ
2001

Às minhas filhas, Bárbara e Vitória, cujo convívio infantil me estimula a criar sem censuras prévias e sobretudo a acreditar em sonhos.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me concedido esta ímpar oportunidade de ingressar no meio acadêmico.

Ao professor Luiz Rijo, meu orientador neste trabalho, pela feliz e sábia escolha do tema como também pela oportunidade de me engajar em um projeto muito afim com minha história pessoal.

Aos colegas contemporâneos de curso João, Lindenberg, Michael, Samuel, Syme e Victor pelo apoio e incentivo quando precisei.

Ao corpo funcional do Curso de Pós-graduação em Geofísica, sem o qual este trabalho jamais se concretizaria.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	i
AGRADECIMENTOS	ii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	v
RESUMO	1
ABSTRACT	2
1 – INTRODUÇÃO	3
2 – O PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO	5
2.1 – VISÃO GERAL.....	5
2.2 – CONCEPÇÃO E ELABORAÇÃO.....	6
2.2.1 – Diagrama de casos de uso.....	6
2.2.2 – Definição da tecnologia.....	7
2.2.3 – Linhas arquiteturais mestras.....	8
2.2.4 – Plano de desenvolvimento.....	9
2.3 – CONSTRUÇÃO.....	10
2.4 – DISTRIBUIÇÃO.....	10
3 - DESCRIÇÃO DA EGS2000	11
3.1 - PRINCÍPIOS DE PROJETO DA INTERFACE COM O USUÁRIO.....	11
3.1.1 - Facilidade de aprendizado.....	11
3.1.1.1 – Aderência ao padrão de aplicativo do MS-Windows.....	11
3.1.1.2 – Emprego de metáforas.....	13
3.1.1.3 - Reduzido número de conceitos.....	16
3.1.2 - Facilidade de uso.....	20
3.1.3 - Facilidade de Evolução.....	23

3.1.4 - Capacidade de prevenção e detecção de erros.....	24
3.1.5 - Eficiência.....	25
3.1.5.1 - O botão <i>advanced</i>	25
3.1.5.2 - Mínimo de janelas modais.....	26
3.1.5.3 - Uso de <i>templates</i>	27
3.1.6 - Consistência.....	28
3.1.7 - Tutorial.....	28
3.2 - ARQUITETURA.....	29
3.2.1 – Componentes.....	29
3.2.2 – Mecanismo de execução.....	30
4 - APLICAÇÕES.....	32
4.1 – MODELO UNIDIMENSIONAL	32
4.2 – MODELO BIDIMENSIONAL.....	35
4.3 – MODELO TRIDIMENSIONAL	40
5 – CONCLUSÕES.....	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 2.1 - Visão geral do processo de desenvolvimento adotado (adaptado de Fowler & Scott, 1997).....	5
Figura 2.2 – Diagrama de casos de uso da EGS 2000.....	7
Figura 2.2 – Classes fundamentais da EGS 2000.....	7
Figura 3.1 - Janela principal da EGS 2000.....	12
Figura 3.2 - A EGS 2000 como uma típica aplicação MDI.....	12
Figura 3.3 - Exemplo de diálogo na EGS 2000.....	13
Figura 3.4 - Exemplo de menu <i>pull-down</i> empregado na EGS 2000.....	14
Figura 3.5 - Exemplo de menu <i>pop-up</i> empregado na EGS 2000.....	15
Figura 3.6 - Os dados da EGS 2000 armazenados e recuperados em arquivos e pastas.....	15
Figura 3.7 - Edição de dados através de uma pseudoseção de IP e resistividade.....	16
Figura 3.8 - Fluxogramas dos processos de interpretação (A) método direto (B) método inverso (adaptado de Luiz & Costa e Silva, 1995).....	18
Figura 3.9 - Uma aplicação EGS 2000 com respectivo modelo e dados observados.....	19
Figura 3.10 - Exemplos de diálogos em forma de árvore na EGS 2000.....	21
Figura 3.11 - Configuração de atalhos na EGS 2000.....	21
Figura 3.12 - Configuração de diretórios para armazenamento de dados na EGS 2000.....	22
Figura 3.13 - Exemplo de um diálogo para uma configuração específica na EGS 2000.....	23
Figura 3.14 - Exemplo de máscara de edição para detecção de erros de digitação.....	24
Figura 3.15 - Elemento de interface para visualização em planilha de dados ou gráfica.....	25
Figura 3.16 - Diálogo de edição de propriedades avançadas de um modelo na EGS 2000....	26
Figura 3.17 - Uma interpretação auxiliada pela EGS 2000 e suas respectivas janelas associadas.....	26
Figura 3.18 - Exemplo de diálogos para o gerenciamento de <i>templates</i> na EGS 2000.....	27
Figura 3.19 - Exemplo de notificação de erro e orientação do usuário.....	28
Figura 3.20 – componentes da EGS 2000.....	29
Figura 3.21 - O processo de ativação de <i>threads</i> na EGS 2000.....	31

Figura 4.1 - Janelas para edição da aplicação e dados observados associados à inversão exemplificada.....	33
Figura 4.2 - Janelas para edição da aplicação e do modelo.....	33
Figura 4.3 - Gráfico para comparação entre o modelo obtido e os dados observados.....	34
Figura 4.4 - Gráfico contendo os dois modelos inicial e final associados ao processo de inversão.....	35
Figura 4.5 - Janela para visualização das propriedades do modelo final obtido.....	35
Figura 4.6 - Visão esquemática do modelo de um corpo mineralizado.....	36
Figura 4.7 - Ilustração do editor de malha de elementos finitos.....	37
Figura 4.8 - Propriedades elétricas de cada meio que compõe o modelo bidimensional.....	38
Figura 4.9 - Pseudo-seções de (a) resistividade, (b) PFE e (c) Fator metálico.....	39
Figura 4.10 - Malha tridimensional de elementos finitos.....	40
Figura 4.11 - Modelo de um corpo tridimensional. (a) Visão espacial, (b) Planta baixa.....	41
Figura 4.12 - Fatia do primeiro grupo.....	42
Figura 4.13 - Propriedades elétricas de cada meio que compõe o primeiro grupo.....	42
Figura 4.14 - Fatia do segundo grupo.....	43
Figura 4.15 - Propriedades elétricas de cada meio que compõe o segundo grupo.....	43
Figura 4.16 - Fatia do terceiro grupo.....	43
Figura 4.17 - Propriedades elétricas de cada meio que compõe o terceiro grupo.....	43
Figura 4.18 - Fatia do quarto grupo.....	44
Figura 4.19 - Propriedades elétricas do único meio que compõe o quarto grupo.....	44
Figura 4.20 - Pseudo-seções de (a) resistividade, (b) PFE e (c) Fator metálico da linha 0...45	45
Figura 4.21 - Pseudo-seções de (a) resistividade, (b) PFE e (c) Fator metálico da linha 1...46	46
Figura 4.22 - Pseudo-seções de (a) resistividade, (b) PFE e (c) Fator metálico da linha 2...47	47
Figura 4.23 - Pseudo-seções de (a) resistividade, (b) PFE e (c) Fator metálico da linha 3...48	48
Figura 4.24 - Pseudo-seções de (a) resistividade, (b) PFE e (c) Fator metálico da linha 4...49	49
Figura 4.25 - Pseudo-seções de (a) resistividade, (b) PFE e (c) Fator metálico da linha 5...50	50
Figura 4.26 - Pseudo-seções de (a) resistividade, (b) PFE e (c) Fator metálico da linha 6...51	51
Figura 4.27 - Pseudo-seções de (a) resistividade, (b) PFE e (c) Fator metálico da linha 7...52	52
Figura 4.28 - Pseudo-seções de (a) resistividade, (b) PFE e (c) Fator metálico da linha 8...53	53

Figura 4.29 - Pseudo-seções de (a) resistividade, (b) PFE e (c) Fator metálico da linha 9...54

TABELAS

Tabela 4.1 - Correspondência entre as propriedades elétricas dos meios e as cores que representam o modelo bidimensional exemplificado.....	37
Tabela 4.2 - Correspondência entre as propriedades elétricas dos meios e as cores que representam o modelo tridimensional exemplificado.....	42

RESUMO

O presente trabalho consiste no desenvolvimento de uma interface gráfica para pré e pós-processamentos de dados elétricos e eletromagnéticos em geofísica utilizando-a na transformação da EGSLIB – Electrical Geophysics Software Library, a qual é constituída por um acervo de programas FORTRAN para DOS, em um *software* integrado e que possua uma eficiente interface gráfica com o usuário. O resultado deste esforço foi a surgimento de um produto que foi denominado EGS 2000 – *Electrical Geophysics Suite - 2000 version*.

Construído em ambiente DELPHI da Borland, através de um processo de desenvolvimento que, além de orientado a objetos, foi centrado em uma arquitetura que permitiu um alto grau de aproveitamento de programas FORTRAN já desenvolvidos e testados. Tal produto, constitui-se em uma poderosa ferramenta de auxílio à modelagem e interpretação de dados geofísicos totalmente executável no sistema operacional MS-Windows. Com isso, alcançou-se uma forma economicamente viável para dar uma destinação prática aos resultados teóricos obtidos nas universidades e institutos de pesquisa.

Os exemplos apresentados, mostram-nos que, auxiliadas por computador, modelagens e interpretações de dados geofísicos alcançam um nível de produtividade e versatilidade jamais obtidos pelas ferramentas de outrora, uma vez que diversos modelos podem ser armazenados e recuperados e seus resultados comparados com dados observados sistematicamente colecionados, conferindo ao processo um alto grau de confiabilidade e rapidez.

1 – INTRODUÇÃO

O advento e o vertiginoso desenvolvimento da microinformática propiciou que recursos computacionais de baixo custo estivessem à disposição do cidadão comum, ampliando sobremaneira a diversidade dos perfis de usuário de computação em qualquer segmento da atividade humana.

Na geofísica de prospecção não foi diferente. Centenas de milhares de linhas de código, escritos para computadores de grande porte ou até mesmo para estações de trabalho ainda relativamente caras, tiveram que ser adaptadas para execução nos emergentes microcomputadores pessoais.

Tais programas foram, desenvolvidos originalmente para sistemas operacionais orientados a caracteres, tendo como periféricos típicos teclados de terminais “burros”, impressoras seriais, matriciais, ou até mesmo, em versões mais antigas, perfuradoras e leitoras de cartões *Hollerith*.

Nesta categoria, enquadra-se a EGSLIB (Electrical Geophysics Software Library), biblioteca cujo desenvolvimento iniciou-se na década de setenta pelo Prof. Luiz Rijo quando este ainda era aluno de doutorado na Universidade de Utah.

Inicialmente desenvolvida para *mainframes*, na era dos cartões perfurados, a EGSLIB foi sendo continuamente modificada, pois em seguida vieram o VAX com o sistema VMS, as estações de trabalho com UNIX.e, os computadores pessoais padrão IBM-PC com DOS. Em seu último estágio, a EGSLIB, encontra-se constituída por um conjunto de programas FORTRAN para MS-DOS, utilizado em conjunto com os pacotes MATLAB e SURFER.

Em meados da década de 90, a EGSLIB foi ficando obsoleta, pois com o surgimento dos processadores *Pentium* de alta performance e de ferramentas de desenvolvimento mais eficientes (termos de produtividade e complexidade do produto final) para MS-Windows, adveio a necessidade de uma completa reestruturação para o pleno uso de recursos gráficos deste ambiente. Entretanto, os dados de entrada na EGSLIB, continuavam a ser digitados em modo caracter e a proceder-se a visualização dos dados de saída através de pacotes de terceiros. Tudo isso ocasionava uma interface ao usuário não amigável, grosseiras emendas, além da necessidade de aquisição às vezes dispendiosa de licenças de outros produtos.

O presente trabalho consiste em descrever a reformulação sofrida pela EGSLIB, transformando-a em um *software* modular, integrado e para o ambiente MS-Windows,

explorando totalmente os recursos gráficos deste ambiente. O resultado deste esforço foi o surgimento de um produto que foi denominado EGS 2000 – *Electrical Geophysics Suite* - 2000 *version*.

Estruturou-se o presente trabalho de modo a comunicar tanto ao especialista em engenharia de *software*, como ao interessado em geofísica, uma visão abrangente que permita a compreensão dos resultados relevantes alcançados em ambos os domínios.

No Capítulo 1, descreve-se o processo de desenvolvimento de *software* da EGS 2000, suas fases e atividades, assim como técnicas e modelos empregados durante a execução do desenvolvimento.

Uma descrição geral do produto final em termos princípios de projeto da interface e arquitetura de um modo geral, é dada no Capítulo 2 .

Aplicações práticas envolvendo modelo unidimensional, bidimensional e tridimensional foram também descritas para ilustrar a facilidade de uso e a eficiência da interface com o usuário. Tais aplicações encontram-se descritas no Capítulo 3.

Longe de ser um resultado acabado e definitivo, com as idéias aqui desenvolvidas, pretende-se dar apenas uma modesta contribuição, exemplificando como o desenvolvimento de programas de computador, empregando conceitos modernos de engenharia de *software* e ambientes de computacionais populares, podem redundar em valiosos meios de tornar efetivamente disponíveis a produção da pesquisa acadêmica à sociedade e, destarte abrir caminho para que outras iniciativas de mesma natureza resgate e aproxime a teoria às aplicações práticas do dia a dia.

2 - O PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO

2.1 – VISÃO GERAL

Para o desenvolvimento a EGS 2000, decidiu-se por um processo iterativo de desenvolvimento de *software*. Tal abordagem baseia-se no aperfeiçoamento sucessivo do *software* através de múltiplos ciclos de desenvolvimento, onde as atividades de análise, projeto, implementação, teste e distribuição são continuamente executadas (Larman, 2000).

Após uma fase inicial de concepção e elaboração, a EGS 2000 evoluiu pelo acréscimo de novas funções em cada ciclo de desenvolvimento, constituindo um processo contínuo e incremental que perdura até a presente data.

Cada ciclo de desenvolvimento trata um conjunto pontual de requisitos, como por exemplo a inclusão de um método elétrico ou eletromagnético, percorrendo todas as fases, propiciando um desenvolvimento incremental de um software utilizável e confiável cada vez mais abrangente. Isso contrasta com o clássico ciclo de vida em cascata, no qual cada fase é executada uma única vez para o conjunto inteiro de requisitos da aplicação. A Figura 2.1 ilustra a estrutura do processo de desenvolvimento adotado. Pode-se concluir da figura, que tal processo está estruturado em três fases:

1. Concepção e elaboração.
2. Construção.
3. Distribuição.



Figura 2.1: Visão geral do processo de desenvolvimento iterativo adotado (adaptado de Fowler & Scott, 1997).

Nas seções seguintes são descritas as principais atividades desenvolvidas em cada uma das fases do processo de desenvolvimento adotado.

2.2 – CONCEPÇÃO E ELABORAÇÃO

Uma vez compreendido o cenário e as motivações de projeto (delineados no Capítulo 1), nesta fase buscou-se um aprofundamento maior, objetivando responder às seguintes questões.

- O que será construído?
- Como será construído?
- Qual a tecnologia empregada?

Neste intuito, as seguintes atividades foram executadas:

1. Elaboração do diagrama de casos de uso do *software* a ser desenvolvido.
2. Definição da tecnologia a ser empregada.
3. Linhas arquiteturas mestras a serem seguidas na fase de construção.
4. Plano de desenvolvimento.

Os tópicos a seguir resumem cada uma destas atividades.

2.2.1 – Diagrama de casos de uso

Nesta atividade caracterizou-se os diversos perfis de usuários, suas interações e expectativas em relação à interface.

Tendo os usuários, níveis de habilidade em operação e de conhecimentos técnicos específicos em geofísica, bastante díspares, o projeto da interface foi conduzido, no sentido de propiciar uma interação eficiente tanto para o usuário iniciante como para o avançado.

Um aspecto importante, de grande impacto na definição do esboço da arquitetura da EGS 2000, foi a constatação de que apesar da variedade de métodos elétricos e eletromagnéticos previstos, a interação do usuário com a aplicação pode dar-se sempre de uma maneira padronizada. Esta fato está ilustrado na figura 2.2.

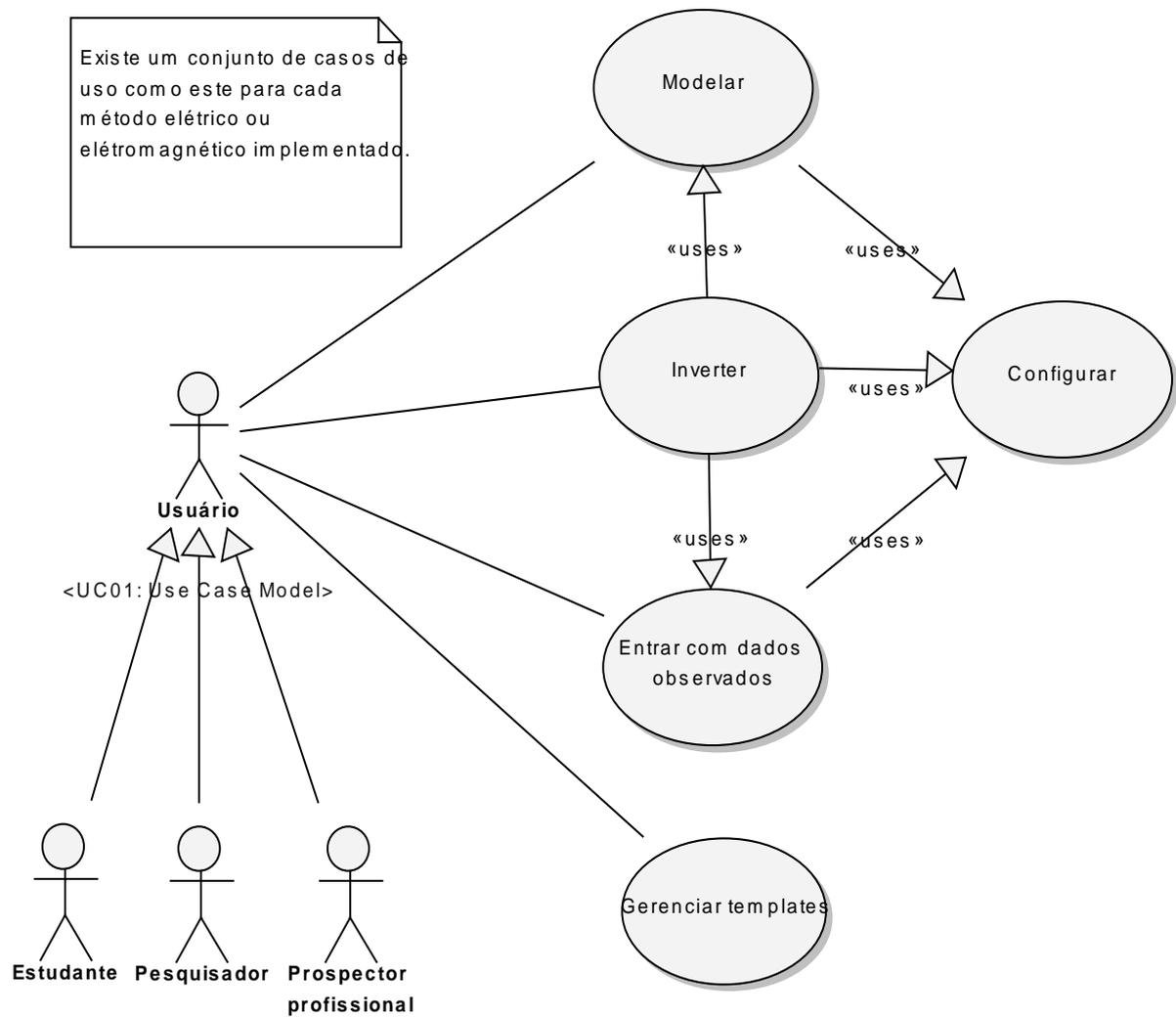


Figura 2.2: Diagrama de casos de uso da EGS2000.

2.2.2 – Definição da tecnologia

Na prospecção elétrica e eletromagnética, onde a relação custo/benefício restringe muito o orçamento, a adoção de uma solução de *software* de baixo custo deve partir dos seguintes pressupostos:

1. Ser desenvolvida para um sistema operacional bastante difundido.
2. Empregar ambiente visual de desenvolvimento popular.
3. Permitir o máximo aproveitamento eficiente do código FORTRAN legado.
4. Seguir uma metodologia de análise e projeto orientados a objetos.

A adoção de um sistema operacional padrão *de facto* como o MS-Windows, propicia que uma quantidade expressiva de usuários deste sistema operacional possam utilizar as interfaces, maximizando o aproveitamento tanto dos recursos computacionais como cognitivos, uma vez que toda a experiência adquirida em MS-Windows é aproveitada na utilização do software.

Por seu turno, o emprego de ambiente de desenvolvimento DELPHI da Borland, potencializa que um número maior de pessoas possam ser engajadas no projeto EGS 2000 como implementadores, uma vez que a linguagem Pascal, na qual o ambiente DELPHI está baseado, programação orientada a objetos e ambientes visuais de desenvolvimento são tecnologias amplamente difundidas no meio acadêmico.

Utilizando-se o Visual Fortran 90, alcançou-se o afetivo aproveitamento do código legado, pois os programas fonte foram compilados sem problemas e, bibliotecas de ligação dinâmica (DLL) foram geradas a partir dos mesmos, tornando-os portanto integráveis ao restante da estrutura da EGS 2000.

Finalmente, a adoção de uma metodologia de análise e projeto orientados a objetos, permitiu, através de um processo de desenvolvimento iterativo, um alto grau de reutilização de código já construído, trazendo maior agilidade e confiabilidade ao processo como um todo.

2.2.3 – Linhas arquiteturas mestras

O projeto de software da EGS 2000 procurou minimizar o número de conceitos, procurando basear-se predominantemente em conceitos genéricos e unificadores, que, além de permitir a criação de um poderoso *framework*, viabilizou um processo de desenvolvimento fortemente centrado na arquitetura, assim como uma grande simplificação estrutural da interface com o usuário. A Figura 2.3 ilustra este importante conjunto de classes fundamentais da EGS 2000.

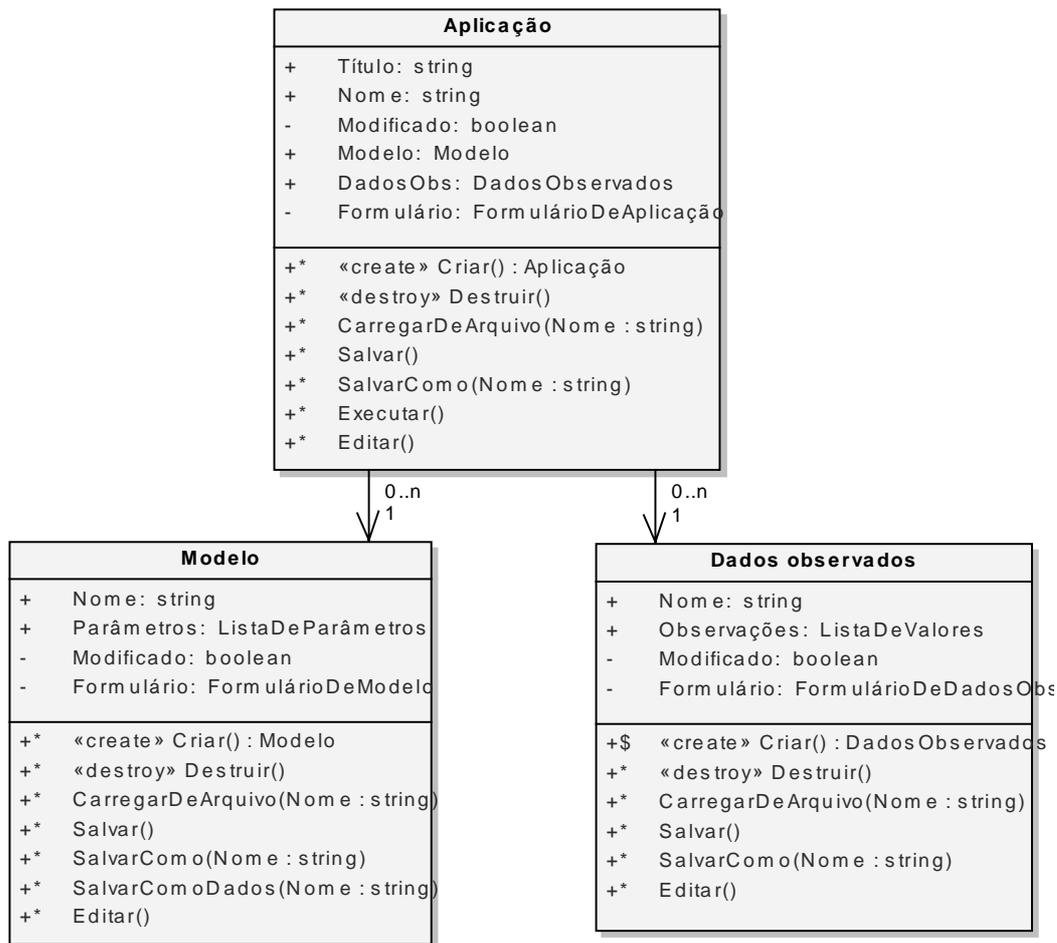


Figura 2.3: Classes fundamentais da EGS2000.

2.2.4 – Plano de desenvolvimento

Como o processo de desenvolvimento adotado foi orientado por casos de uso, definiu-se que cada ciclo de desenvolvimento deveria ser responsável pela implementação de um conjunto de casos de uso associado a determinado método elétrico ou eletromagnético. Neste espírito, assim foi seguido o seguinte plano de desenvolvimento:

- a) Ciclo de desenvolvimento 1 : Sondagem elétrica vertical Schlumberger 1-D modelo direto.
- b) Ciclo de desenvolvimento 2: Sondagem elétrica vertical Schlumberger 1-D modelo inverso.
- c) Ciclo de desenvolvimento 3: Polarização induzida e resistividade 2-D modelo direto.
- d) Ciclo de desenvolvimento 4: Polarização induzida e resistividade 3-D modelo direto.

2.3 – CONSTRUÇÃO

Conforme previsto no plano de desenvolvimento, em cada ciclo foi implementado um método elétrico ou eletromagnético e, portanto, a respectiva interface com o usuário necessária.

Para facilitar esta construção iterativa, empregou-se uma técnica denominada *refactoring*, a qual, a grosso modo pode ser vista como uma técnica que reduz bastante o esforço de adaptação de uma versão anterior a uma nova necessidade, através de uma reorganização interna clarificadora do que já foi previamente implementado (Fowler & Scott, 1997). Tal procedimento, proporcionou a liberação de sucessivos *buildings*, caracterizando uma abordagem e implementação verdadeiramente incrementais.

2.4 – DISTRIBUIÇÃO

Para a distribuição, adotou-se uma estratégia baseada em sucessivas liberações de versões *beta* objetivando envolver os mais diversos usuários no processo de construção.

Um *website* será construído para facilitar esta forma de distribuição, treinamento a usuários através de cursos e guias on-line, assim como para incentivar a formação de grupos de usuários, foros de discussão dentre outras formas de interação que propiciem a construção de uma aplicação que efetivamente atenda às necessidades de seus usuários.

Devido à existência de uma significativa comunidade de usuários potenciais que utilizam a língua inglesa, a versão atual da EGS 2000 foi distribuída neste idioma. Porém prevê-se que uma versão bilingüe no futuro (inglês e português).

3 – DESCRIÇÃO DA EGS2000

3.1 - PRINCÍPIOS DE PROJETO DA INTERFACE COM O USUÁRIO

O projeto de interface com o usuário seguiu princípios já consagrados como fatores que identificam um bom diálogo (Sabani,1981) os quais são:

1. Facilidade de aprendizado.
2. Facilidade de uso.
3. Facilidade de evolução.
4. Capacidade de prevenção e detecção de erros.
5. Eficiência.
6. Consistência.
7. *Tutorial*.

Os tópicos contidos nesta seção explanam estes princípios assim como as soluções adotadas para alcançá-los.

3.1.1 - Facilidade de aprendizado

Para a observância deste princípio, três diretrizes foram seguidas: Aderência ao padrão de aplicativo do MS-Windows, emprego de metáforas e reduzido número de conceitos. Os tópicos a seguir, descrevem como isto foi conseguido.

3.1.1.1 - Aderência ao padrão de aplicativo do MS-Windows

O padrão geral de aplicativos MS-Windows consiste em uma janela principal contendo um menu *pull down*, contemplando além das funções específicas do aplicativo, aquelas mais gerais como por exemplo sair, abrir, salvar, ajuda, etc. A partir da janela principal, todas as funções da EGS 2000 são ativadas. A Figura 3.1 mostra o aspecto desta janela principal.



Figura 3.1: Janela principal da EGS 2000.

Adotando este padrão, acredita-se que um usuário iniciante ou eventual da EGS 2000 dê seus primeiros passos somente com os conhecimentos trazidos de sua experiência anterior com outros aplicativos para MS-Windows.

A EGS 2000 também pode ser descrita como sendo uma aplicação MDI (*Multiple Document Interface*), isto é, uma aplicação que simultaneamente abre ou exibe dois ou mais arquivos ou documentos, sob a coordenação de uma janela principal. A Figura 3.2 mostra um instantâneo da EGS 2000, exibindo uma aplicação aberta, seu respectivo modelo e os dados observados associados, caracterizando-a como uma aplicação MDI.

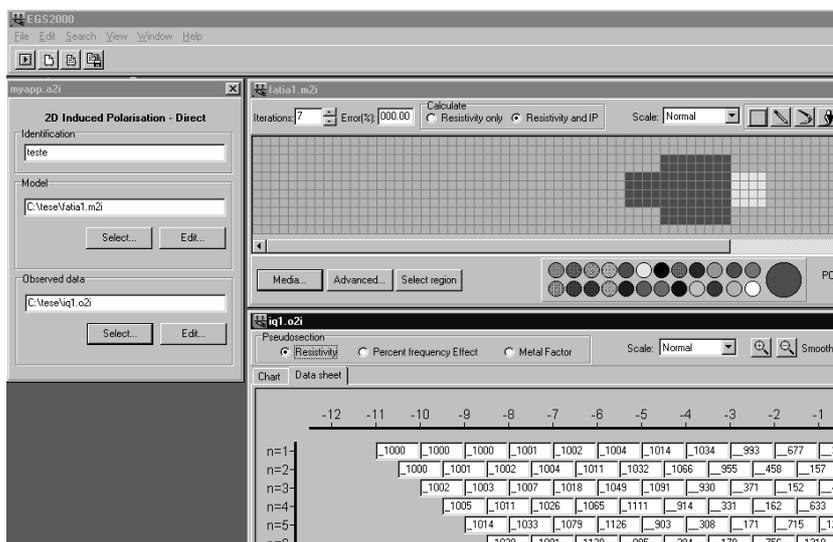


Figura 3.2 : A EGS 2000 como uma típica aplicação MDI.

3.1.1.2 - Emprego de metáforas

Metáforas, no contexto do presente trabalho, são analogias entre o mundo real e o ambiente operacional disponível a um usuário. Na EGS 2000 foram amplamente utilizadas as metáforas do MS-Windows assim como foram criadas outras mais específicas, inspiradas no domínio natural do problema.

A seguir, são descritas as principais metáforas empregadas na EGS 2000: janelas, controles, menus, arquivos e pastas e outras metáforas.

- Janelas

Decorrentes da mais forte metáfora do ambiente MS-Windows, toda a interação com o usuário se dá através de elementos retangulares denominados janelas. Neste ambiente toda a interação homem - máquina é efetuada através de janelas.

As janelas podem ser abertas em qualquer número e o usuário, apesar de poder atuar sobre somente uma única, pode visualizar várias delas ao mesmo tempo.

Um tipo especial de janela, denominado diálogo, é amplamente utilizado em aplicações MS-Windows e, em particular, na EGS 2000. Ela tem como objetivo exigir uma ação por parte do usuário, tendo por esse motivo a característica *modal*, isto é, enquanto o usuário estiver interagindo com esta janela, nenhuma outra pode ser acessada. A Figura 3.3 exemplifica um diálogo na EGS 2000.

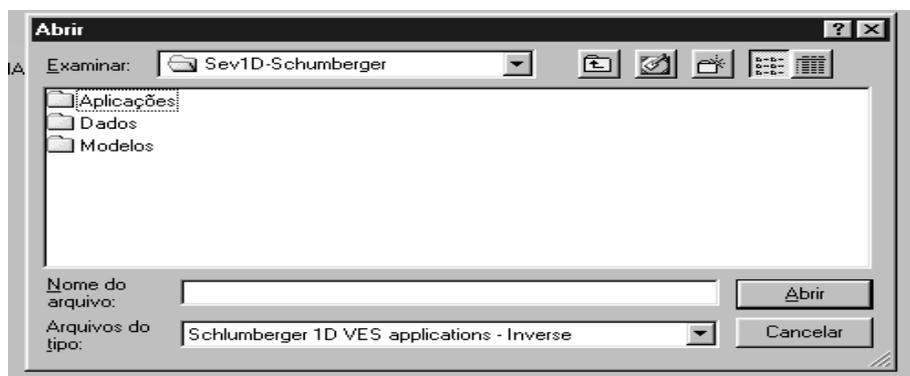


Figura 3.3: Exemplo de diálogo na EGS 2000.

- Controles

Os diversos elementos constitutivos da interface, tais como botões, caixas de texto e caixas de combinação, são elementos padronizados pelo MS-Windows, constituindo este fato um fator de agilização do aprendizado do usuário na utilização da interface.

Conforme explanado mais adiante, os controle têm papel importante na prevenção de erros de entrada de dados na EGS 2000.

- Menus

Assim como as janelas e controles, os menus são amplamente utilizados no ambiente MS-Windows e fornecem uma maneira fácil para usuários executarem funções que são apresentadas em uma forma logicamente agrupadas. Dois tipos de menus são empregados na EGS 2000: menus *pull-down* e *pop-up*.

Um menu *pull-down* está situado na parte superior da janela, logo abaixo da barra de título, tendo como objetivo visualizar e permitir a ativação das funções da EG 2000. Por seu turno, uma opção existente no menu, poderá ser apresentada, de acordo com sua funcionalidade, através de um submenu. A Figura 3.4 exemplifica o emprego deste tipo de menu.

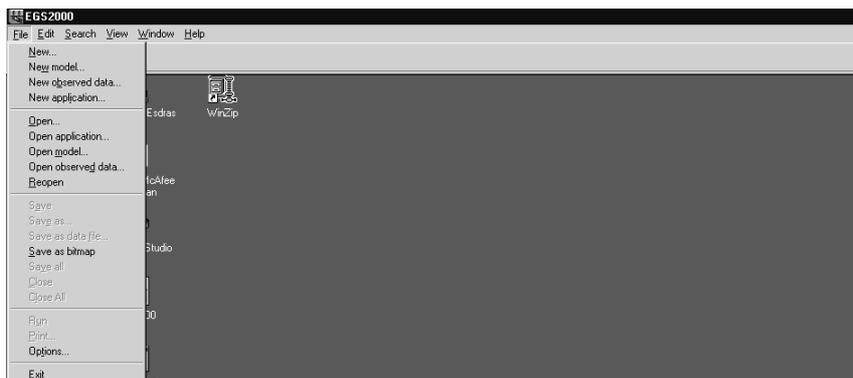


Figura 3.4: Exemplo de menu *pull-down* empregado na EGS 2000.

Os menus *pop-up* são utilizados para disponibilizar ações associadas a um contexto de forma imediata, como se fosse um atalho. Um exemplo disto ocorre quando o usuário exibe algum gráfico da EGS 2000, em que o menu fornece opções para a execução de algumas operações sobre alguma saída gráfica. A Figura 3.5 ilustra este recurso.

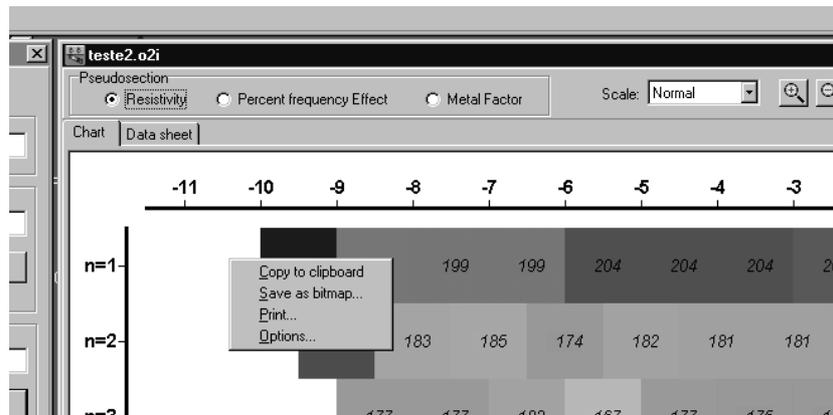


Figura 3.5: Exemplo de menu *pop-up* empregado na EGS 2000.

- Arquivos e pastas

A EGS 2000 utiliza arquivos e pastas no armazenamento persistente de objetos. Aplicações, modelos, dados observados, configurações e *templates* são exemplos de objetos armazenados em arquivos.

Estes arquivos e pastas podem ser manipulados através do utilitário Windows Explorer, propiciando uma facilidade natural de execução de operações sobre os mesmos (cópias, mudança de nomes, exclusão, etc), assim como de uma forma eficiente de ativação de funções disponibilizadas no aplicativo. Um exemplo disto ocorre quando, a partir do Windows Explorer, efetua-se um duplo *click* de mouse em um arquivo contendo uma aplicação EGS 2000, resultará na execução da mesma sendo os respectivos gráficos de saída exibidos.

A Figura 3.6 mostra um instantâneo do Windows Explorer exibindo arquivos e pastas contendo dados gerenciados pela EGS 2000.

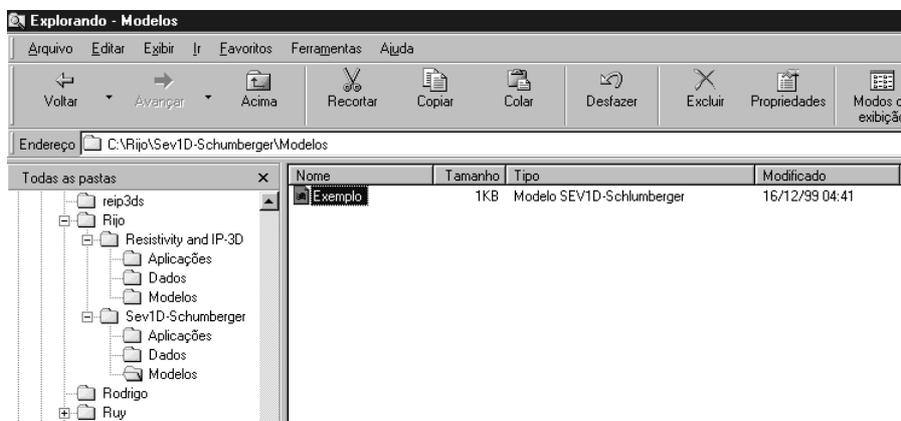


Figura 3.6: Os dados da EGS 2000 armazenados e recuperados em arquivos e pastas

- Outras metáforas

Além das metáforas mais genéricas sugeridas pelo sistema operacional, a EGS 2000 criou algumas na implementação da interface, tornando a interação do usuário mais amigável.

A Figura 3.7 ilustra a edição de uma pseudoseção de IP e resistividade onde as caixas de texto para edição dos valores foram dispostas em um arranjo onde as características físicas e operacionais do método foram preservadas, proporcionando a interação com o usuário mais natural e intuitiva.

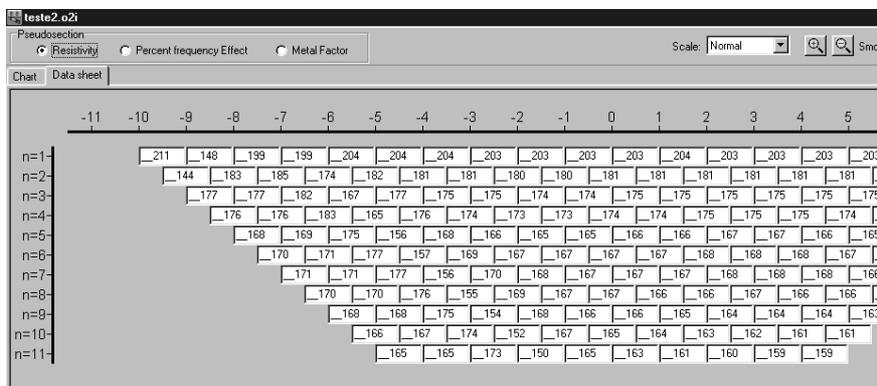


Figura 3.7: Edição de dados através de uma pseudoseção de IP e resistividade.

3.1.1.3 – Reduzido número de conceitos

O modelo conceitual da EGS 2000 está ligado à sua principal finalidade que é fornecer uma ferramenta de modelagem e interpretação geofísica.

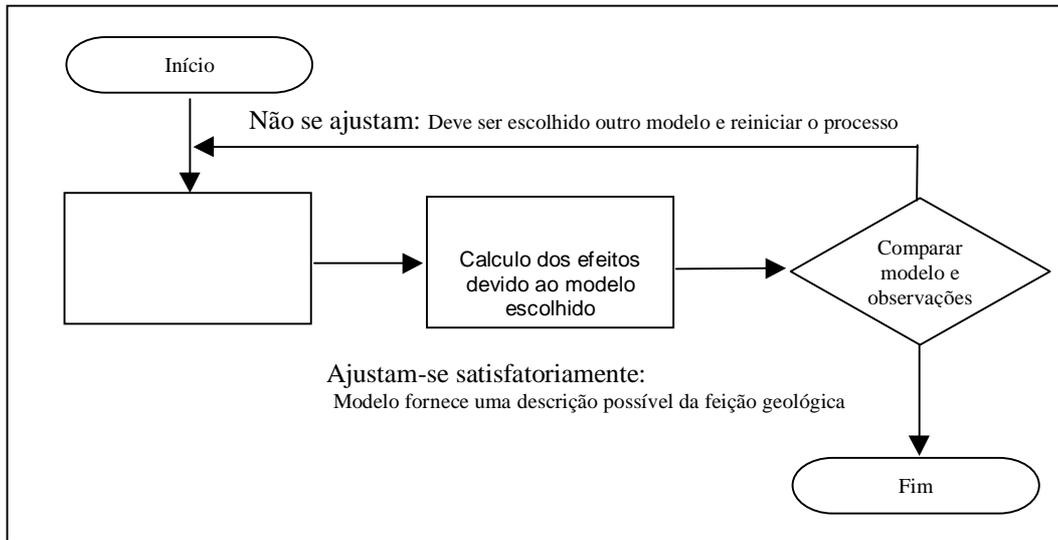
A modelagem em geofísica consiste em estabelecer algumas abstrações, obtendo-se um modelo geral, da distribuição de uma propriedade física na subsuperfície terrestre, fazer variar determinados parâmetros desse modelo e observar os resultados preditos pela teoria.

Já a interpretação consiste em obter informação geológica a partir de medidas geofísicas. A EGS 2000 fornece suporte para dois métodos de interpretação: Direto e inverso.

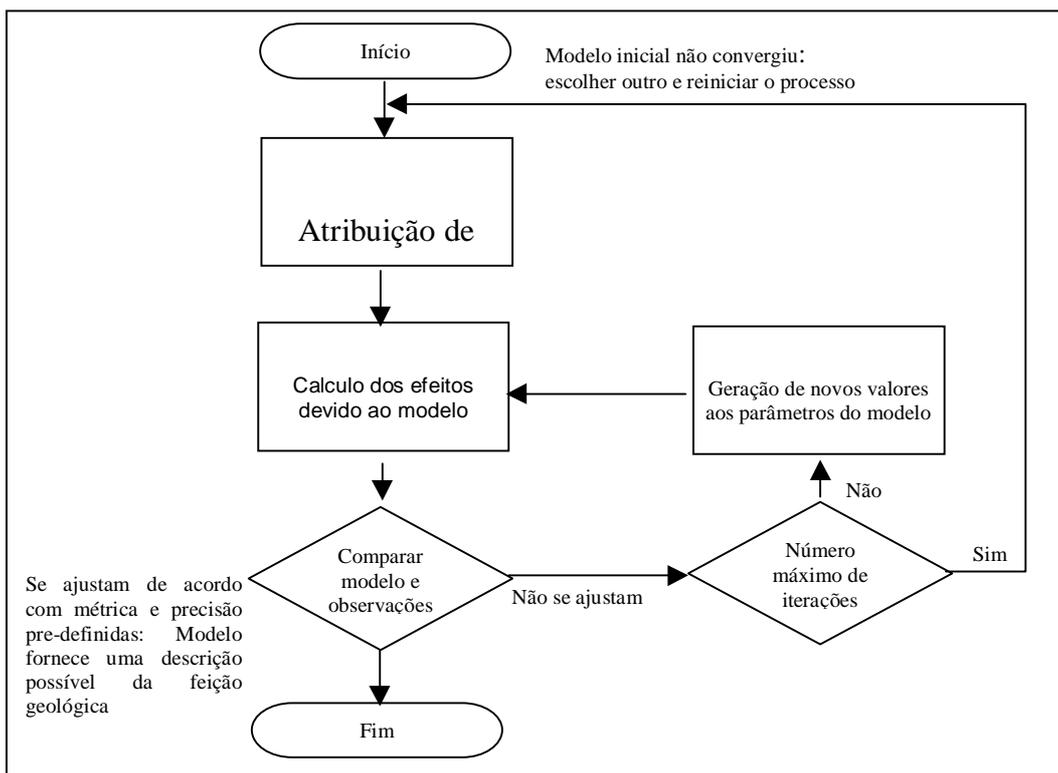
No método direto, um modelo é escolhido, são calculados seus efeitos preditos pela teoria e, em seguida, comparam-se os efeitos preditos com os dados observados. O processo continua até a obtenção de um modelo que forneça uma feição geológica compatível com os dados

observados sendo, esta abordagem tipicamente de *ensaio e erro*. A Figura 3.8 (A) ilustra o fluxo seguido neste processo.

No método inverso, um modelo inicial é fornecido como uma primeira aproximação, seus efeitos preditos pela teoria são calculados e comparados com os dados observados. Segundo métrica e precisão previamente definidas, verifica-se se os efeitos preditos ajustam-se aos dados observados. Caso haja discrepância, um novo modelo é gerado e o processo continua iterativamente até que seja obtido um modelo que forneça uma descrição geológica compatível com os dados observados. O desenvolvimento deste método está fortemente relacionado com o crescente poder computacional dos modernos microcomputadores, como também de avanços de técnicas matemáticas de otimização, que propiciaram a produção de uma nova geração de algoritmos computacionais de inversão (Luiz, 1999) e (Medeiros & Silva, 1996). A Figura 3.8 (B) ilustra o fluxo seguido neste processo.



(A)



(B)

Figura 3.8: Fluxogramas dos processos de interpretação (A) método direto (B) método inverso (adaptado de Luiz & Costa e Silva, 1995).

Para fornecer suporte à modelagem e interpretação a EGS 2000 faz uso de três conceitos que, devido este reduzido número, foram cruciais para a sua concisão e, por conseguinte para diminuir a curva de aprendizagem dos usuários. Tais conceitos são aplicações, modelos e dados observados.

- Aplicações

As aplicações são objetos persistentes, armazenados sob a forma de arquivo, que implementam um processo de interpretação. Toda aplicação possui um título, um modelo e um arquivo de dados observados. No método direto, o modelo associado à aplicação corresponde àquele cujos efeitos teóricos se deseja comparar aos dados observados. No método inverso, o modelo corresponde à primeira aproximação no processo de inversão. O título corresponde a uma descrição sucinta da aplicação para fins de documentação. A Figura 3.9 exhibe uma aplicação na EGS2000 como seu respectivo modelo de arquivo de dados observados.

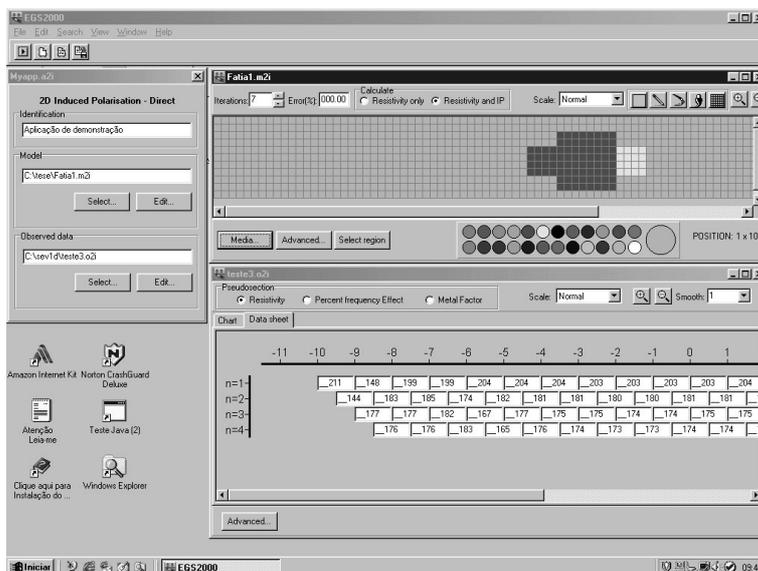


Figura 3.9: Uma aplicação EGS 2000 com respectivo modelo e dados observados.

- Modelos

Os modelos são objetos persistentes, armazenados sob a forma de arquivo, que descrevem um modelo físico utilizado em um processo de modelagem ou inversão. A EGS 2000 permite que um modelo seja visualizado sob a forma de propriedades ou sob uma forma gráfica empregando curvas, seções, pseudoseções, etc.

- **Dados observados**

Os dados observados, provenientes de uma dada operação de campo, como por exemplo uma sondagem, são também objetos persistentes, armazenados sob a forma de arquivos. Na EGS 2000 os dados observados são elementos centrais no processo de interpretação.

De maneira análoga aos modelos, os dados observados podem ser visualizados sob a forma de planilha de dados ou na forma gráfica.

Para ilustrar como os conceitos aqui introduzidos cumpriram um papel simplificador no projeto da EGS 2000, o processo de interpretação de uma sondagem elétrica vertical Schlumberger pelo método inverso é descrito passo a passo:

- (1) O usuário cria um arquivo de dados observados e digita a sua sondagem no mesmo;
- (2) O usuário define um modelo inicial e cria um arquivo de modelo SEV Schlumberger 1D com estas especificações;
- (3) O usuário cria uma aplicação associando o modelo aos dados medidos;
- (4) O usuário comanda a execução da aplicação. Nesse instante, um processo computacional de inversão é efetuado e, havendo convergência, saídas gráficas mostram uma comparação visual dos dados medidos com os efeitos do modelo teórico encontrado, uma visualização dos modelos inicial e final, além de outras informações sobre o processamento. Não havendo convergência, uma mensagem será exibida, devendo o usuário escolher outro modelo e executar a aplicação novamente.

Este processo é o mesmo para qualquer inversão na EGS 2000, ficando o usuário somente com o esforço de lidar com conceitos específicos do método elétrico ou eletromagnético de seu interesse.

3.1.2 - Facilidade de uso

Durante a fase de concepção estabeleceu-se o amplo espectro de perfis de usuários potenciais da EGS 2000, usuários esses que vão desde o estudante de graduação em geofísica até o pesquisador acadêmico, incluindo também o prospector profissional, que encontrará nesta aplicação uma poderosa ferramenta de trabalho em suas atividades rotineiras.

Para fornecer um acesso facilitado aos serviços da EGS 2000, desenvolveu-se a interface de modo que diversas formas de navegação e acesso fossem possíveis.

Em uma abordagem inicial ou exploratória o usuário pode acessar os diversos métodos elétricos ou eletromagnéticos através de um diálogo em forma de árvore, que além de dar uma visão geral da abrangência da aplicação, permite a visualização de uma taxinomia dos referidos métodos. A Figura 3.10 mostra diálogos em forma de árvore na EGS 2000.

Para um acesso mais rápido, atalhos podem ser criados, assim como opções contendo o histórico dos últimos acessos podem agilizar a abertura de um determinado objeto, facilitando o uso freqüente e repetitivo. A Figura 3.11 exhibe o diálogo para criação de atalhos na EGS 2000.

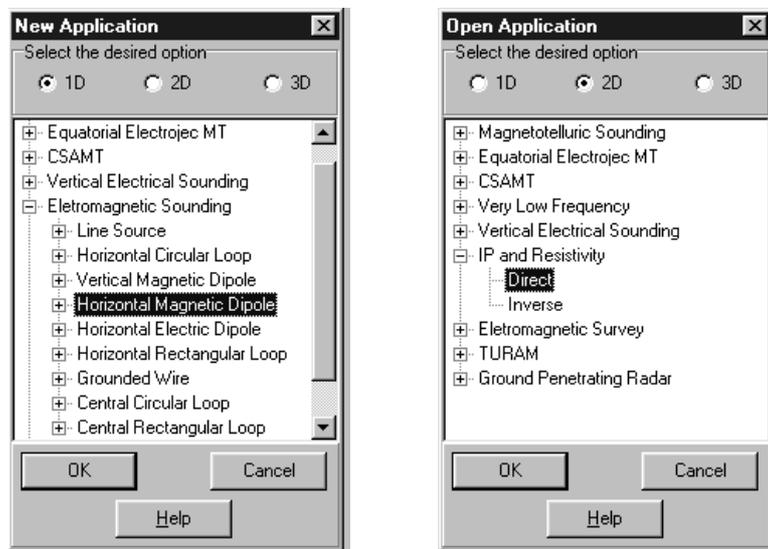


Figura 3.10: Exemplos de diálogos em forma de árvore na EGS 2000.

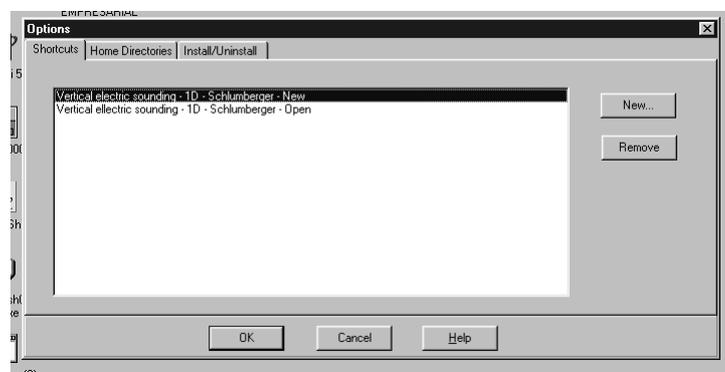


Figura 3.11: Configuração de atalhos na EGS 2000.

Por outro lado, também pode ser configurada a estrutura de armazenamentos dos dados da EGS 2000 em arquivos e pastas. A Figura 3.12 mostra o diálogo para a configuração de pastas para armazenamento dos seus diversos arquivos.

Este tipo de configuração, permite que o usuário construa sua própria estrutura de armazenamento em arquivos e pastas, adaptando a EGS 2000 a algum padrão de nomes de arquivos já existente ou a uma forma de nomear arquivos mais mnemônica ou de sua conveniência.

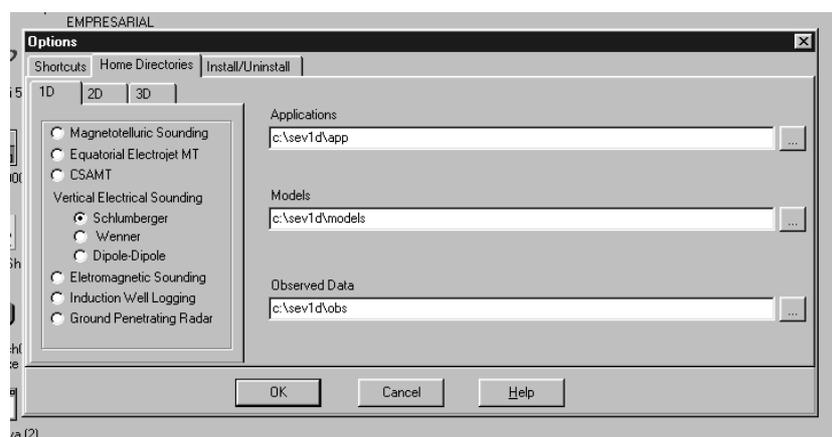


Figura 3.12: Configuração de diretórios para armazenamento de dados na EGS 2000.

Além de configurações mais gerais, cada interface oferece ao usuário possibilidades de configurar alguns aspectos bem específicos. Como exemplo, a Figura 3.13 mostra um diálogo para configurar opções para a saída gráfica de inversão de sondagens elétricas verticais Schlumberger 1-D.

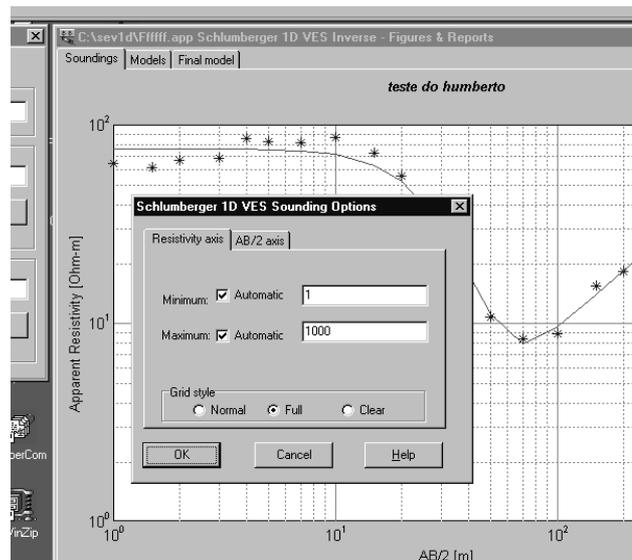


Figura 3.13: Exemplo de um diálogo para uma configuração específica na EGS 2000.

Um outro conjunto de facilidades merece destaque nesta seção. Trata-se da possibilidade de se exportar figuras geradas pelas interfaces para outros programas MS-Windows. Existem duas maneiras de efetuar este tipo de operação. A primeira consiste em copiar a figura para a área de transferência do sistema operacional (*clipboard*) e a outra gravando arquivos de figura em formatos bastante difundidos comercialmente tais como *bmp*, *tif*, *jpg*, etc.

3.1.3 - Facilidade de evolução

Novos métodos elétricos ou eletromagnéticos podem ser facilmente incluídos na EGS 2000 pois o *framework* já desenvolvido propicia um alto grau de reutilização dos componentes implementados.

Quanto à sua operação, esta evolução pode ocorrer sem necessidade de novo treinamento para usuários já familiarizados com o aplicativo, pois a arquitetura geral do mesmo já se encontra totalmente definida e os conceitos de aplicação, modelo e dados observados aplicam-se a todo e qualquer método implementado no *software*.

3.1.4 - Capacidade de prevenção e detecção de erros

O sistema operacional MS-Windows fornece um amplo conjunto de controles padronizados que implementam a funcionalidade de uma interface desenvolvidas para este ambiente.

Tais controles além de facilitar a operação dos programas, devido suas características intrínsecas, também fornecem mecanismos para evitar que dados incorretos sejam introduzidos.

A EGS 2000 beneficiou-se amplamente pela utilização dos controles padronizados no ambiente operacional. Caracteres inválidos, valores numéricos fora de faixa, escolha de opções sem sentido em um contexto específico são exemplo de erros que podem ser prevenidos através destes recursos básicos.

Além deste nível de consistência, estão implementadas na EGS 2000, regras mais complexas para rejeitar ou alertar o usuário quando algum dado fornecido potencializar algum resultado incorreto ou imprevisível. A Figura 3.14 ilustra o emprego de máscaras de edição na digitação das propriedades físicas de um modelo.

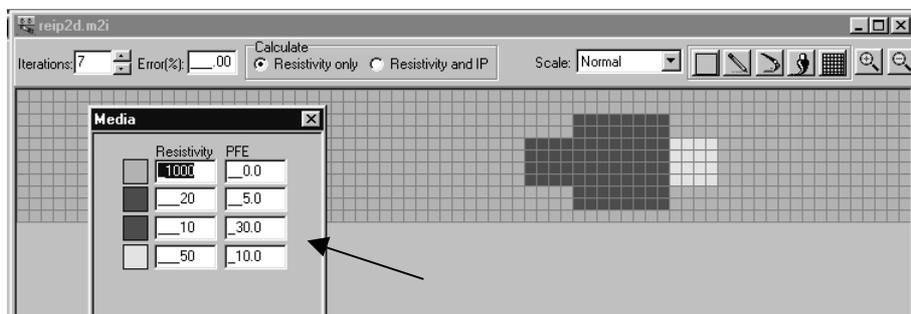


Figura 3.14: Exemplo de máscara de edição para detecção de erros de digitação.

Além disso, a EGS 2000, no intuito de prevenir que o usuário inadvertidamente forneça dados ou parâmetros de modelos errados, permite que dados observados e modelos sejam visualizados em dois modos: Modo planilha de dados e modo gráfico. A Figura 3.15 mostra em detalhe o elemento de interface que permite esta visualização dual.



Figura 3.15 : Elemento de interface para visualização em planilha de dados (data sheet) ou gráfica (chart).

3.1.5 - Eficiência

A observância deste princípio foi obtida com a eliminação de operações desnecessárias, entrada de dados simplificada (reduzida somente aos dados estritamente necessários ao processamento), assim como um mecanismo de visualização que evite a fadiga. Neste espírito, EGS 2000 emprega os seguintes conceitos gerais para alcançar este objetivo.

3.1.5.1 - Botão *advanced*

Devido a diversidade de níveis de habilidades e de interesse dos usuários da EGS 2000, procurou-se agrupar as propriedades dos objetos manipulados em básicas e avançadas.

As propriedades básicas são sempre visíveis e disponíveis nas janelas indispensáveis para a execução de uma determinada tarefa, enquanto que as propriedades avançadas somente são exibidas quando o usuário aciona um botão para tal fim.

Com esta distinção, evita-se que um usuário principiante tenha que configurar um conjunto muito grande de propriedades, utilizando os valores *defaults* (valores padrões previamente assumidos) das propriedades avançadas e, ao mesmo tempo, permite-se que usuários mais experientes ou exigentes possam fazer configurações finas nestas propriedades.

A Figura 3.16 ilustra a ativação de um diálogo para edição de propriedades avançadas de um modelo a partir de um botão *advanced*.

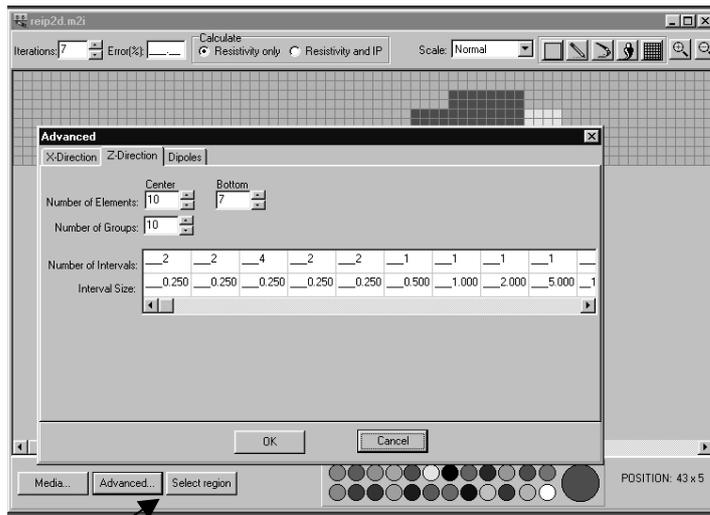


Figura 3.16: Diálogo de edição de propriedades avançadas de um modelo na EGS 2000.

3.1.5.2 - Mínimo de janelas modais

Para permitir que as diversas janelas, que porventura estejam em exibição ao usuário ao mesmo tempo, estejam disponíveis, procurou-se evitar ao máximo o emprego dos diálogos modais pois os mesmos impossibilitam que determinado arranjo de janelas, mesmo visíveis, esteja totalmente interativo, potencializando o uso eficiente da interface visual.

Em toda a EGS 2000, o uso de diálogos modais está limitado a mensagens de erros e configurações. A Figura 3.17 ilustra um conjunto de janelas empregadas em um processo de interpretação as quais ficam simultaneamente, disponíveis ao *click* do mouse do usuário.

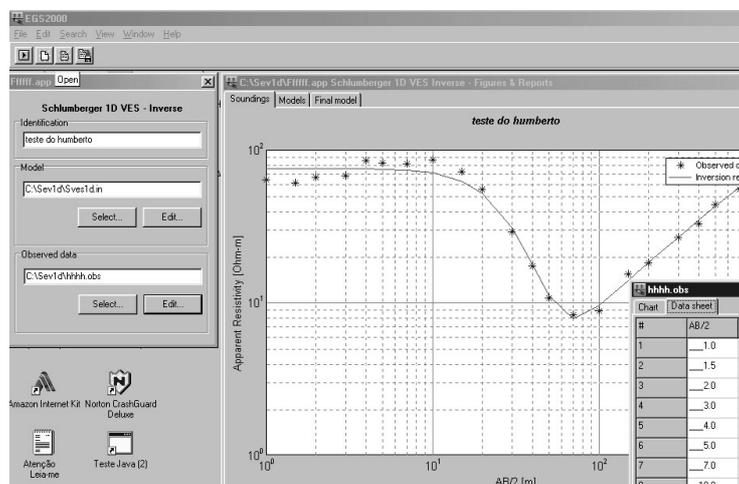


Figura 3.17: Uma interpretação auxiliada pela EGS 2000 e suas respectivas janelas associadas.

3.1.5.3 – Uso de *templates*

Para ajudar o usuário na criação de um novo objeto na EGS 2000, foi desenvolvido o conceito de *template*, o qual consiste num conjunto de valores pré-estabelecidos que serão atribuídos às propriedades do objeto que está sendo criado. A EGS 2000 é distribuída com um conjunto inicial de *templates*, porém, para melhor atender a conveniência do usuário, são fornecidos meios para criação, modificação e remoção de *templates*. A Figura 3.18 mostra diálogo utilizado para gerenciar *templates* de modelos de sondagens elétricas verticais Schlumberger 1-D.

Para tornar mais concreto o conceito aqui descrito, exemplificaremos: Um *template* para dados observados de sondagem elétrica vertical Schlumberger 1-D consiste em um conjunto de valores de $AB/2$, isto é, ao ser criado um novo arquivo de dados observados a partir de um determinado *template*, o usuário não precisa informar os valores de $AB/2$, restando somente o trabalho de digitar os valores das resistividades aparentes medidas em campo.

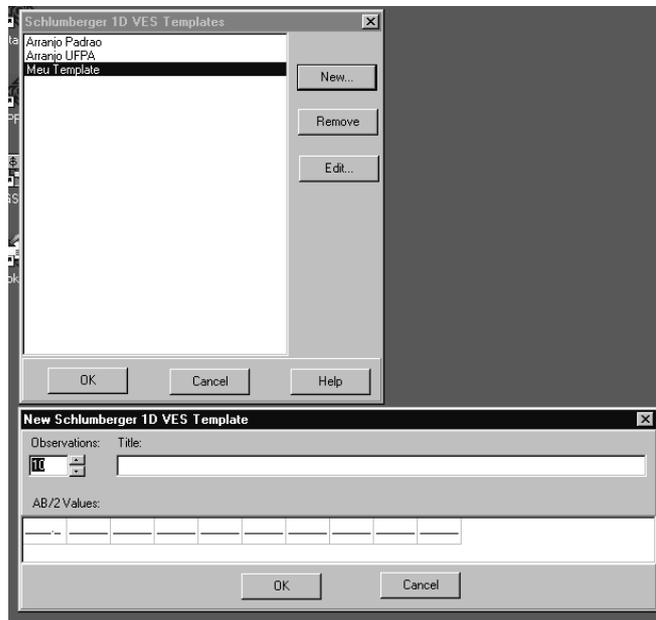


Figura 3.18: Exemplo de diálogos para o gerenciamento de *templates* na EGS 2000.

3.1.6 - Consistência

Este princípio consiste em manter as mesmas características gerais da interface em todo o aplicativo, tanto em aspectos visuais, como também comportamentais.

Apesar da EGS 2000 poder suportar um amplo espectro de métodos elétricos e eletromagnéticos, ao longo de todo o aplicativo, o usuário encontrará os mesmos conceitos, o mesmo conjunto de controles que fornecem a funcionalidade, além de seguir uma seqüência semelhante de operações para que uma dada tarefa seja executada.

3.1.7 - Tutorial

Originária da língua inglesa, a palavra *tutorial* refere-se às obrigações de um professor particular em relação aos seus alunos. Por isso, nesse contexto, *tutorial*, refere-se à capacidade que a EGS 2000 apresenta, em caso de erro do usuário, de conduzi-lo de modo instrutivo, a lograr êxito na utilização do aplicativo.

Para cumprir esta missão, em cada janela exibida pela EGS 2000, um botão de ajuda *on-line* está sempre disponível, instruindo o usuário em cada contexto sobre a correta operação, assim como uma definição precisa dos conceitos envolvidos. Além disso, mensagens auto-explicativas são exibidas em caso de erro, conduzindo o usuário ao modo certo de operar o programa. A Figura 3.19 exemplifica isto.

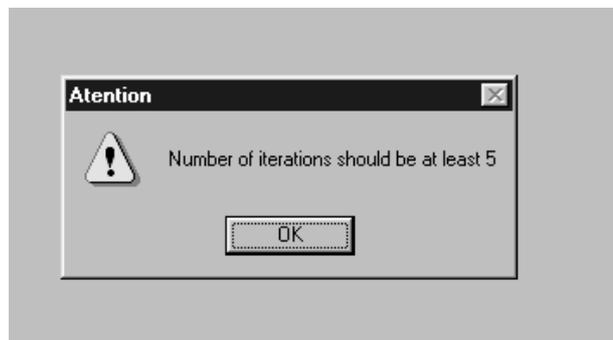


Figura 3.19: Exemplo de notificação de erro e orientação do usuário.

3.2 - ARQUITETURA

Para fornecer uma idéia sobre a EGS 2000 como produto final, segue uma descrição de sua arquitetura em termos componentes de *software* e do mecanismo de execução, isto é, como os componentes interagem para que o aplicativo atinja seu objetivo.

3.2.1 – Componentes

O gerenciamento da EGS 2000, juntamente com os serviços fornecidos pelas classes que implementam a interface (pré e pós-processamentos) e armazenamento persistente dos objetos, foram empacotados em um único executável para MS-Windows.

Por outro lado, os programas FORTRAN que obtêm as soluções dos modelos diretos por elementos finitos ou equações integrais ou que contêm os algoritmos de inversão foram compilados e convertidos em DLL (Dynamic-link libraries), as quais são módulos executáveis que são ligados dinamicamente ao programa principal sempre que o mesmo precisa ativar algum procedimento contido em alguma destas bibliotecas.

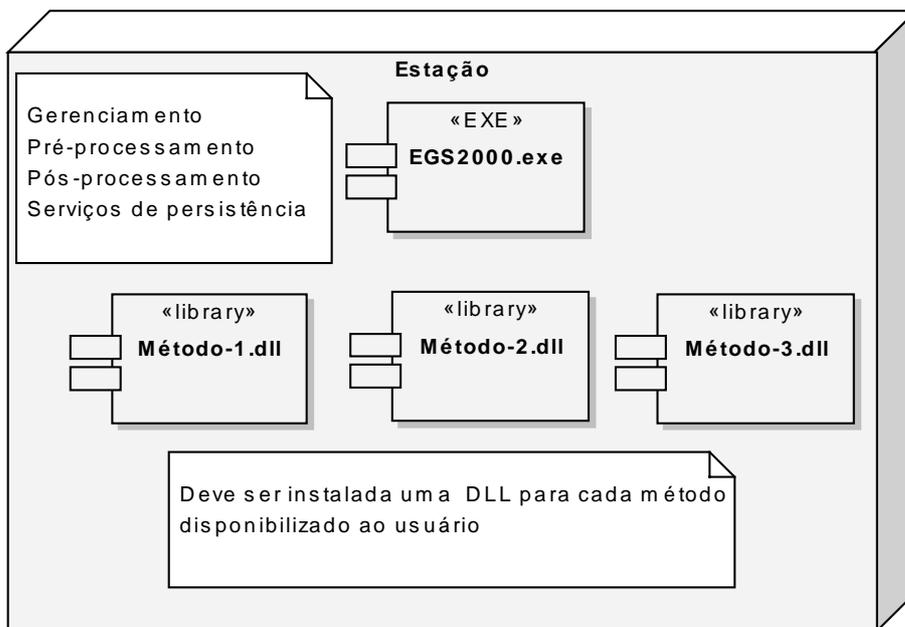


Figura 3.20: Componentes da EGS 2000.

Existe um programa FORTRAN (e portanto uma DLL) para cada método elétrico ou eletromagnético disponível, os quais não precisam estar todos instalados no computador do usuário. Um usuário que utilize, por exemplo, somente sondagens elétricas verticais Schlumberger modelo direto, precisará unicamente da respectiva DLL para utilizar satisfatoriamente a EGS 2000. O processo de instalação se encarrega de perguntar ao usuário quais os métodos que serão utilizados e somente instala os componentes necessários. A Figura 3.20 ilustra esta estrutura.

3.2.2 – Mecanismo de execução

Como os métodos numéricos e algoritmos de inversão que se encontram implementados nos programas FORTRAN são bastante estáveis, robustos e confiáveis, esta reutilização deu-se de modo a proporcionar o menor impacto na estrutura de tais programas e, por esta razão, os mesmos continuaram a ler e escrever dados em dispositivos sequenciais, isto é, em arquivos texto. Desta forma, quando o módulo gerencial necessita ativar um procedimento FORTRAN o mesmo passa os parâmetros em um arquivo e recebe o resultado da ativação em um ou mais arquivos textos.

Com a finalidade de otimizar a utilização dos recursos de processamento, cada ativação aqui descrita, cria uma *thread*, ou seja uma linha ou processo de execução gerenciado de forma independente pelo sistema operacional, possibilitando que o usuário continue a interagir com a interface enquanto algum processamento mais sofisticado, tal como um algoritmo de inversão, ocorra em plano secundário. O emprego de *threads* também foi motivado para explorar o paralelismo oferecido por algumas arquiteturas multi-processadas comercialmente disponíveis. A Figura 3.21 esquematiza uma sequência de ativações com 3 *threads* e suas respectivas leituras e gravações em arquivos textos.

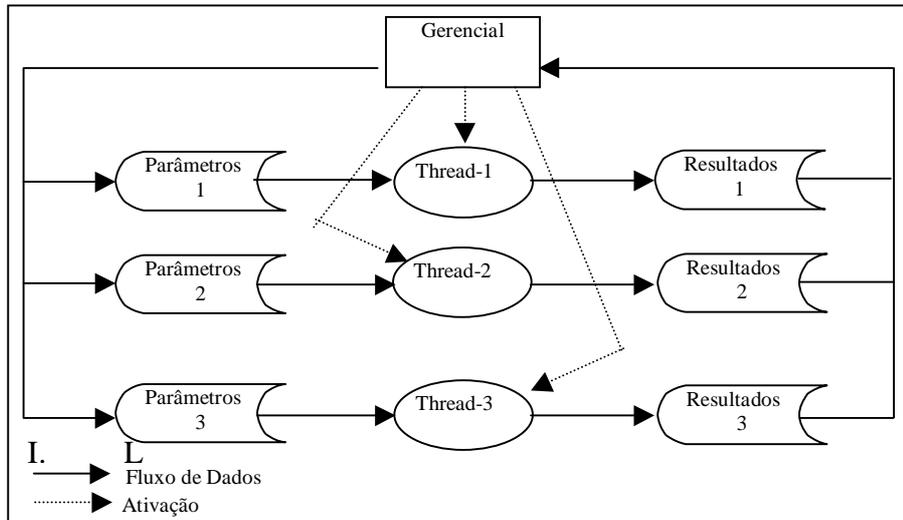


Figura 3.21: O processo de ativação de *threads* na EGS 2000.

4 – APLICAÇÕES

O objetivo deste capítulo é mostrar a facilidade da EGS 2000 no trato da modelagem e interpretação geofísicas. Três exemplos típicos de aplicações foram escolhidos: Inversão de dados de uma sondagem elétrica vertical Schlumberger em um meio unidimensional estratificado.

Modelagem de dados de resistividade e polarização induzida devido a uma estrutura bidimensional.

Para efeito de comparação com os resultados do segundo exemplo, analisa-se a resposta de resistividade e polarização induzida de uma estrutura tridimensional.

As seções seguintes, descrevem cada exemplo selecionado para este trabalho.

4.1 – EXEMPLO 1 - INVERSÃO UNIDIMENSIONAL

Neste exemplo mostra-se como é feita a inversão de dados geofísicos com a EGS 2000. Para isso são usados dados observados de uma sondagem elétrica vertical Schlumberger (Rijo, 1992).

O primeiro passo é definir a aplicação e em seguida entrar com os dados observados. Isto é feito, como já foi dito no capítulo 3, usando-se a janela que especifica a aplicação e a janela de entrada de dados como mostra a Figura 4.1 (à esquerda o modelo e à direita os dados observados).

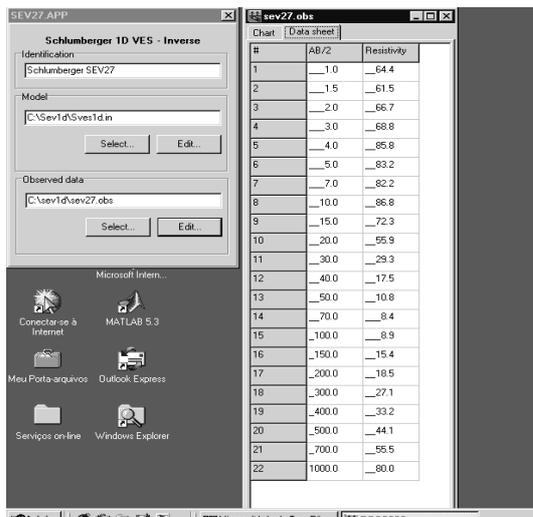


Figura 4.1: Janelas para definição da aplicação e entrada dos dados observados associados à inversão. exemplificada

Concluída a entrada dos dados observados, a próxima etapa é fornecer o modelo inicial, o número máximo de iterações e a tolerância de ajuste do processo de inversão. O modelo inicial contém o número de camadas do modelo e as respectivas resistividades e espessuras de cada camada. Também, podem ser inseridas as informações a priori sobre os parâmetros a serem vinculados. Tudo isso é feito através de um conjunto de duas janelas como mostra a Figura 4.2.

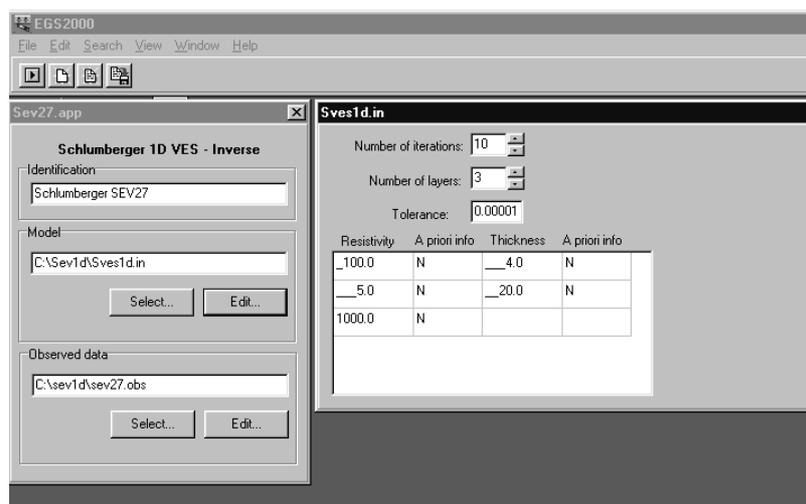


Figura 4.2: Janelas para edição da aplicação e do modelo

Concluída a etapa de entrada de dados, o modelo está pronto para ser executado. Para tanto, basta acionar o comando *Run* no menu *pull-down* associado à aplicação. Instantaneamente,

a EGS 2000 exibe uma janela mostrando o modelo que melhor se ajusta aos dados observados. Como já foi dito no capítulo anterior, a EGS 2000 contém as facilidades de exibição gráfica dos resultados, portanto, não sendo necessário usar outros aplicativos para essa finalidade, como MATLAB por exemplo. A Figura 4.3 mostra o ajuste do modelo com os dados observados.

Como se pode observar o ajuste é perfeito e revela claramente a tendência do ajuste por mínimos quadráticos. O algoritmo usado é uma variação de Marquart.

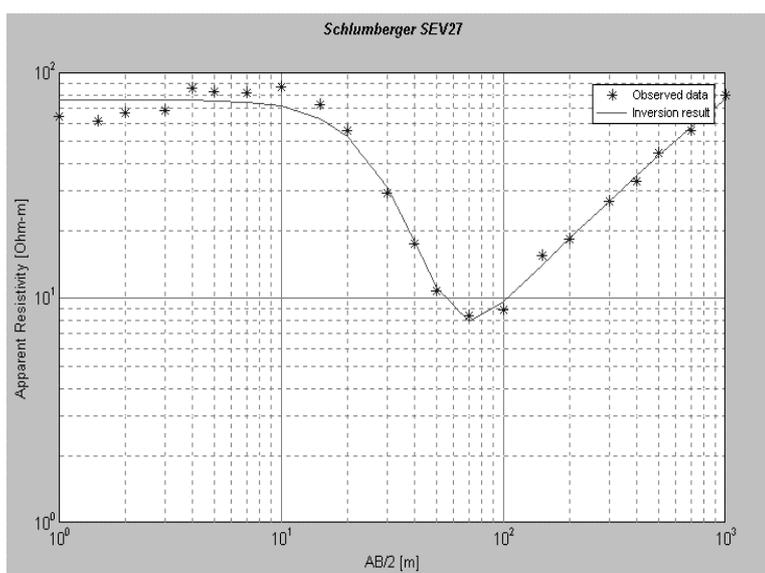


Figura 4.3: Gráfico para comparação entre efeito do modelo obtido por inversão (inversion result) e os dados observados (observed data).

A EGS 2000 também mostra a comparação entre os gráficos do modelo inicial e do modelo proposto pela inversão dos dados. Na Figura 4.4, abaixo, a linha azul indica o modelo inicial e a linha vermelha representa o modelo final fornecido pelo processo de inversão.

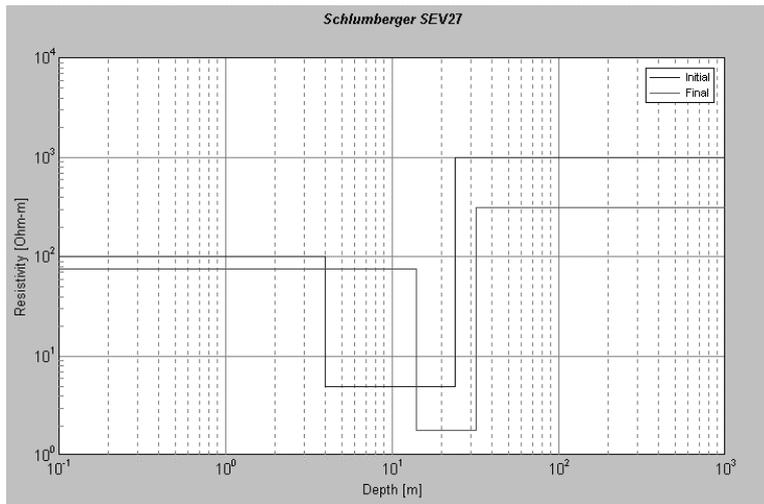


Figura 4.4: Gráfico contendo os dois modelos, inicial e final, associados ao processo de inversão.

Além dos gráficos da Figura 4.4, a EGS 2000 exibe os valores dos parâmetros (resistividades e espessuras) do modelo final, como ilustrado na Figura 4.5, a seguir.

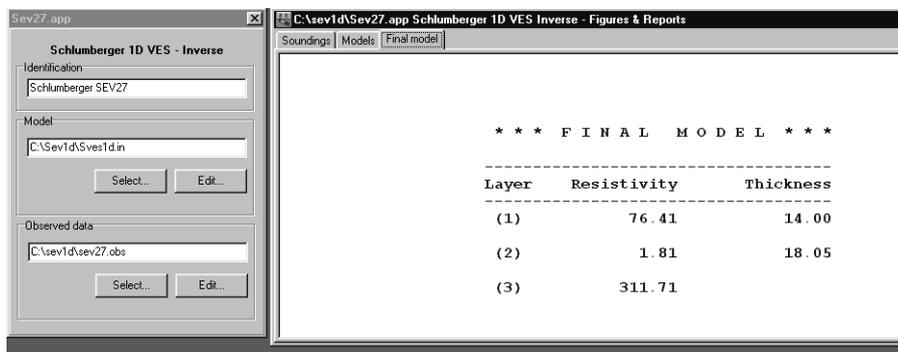


Figura 4.5: Janela para visualização das propriedades do modelo final obtido.

O exemplo de inversão de dados de sondagens elétricas verticais Schlumberger, que acabamos de ver, é típico para modelos unidimensionais. Proceda-se da mesma forma com dados magnetotelúricos e eletromagnéticos.

4.2 - EXEMPLO 2 - MODELAGEM BIDIMENSIONAL

Neste segundo exemplo será apresentado um caso típico de modelagem bidimensional usando-se o método dos elementos finitos (Rijo, 1977, 1992) e (Pelton et al, 1978). Uma das dificuldades deste método é a entrada no computador de dados da malha de elementos finitos e, também, das informações sobre as propriedades elétricas do meio a ser modelado. A EGS 2000 oferece, entretanto, uma interface gráfica amigável que facilita sobremaneira o processo de entrada de dados.

A título de ilustração vamos calcular as pseudo-seções de resistividade e polarização induzida obtidos com arranjo bipolo-bipolo para o modelo de um corpo bidimensional mineralizado (Rijo, 1992), em que as propriedades elétricas (resistividade e PFE) serão representadas pelas cores mostradas na Tabela 4.1. As unidades dimensionais do modelo mostradas de modo esquemático na Figura 4.6, são proporcionais ao comprimento do dipolo usado no caminhamento bipolo-bipolo (Por exemplo, $a = 100$ m).

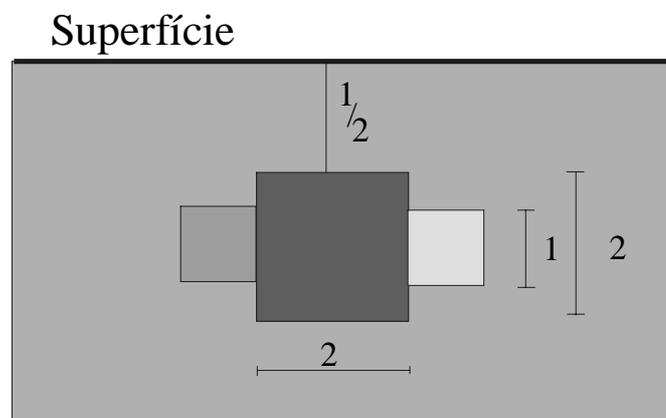


Figura 4.6. Visão esquemática de modelo bidimensional da subsuperfície. Os valores $\frac{1}{2}$, 1 e 2 referem-se a dimensões, e são proporcionais à separação dos eletrodos usados na obtenção das medidas.

Tabela 4.1, Correspondência entre as propriedades elétricas dos meios e as cores que representam o modelo bidimensional exemplificado.

Identificação dos meios	Resistividade (ohm-m)	PFE (%)
	1000	0
	10	30
	50	10
	20	5

Ao modelar uma estrutura qualquer, é disponibilizado ao usuário o editor de malhas de elementos finitos da EGS 2000 com o qual, ele constrói amigavelmente o modelo desejado. Por exemplo, a Figura 4.7 abaixo ilustra a malha do modelo apresentado na Figura 4.6. É importante enfatizar que com esse editor de malha é possível desenhar qualquer estrutura geológica bidimensional com simples *clicks* do mouse.

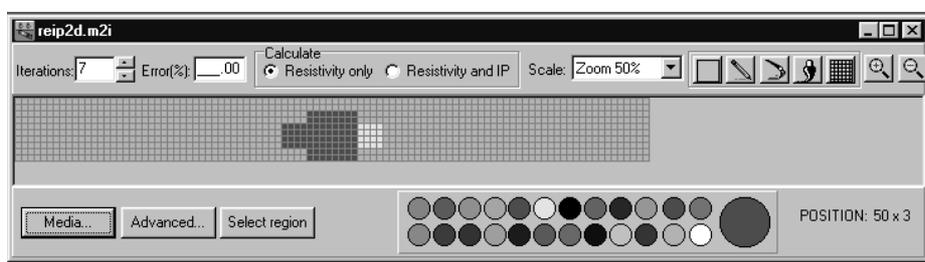


Figura 4.7: Ilustração do editor de malha de elementos finitos.

Tendo construído a malha, a próxima etapa é informar os valores das propriedades elétricas (resistividade e PFE) de cada meio que compõe o modelo. Isto é feito via a janela de diálogo mostrada na Figura 4.8.

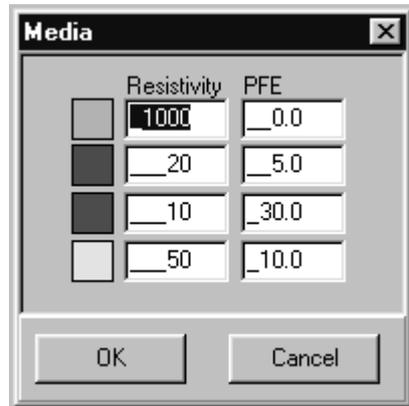
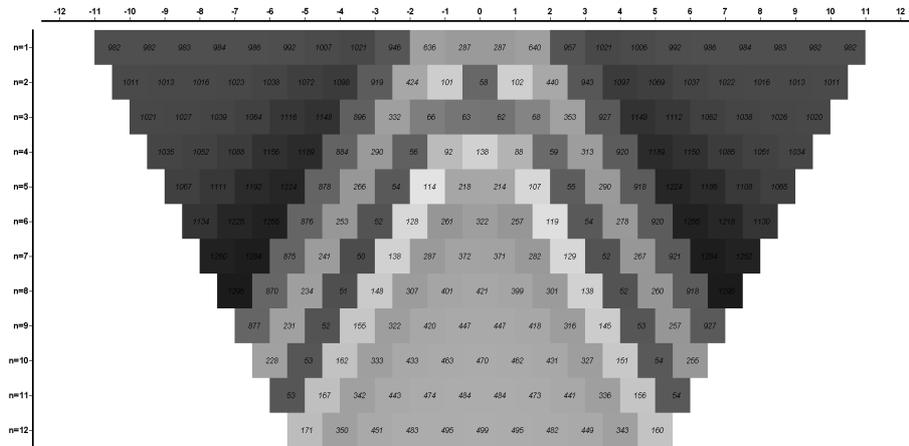
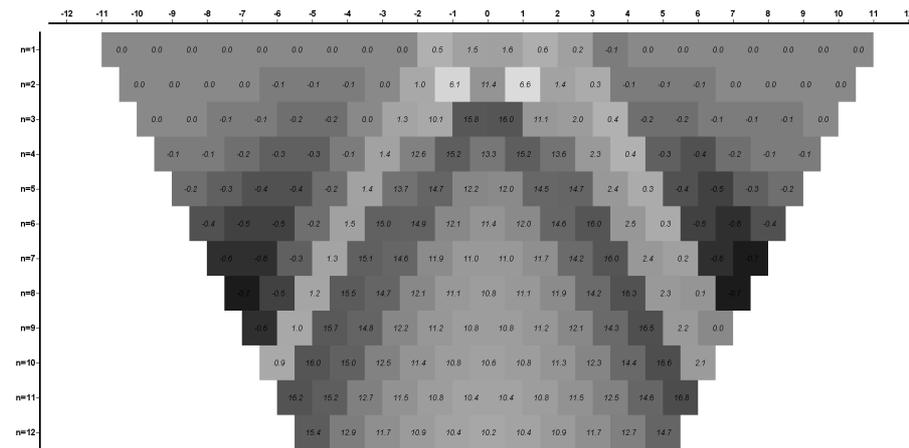


Figura 4.8: Propriedades elétricas de cada meio que compõe o modelo bidimensional.

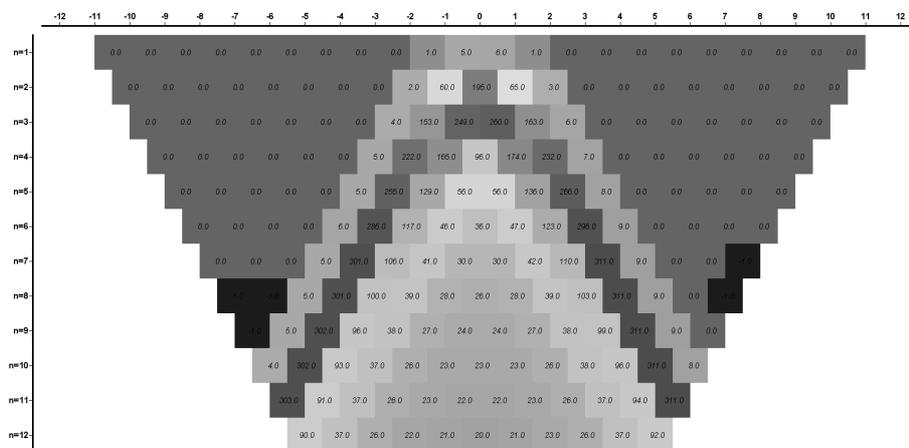
Terminada esta etapa, a aplicação está pronta para ser executada. Com um simples acionamento do comando *Run*, a EGS 2000 automaticamente fornece as pseudo-seções de resistividade aparente, PFE e fator metálico. A Figura 4.9 mostra essas três pseudo-seções correspondentes ao modelo do corpo mineralizado da Figura 4.6.



(A)



(B)



(C)

Figura 4.9. Pseudo-seções de (a) resistividade, (b) PFE e (c) Fator metálico.

4.3 - EXEMPLO 3- MODELAGEM TRIDIMENSIONAL

Finalmente, neste último exemplo mostra-se a facilidade de modelar uma estrutura tridimensional. Para isso considera-se um corpo mineralizado dentro do mesmo enfoque do exemplo anterior. Mas, desta feita, a direção (*strike*) da estrutura tem dimensão finita, ao contrário do modelo anterior de dimensão infinita.

Se a entrada de dados, pelos métodos tradicionais de malhas bidimensionais de elementos finitos já é bastante trabalhosa (como na antiga EGSLIB), imagine a dificuldade de entrar com uma malha tridimensional como a apresentada na Figura 4.10 abaixo.

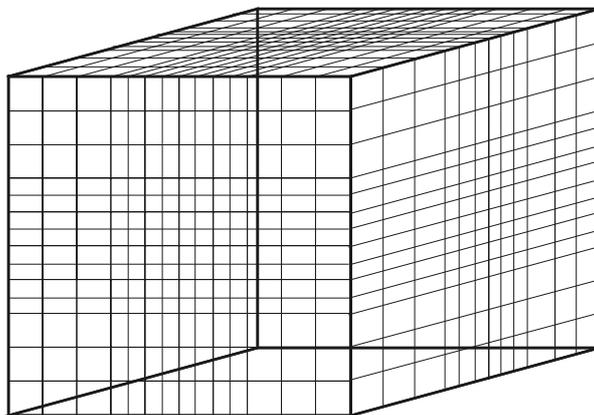


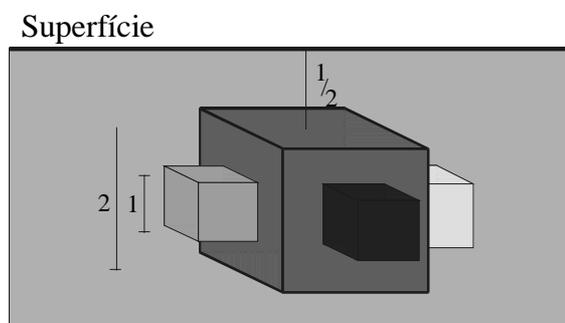
Figura 4.10. Malha tridimensional de elementos finitos.

O traçado em si da malha retangular ilustrada na Figura 4.10 não é o problema principal. A dificuldade é associar as propriedades elétricas de uma estrutura complexa dentro da malha. Em outras palavras, é imensamente trabalhoso construir um corpo de geometria complexa dentro de uma malha tridimensional.

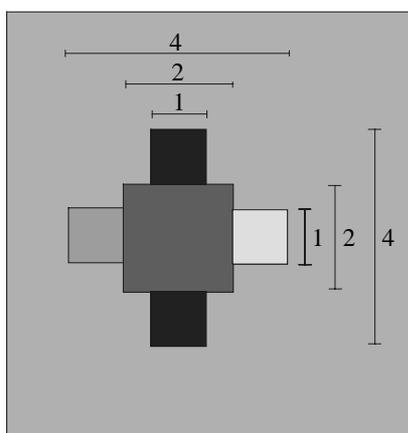
A exemplo do modelo bidimensional, o editor de malhas da EGS 2000 facilita a construção de malhas tridimensionais. Isto é feito subdividindo a malha tridimensional em fatias bidimensionais. Com esse processo cartesiano é possível construir qualquer malha tridimensional sem nenhum problema.

À guisa de ilustração vamos calcular as pseudo-seções de resistividade e polarização induzida obtidas com o arranjo bipolo-bipolo para modelo de um corpo tridimensional mineralizado (Rijo, 1984). A Figura 4.11 abaixo, ilustra a geometria do corpo em questão. As

unidades dimensionais, $\frac{1}{2}$, 1, 2 e 4, mostradas na figura, são proporcionais ao comprimento do dipolo (por exemplo $a = 100$ m).



(a)

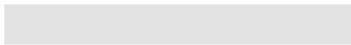


(b)

Figura 4.11. Modelo de um corpo tridimensional. (a) Visão espacial, (b) Planta baixa. Os valores $\frac{1}{2}$, 1, 2 e 4 são unidades dimensionais proporcionais à separação dos eletrodos usados na coleta dos dados.

As propriedades elétricas de cada parte do corpo estão representadas na Tabela 4.2 por meio da associação das cores com os valores efetivos das resistividades e PFE.

Tabela 4.2: Correspondência entre as propriedades elétricas dos meios e as cores que representam o modelo tridimensional exemplificado.

Identificação dos meios	Resistividade (ohm-m)	PFE (%)
	1000	0
	10	30
	50	10
	20	5
	100	20

Como mencionado acima, a malha tridimensional é subdividida em grupos de fatias bidimensionais. Cada grupo representa uma seção transversal a uma direção preferencial do corpo (Figura). No caso do corpo em análise, explorando a simetria, os quatro grupos de fatias, estão representadas nas figuras 4.12 a 4.18.

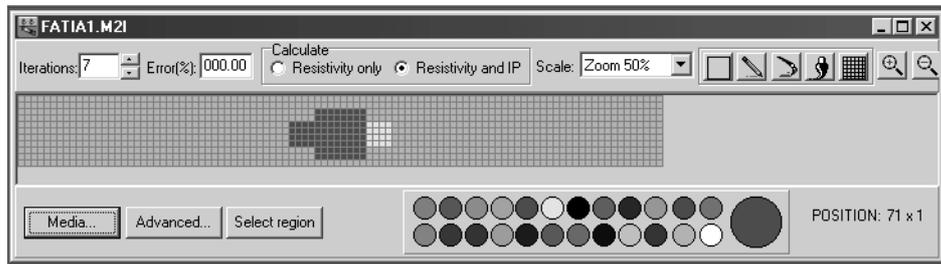


Figura 4.12: Fatia do primeiro grupo.

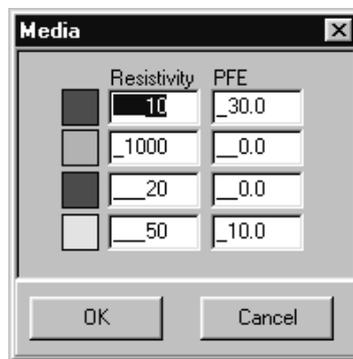


Figura 4.13: Propriedade elétrica de cada meio que compõe o primeiro grupo.

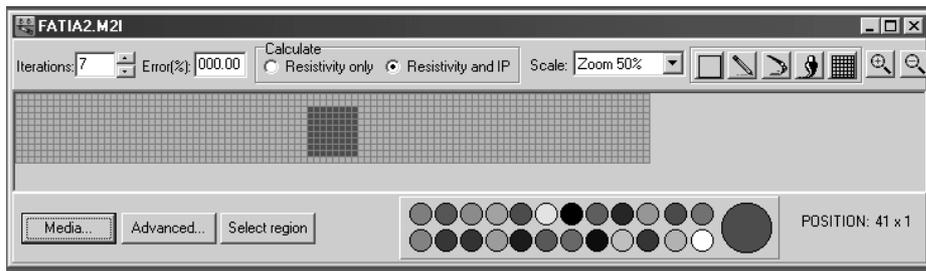


Figura 4.14: Fatia do segundo grupo

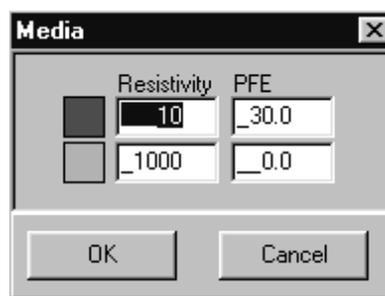


Figura 4.15: Propriedades elétricas de cada meio que compõe o segundo grupo.

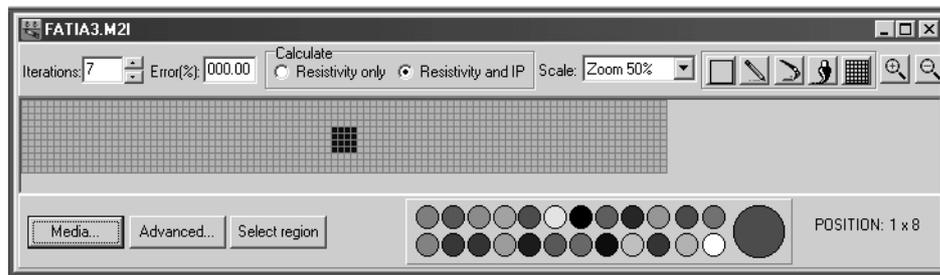


Figura 4.16: Fatia do terceiro grupo.

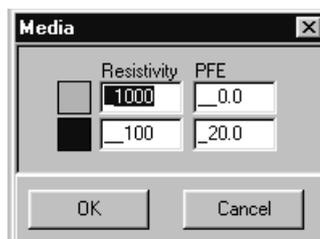


Figura 4.17: Propriedades elétricas de cada meio que compõe o terceiro grupo

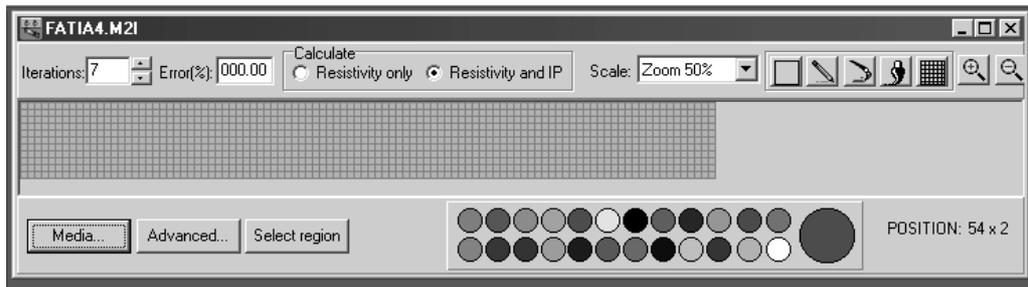


Figura 4.18:Fatia do quarto grupo.

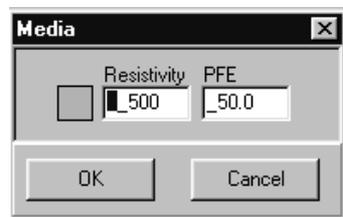
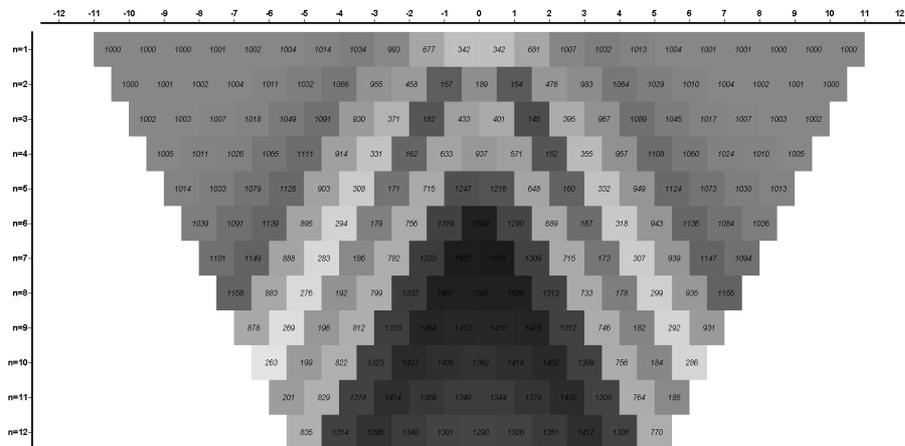


Figura 4.19: Propriedades elétricas do único meio que compõe o quarto grupo.

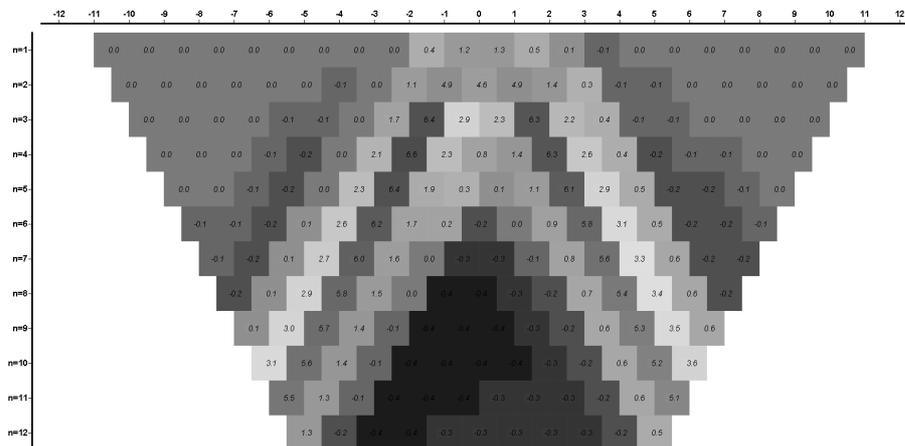
Note que o último grupo de fatias corresponde ao meio encaixante sem a presença do corpo. As propriedades de cada fatia são fornecidas pelas caixas de diálogo.

Concluída a construção da malha de elementos finitos, o modelo está pronto para ser executado. Como nos casos anteriores, acionando-se o comando *Run* e em seguida a EGS 2000 exibe, através de sua interface com o usuário, as pseudo-seções correspondentes aos caminhamentos paralelos à direção do *strike* distanciados um do outro por uma unidade de dipolo.

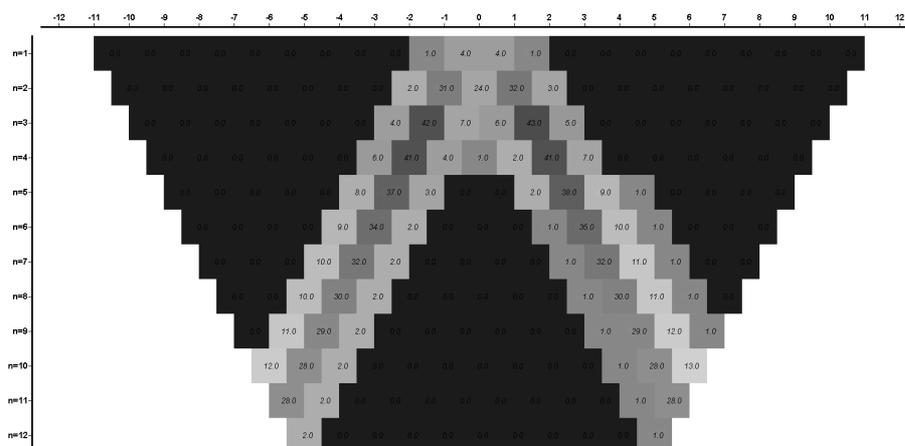
As dez Figuras, 4.20 a 4.29, apresentadas a seguir ilustram as pseudo-seções de resistividade aparente, PFE e Fator metálico em cada linha de caminhamento ao longo do *strike* do corpo. Denominamos de linha de caminhamento 0 a que passa no centro do corpo; as demais são numeradas sequencialmente, de acordo com a distância do centro do corpo em unidades de dipolo.



(A)

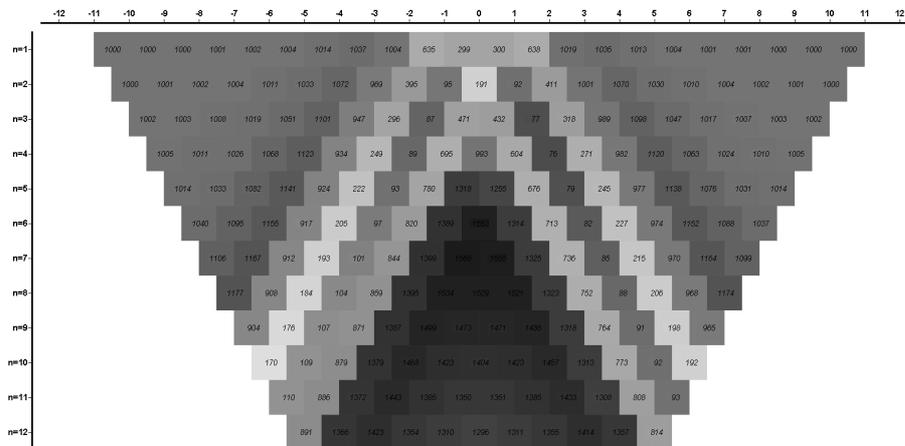


(B)

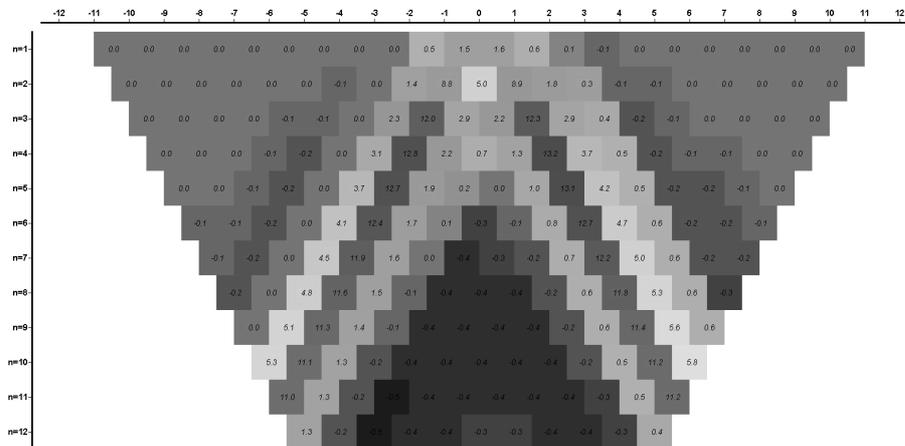


(C)

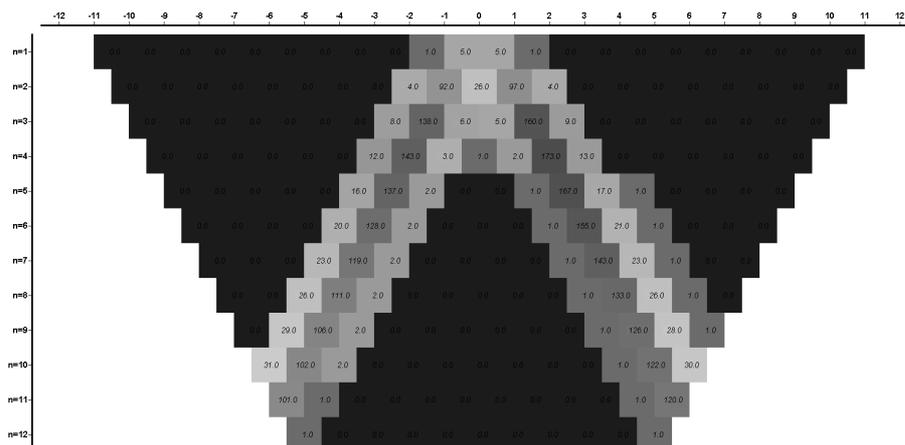
Figura 4.20: Pseudo-seções de (a) resistividade, (b) PFE e (c) Fator metálico da linha 0.



(A)

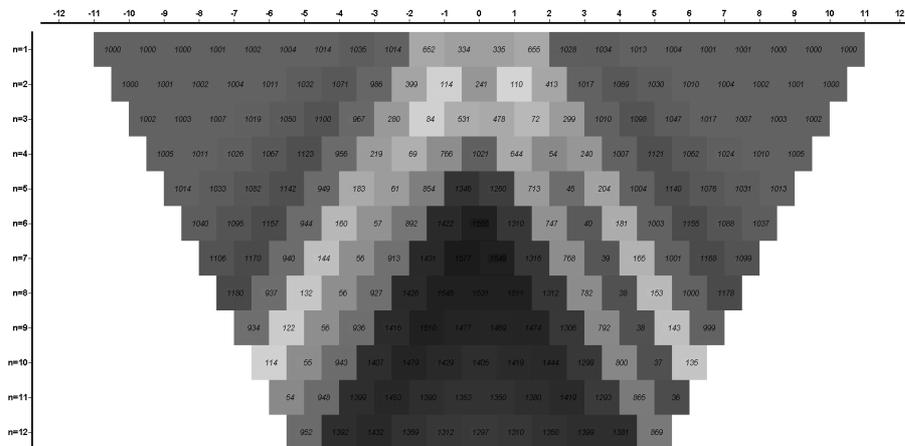


(B)

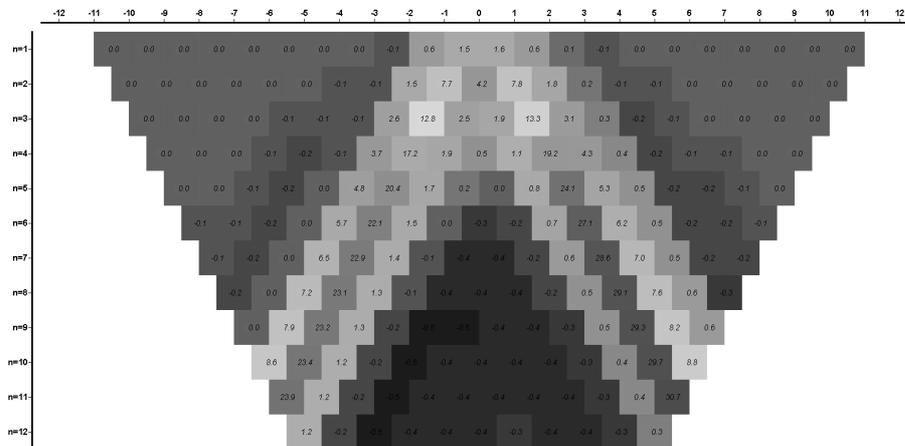


(C)

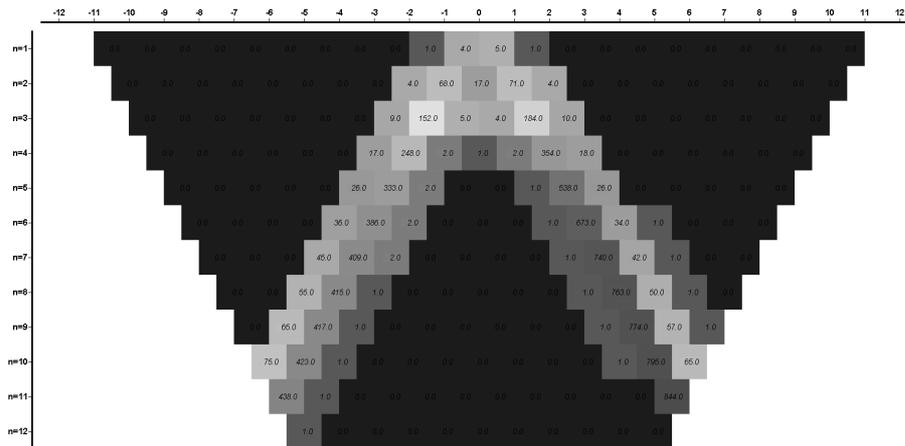
Figura 4.21: Pseudo-seções de (a) resistividade, (b) PFE e (c) Fator metálico da linha 1, situada à distância de um comprimento do dipolo da linha 0.



(A)

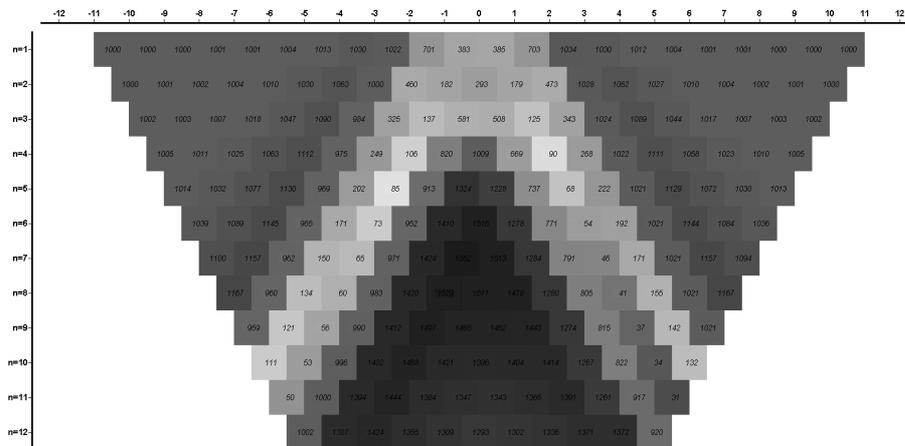


(B)

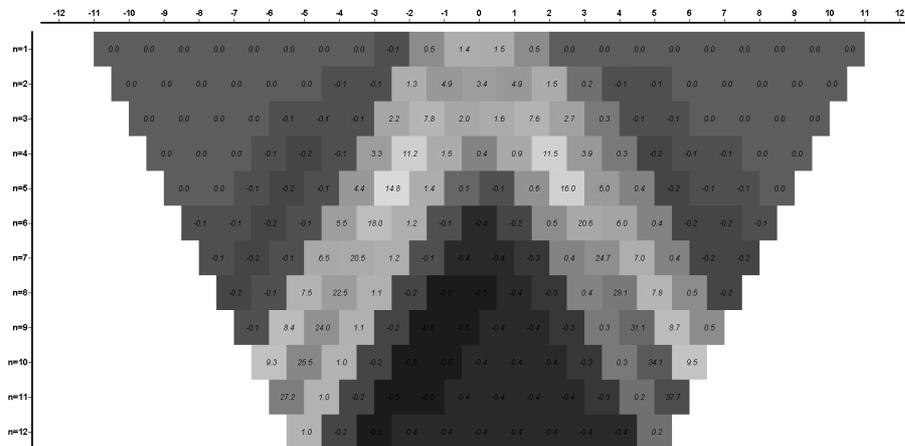


(C)

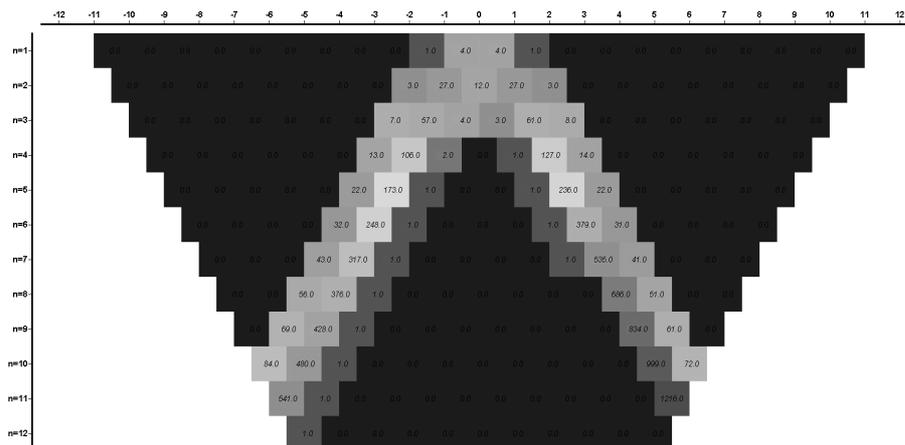
Figura 4.22: Pseudo-seções de (a) resistividade, (b) PFE e (c) Fator metálico da linha 2, situada a distância de 2 comprimentos do dipolo da linha 0.



(A)

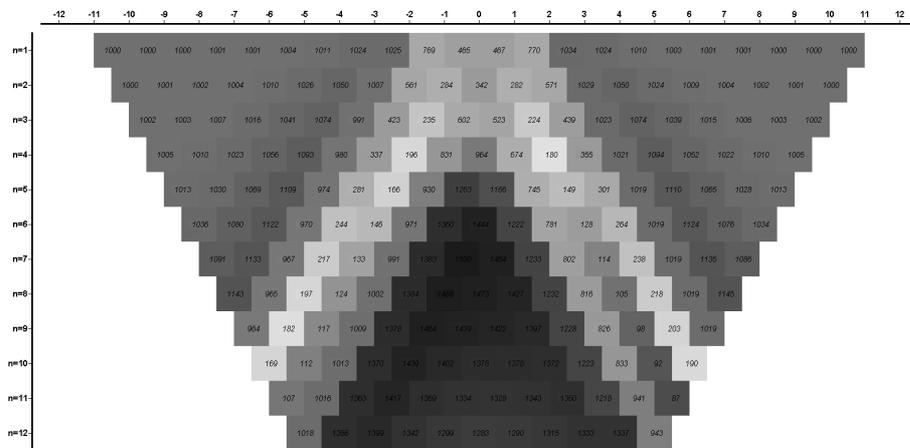


(B)

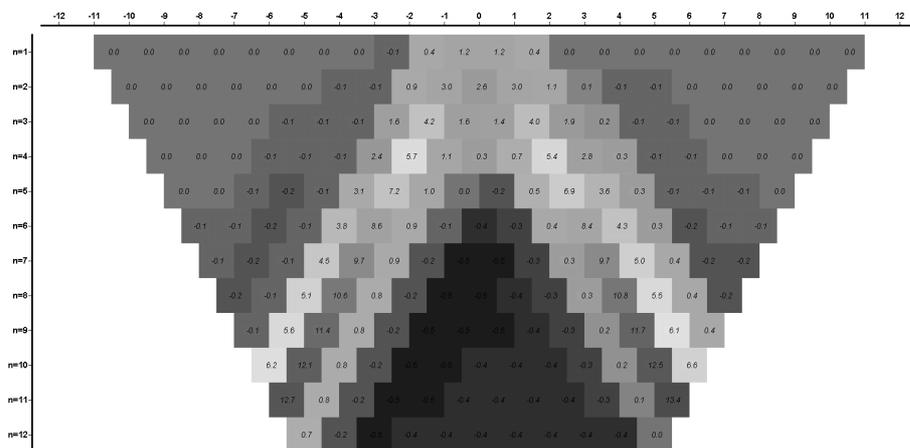


(C)

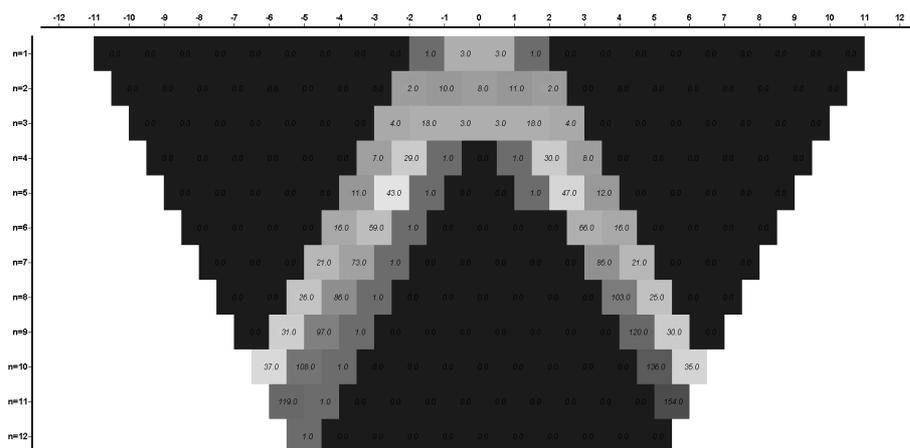
Figura 4.23: Pseudo-seções de (a) resistividade, (b) PFE e (c) Fator metálico da linha 3, situada à distância de 3 comprimentos do dipolo da linha 0.



(A)

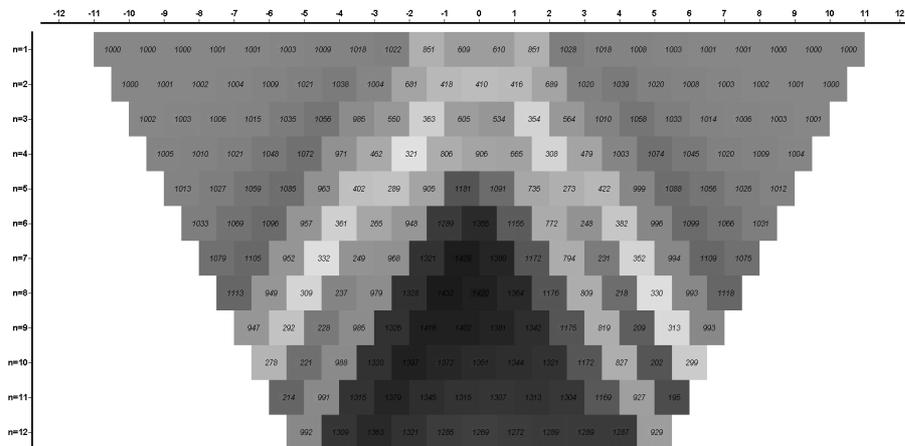


(B)

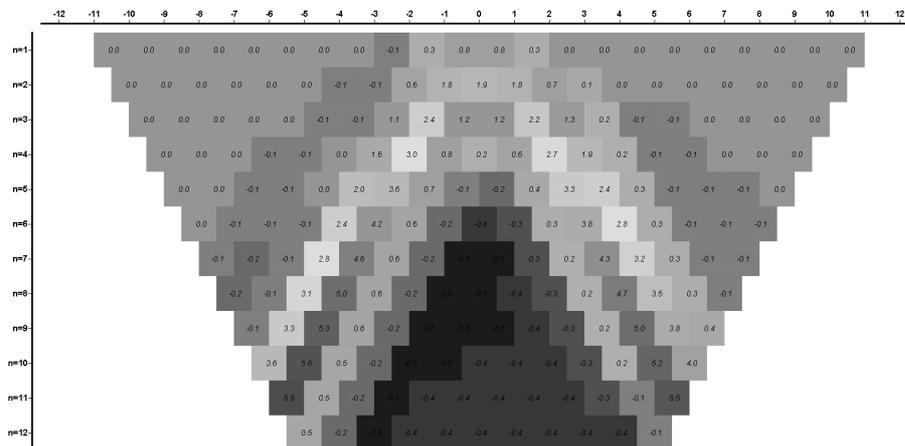


(C)

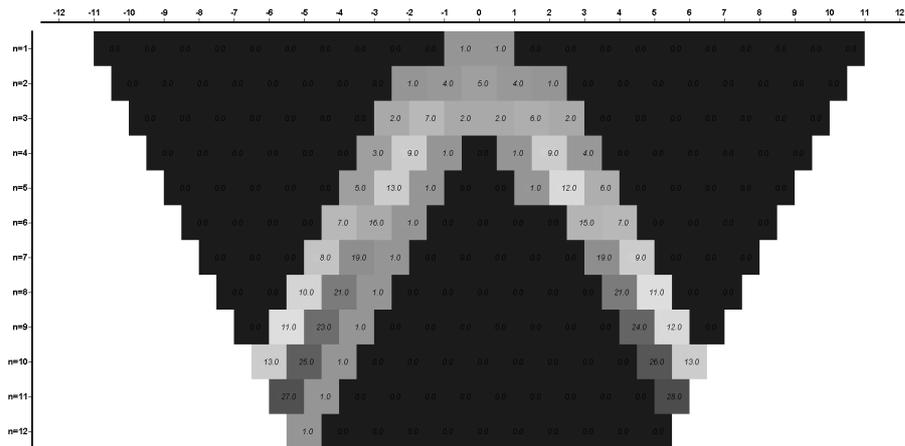
Figura 4.24 Pseudo-seções de (a) resistividade, (b) PFE e (c) Fator metálico da linha 4, situada à distância de 4 comprimentos do dipolo da linha 0.



(A)

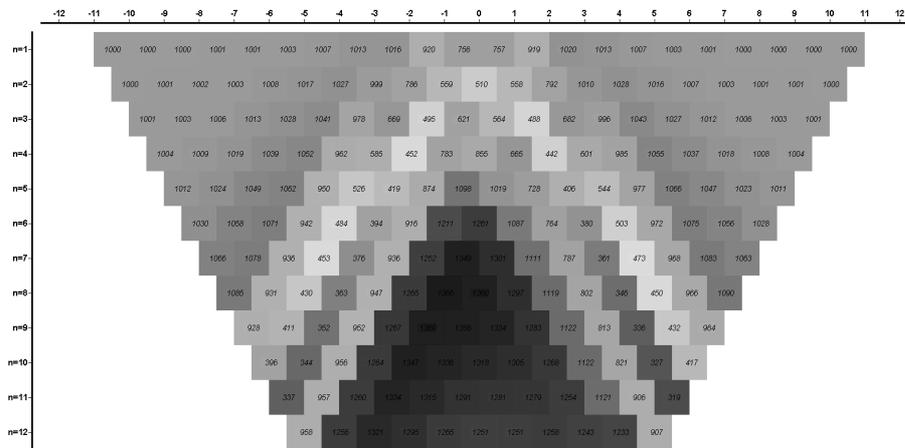


(B)

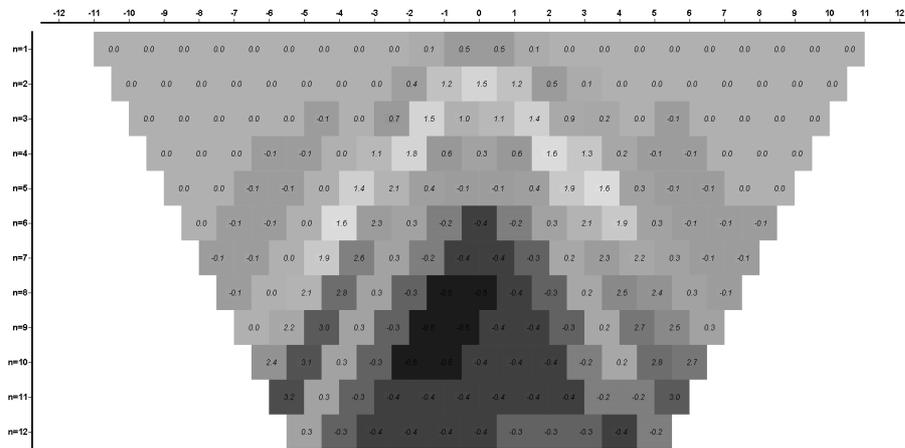


(C)

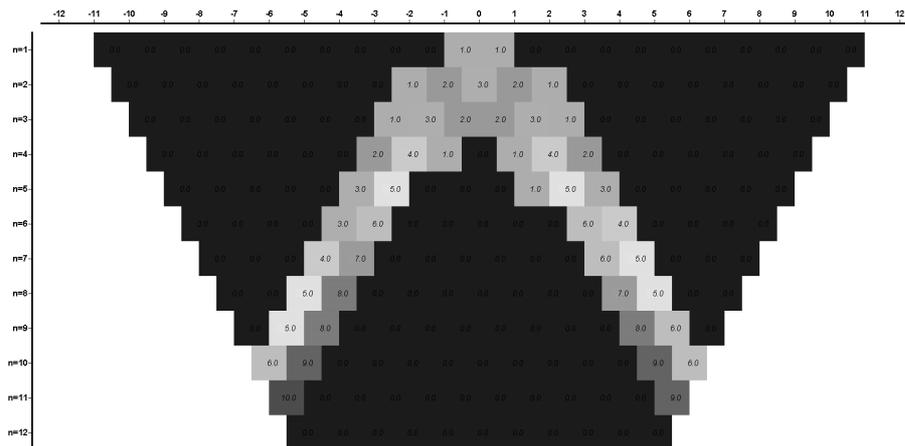
Figura 4.25: Pseudo-seções de (a) resistividade, (b) PFE e (c) Fator metálico da linha 5, situada à distância de 5 comprimentos do dipolo da linha 0.



(A)

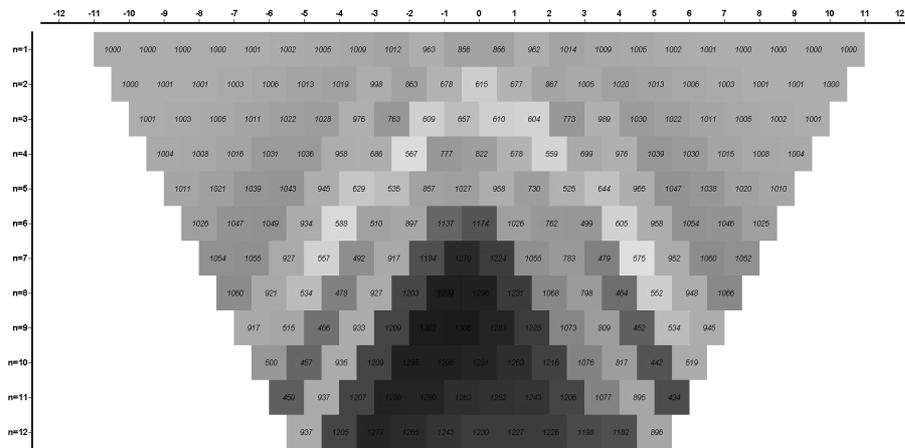


(B)

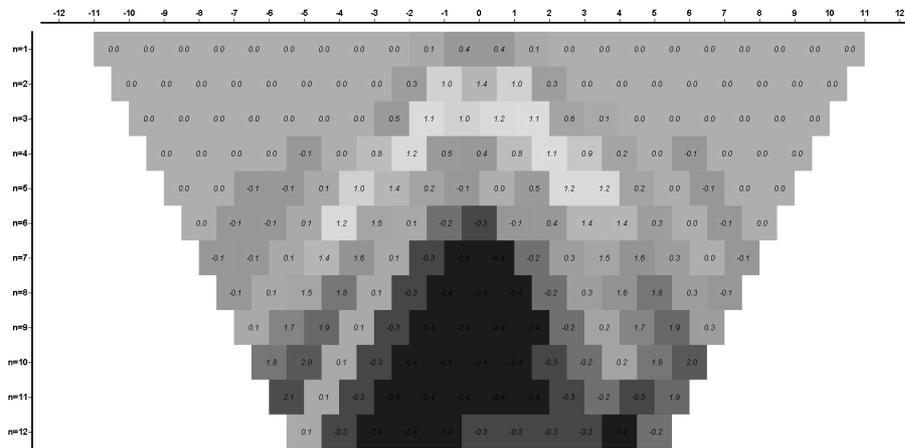


(C)

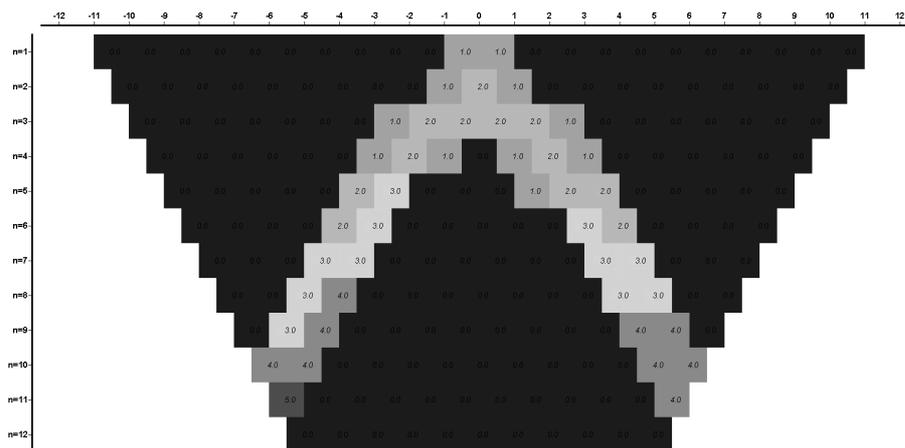
Figura 4.26: Pseudo-seções de (a) resistividade, (b) PFE e (c) Fator metálico da linha 6, situada à distância de 6 comprimentos do dipolo da linha 0.



(A)

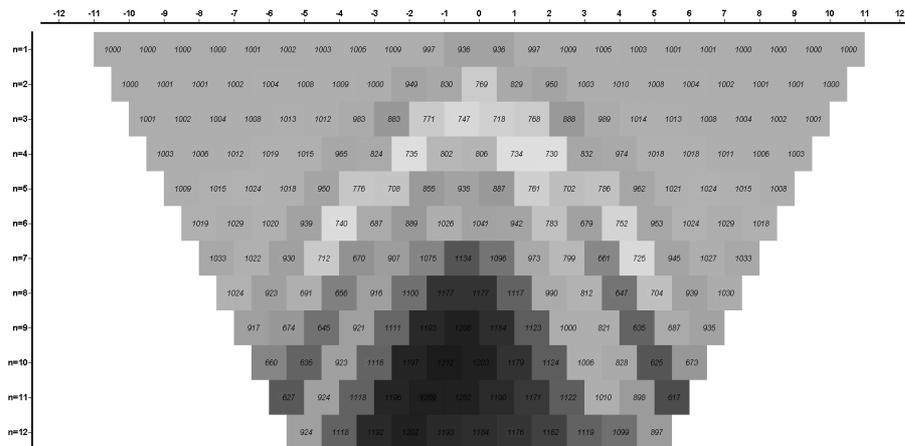


(B)

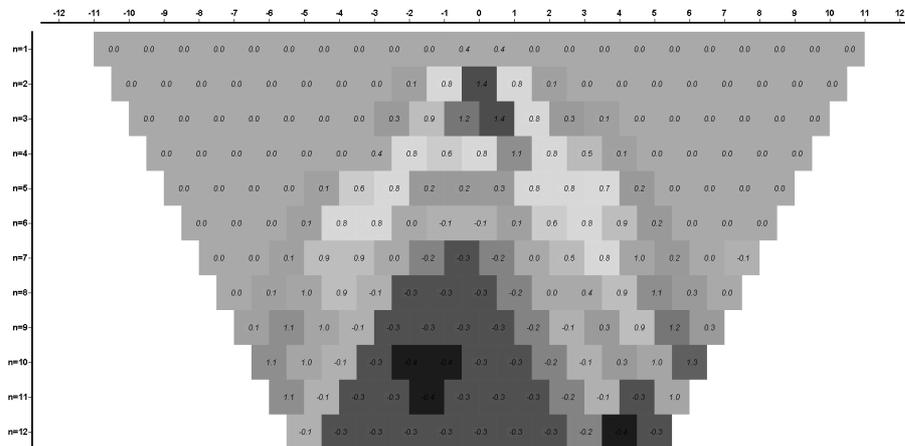


(C)

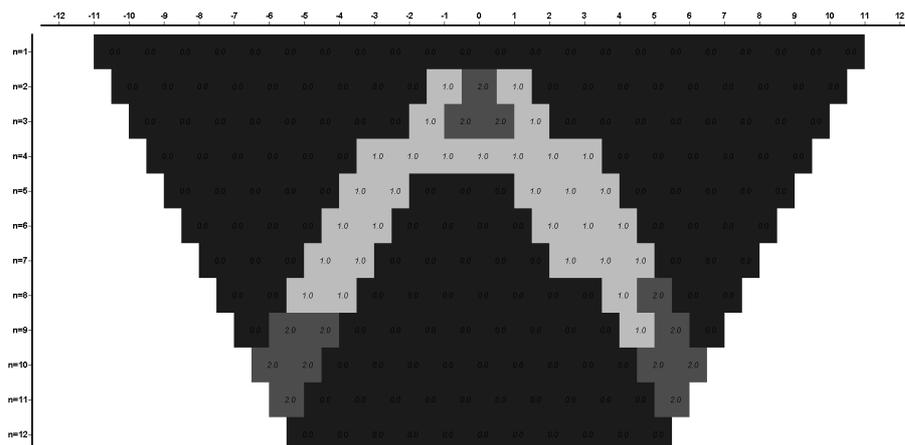
Figura 4.27: Pseudo-seções de (a) resistividade, (b) PFE e (c) Fator metálico da linha 7, situada à distância de 7 comprimentos do dipolo da linha 0.



(A)

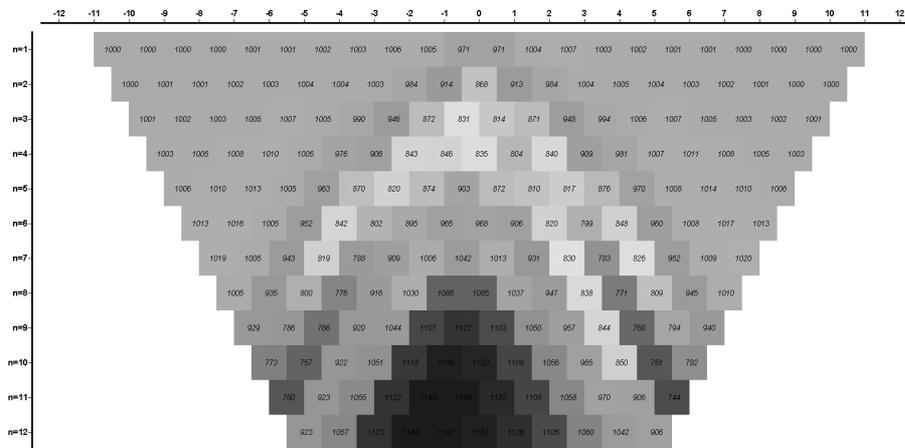


(B)

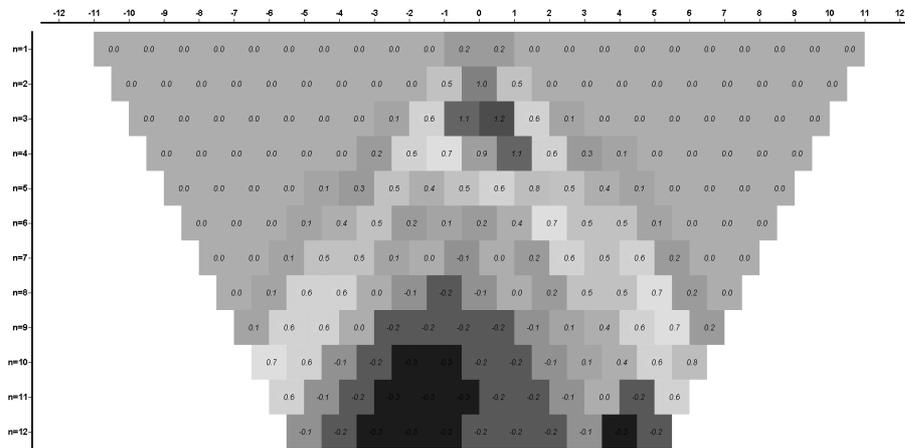


(C)

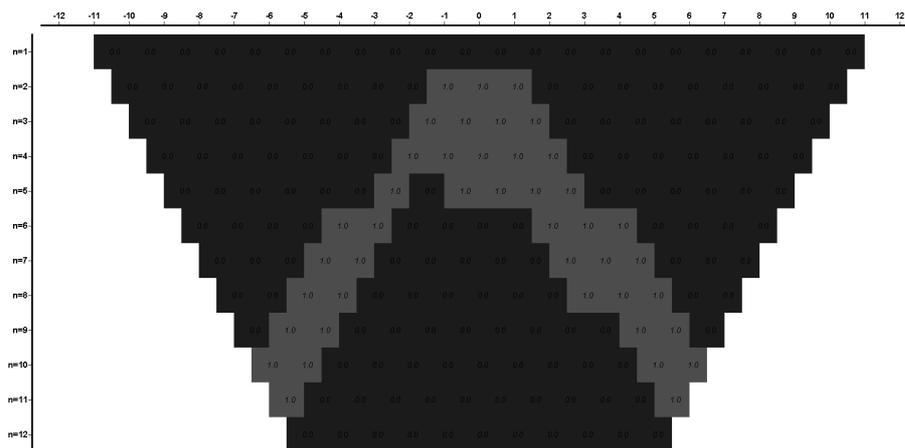
Figura 4.28: Pseudo-seções de (a) resistividade, (b) PFE e (c) Fator metálico da linha 8, situada à distância de 8 comprimentos do dipolo da linha 0.



(A)



(B)



(C)

Figura 4.29: Pseudo-seções de (a) resistividade, (b) PFE e (c) Fator metálico da linha 9, situada à distância de 9 comprimentos do dipolo da linha 0.

5 – CONCLUSÕES

A criação de uma software que forneça uma ferramenta de auxílio à modelagem e interpretação de dados geofísicos voltada para MS-Windows, através de um conveniente processo de desenvolvimento centrado em uma arquitetura que permita um alto grau de aproveitamento de programas FORTRAN já robustos e confiáveis, é um esforço válido para propiciar uma utilização prática dos resultados teóricos obtidos nas universidades e institutos de pesquisa.

Além disso, o intercâmbio de programas de computação científica no meio acadêmico, se dá através de programas e rotinas em FORTRAN, decorrendo deste fato a acumulação de grande acervo de soluções já maduras, as quais terão seu aproveitamento comprometido se iniciativas desta natureza não forem levadas a cabo.

A adoção de preceitos de engenharia de *software* atuais, em conjunto com a observância de princípios de projeto e padrões de interface já consagrados, pode levar-nos à construção de *softwares* que podem servir como paradigma para a construção de outros produtos similares.

Os ensaios elaborados, cobrindo exemplos típicos dos métodos elétricos e eletromagnético, em uma, duas e três dimensões, mostraram-nos que, auxiliadas por computador, modelagens e interpretações alcançam um nível de produtividade e versatilidade jamais alcançados pelas ferramentas de outrora, isso porque os diversos modelos podem ser armazenados e recuperados e seus comportamentos teóricos comparados com dados observados sistematicamente colecionados, conferindo ao processo um alto grau de confiabilidade e rapidez.

Convém ressaltar que, enquanto a EGS 2000 estava sendo elaborada, a Borland (empresa fornecedora do Delphi) lançou o Kylix, ambiente de desenvolvimento visual que aproveita o código construído em Delphi para MS-Windows, para ambiente Linux, sistema operacional emergente, que promete ser um padrão *de facto* nos próximos anos. Isso nos permite concluir que com o atual estágio em que se encontra a indústria de *software*, aliado à queda dos custos de *hardware*, abordagens como a descrita neste trabalho, se tornam cada vez mais viáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FOWLER, M & SCOTT, K. 1997. *UML distilled; applying the standard object modeling language*. Reading. Addison-Wesley 182p.
- LARMAN, C. 2000. *Utilizando UML e padrões; uma introdução à análise e ao projeto orientados a objetos*. Porto Alegre, Bookman 492p.
- LUIZ, J. G. 1999. *Informação a priori na inversão de dados magnetotelúricos*. Belém. Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, 93p (Tese de Doutorado).
- LUIZ, J. G. & SILVA, L.M.C. e. 1995. *Geofísica de Prospecção*. Belém. Editora Universitária, 311p.
- MEDEIROS, W. E. & SILVA, J.B.C. 1996. Geophysical inversion using approximate equality constraints. *Geophysics*, **61**: 1678-1688.
- PELTON, W. H., RIJO, L. & SWIFT JR, C.M. 1978. Inversion of two-dimensional resistivity and induced polarization data. *Geophysics*, **43**: 788-803.
- RIJO, L. 1977. Modeling of electric and electromagnetic data. *Utah, University of Utah, Department of Geology and Geophysics*, 241p (Doctorate in Geophysics).
- RIJO, L. 1984. *Inversion of Three-Dimensional Resistivity and Induced Polarization Data*. In: ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 54. Expanded Abstracts. SEG. p.113-117.
- RIJO, L. 1992. Teoria dos métodos elétricos e eletromagnéticos. *Departamento de Geofísica, Universidade Federal do Pará (Notas de aula)*.
- SABANI, C. 1981. *O Uso de diálogos na interação homem-máquina*. In: CONGRESSO NACIONAL DE INFORMÁTICA, 14. São Paulo. Anais. SUCESU. p.521-524.