geofísica2d

INVERSÃO ERT 2D NO NAVEGADOR

Guia de uso do Inversor ERT 2D

Do arquivo de campo ao relatório: carregar e editar os dados, inverter com topografia, interpretar a geologia, montar o modelo 3D entre linhas e gerar o relatório em Word.

Sumário

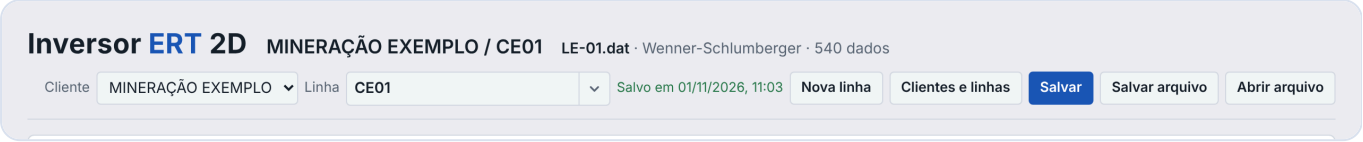
1. Antes de começar
2. Clientes e linhas
3. Dados de entrada
4. Editor de dados
5. Topografia dos eletrodos
6. Inversão
7. Resultados e exportação
8. Perfil interpretativo
9. Modelo geológico 3D
10. Relatório em Word
11. Dúvidas e problemas comuns

1 Antes de começar

O Inversor ERT 2D roda no navegador. Não precisa instalar nada; use o Chrome, o Edge ou o Firefox atualizados num computador.

1. Acesse **geo2d.vercel.app**, clique em **Entrar** e crie sua conta com e-mail e senha. Os 7 primeiros dias são grátis, com todos os módulos.
2. Baixe os dados de exemplo: três linhas sintéticas (LE-01, LE-02 e LE-03) e a topografia em DXF. Este guia usa esses arquivos.
3. Abra o app. A tela é uma página só, dividida em cinco etapas, de cima para baixo:

`1 · Dados de entrada` `2 · Inversão` `3 · Resultados` `4 · Modelo 3D` `5 · Relatório`



Barra superior: cliente e linha abertos, situação do salvamento e os botões de projeto.

2 Clientes e linhas

O trabalho é organizado por cliente. Cada cliente tem as suas linhas (CE01, CE02, CE03…), e as classes de geologia, o modelo 3D e o relatório valem para o cliente inteiro.

1. Clique em **Clientes e linhas**, digite o nome do cliente e clique em **Criar cliente**.
2. Abra um arquivo de dados (próximo capítulo). O app cria a linha com o próximo nome livre (CE01, CE02…). Para dar outro nome, edite o campo **Linha**.
3. Depois de inverter, clique em **Salvar**. A linha fica guardada na sua conta, com os dados, as edições e o resultado.
4. Para trocar de linha, use a seta ao lado do campo **Linha** ou a lista em **Clientes e linhas** › **Abrir**.



Janela Clientes e linhas: cada linha mostra o arquivo, o número de dados e se já foi invertida.

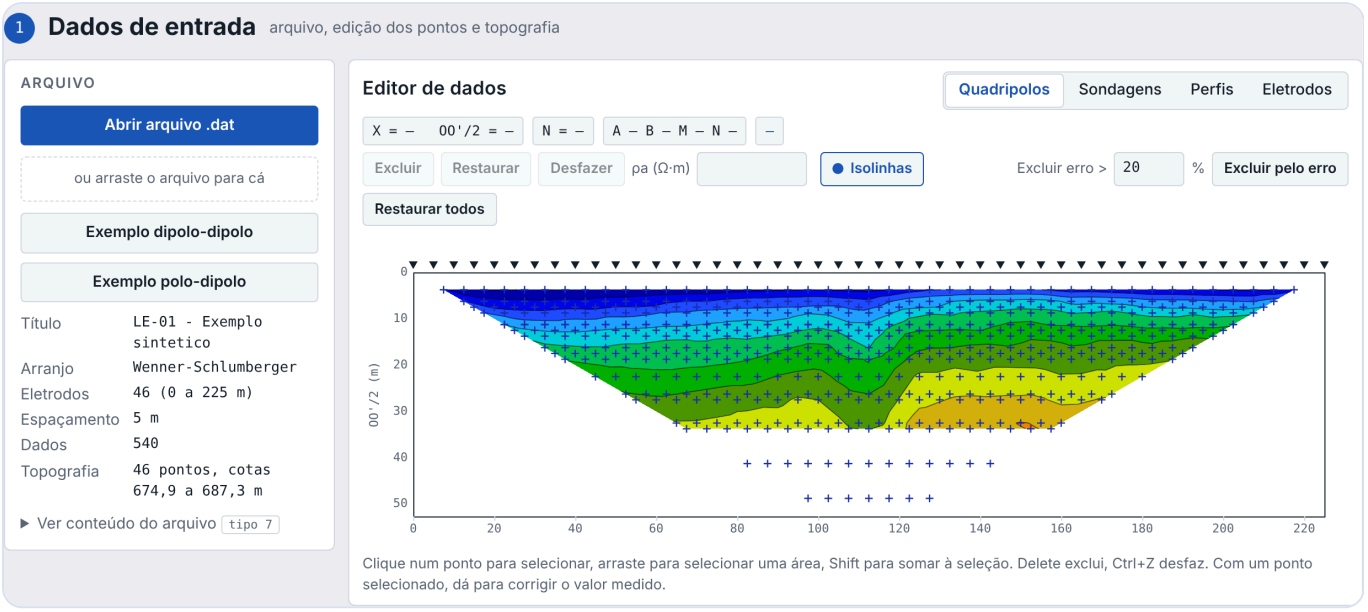
Cópia de segurança

Salvar arquivo baixa a linha num arquivo `.ert2d`, que pode ser reaberto em **Abrir arquivo** em qualquer computador. Use para guardar uma cópia do projeto ou enviar a um colega.

3 Dados de entrada

Na etapa 1, carregue o arquivo de campo. O app lê o arquivo, mostra o resumo e desenha a pseudosseção medida.

1. Clique em **Abrir arquivo .dat** ou arraste o arquivo para o quadro tracejado. Para testar sem arquivo, use **Exemplo dipolo-dipolo** ou **Exemplo polo-dipolo**.
2. Confira o resumo: arranjo, número de eletrodos, espaçamento, número de dados e topografia.
3. Em **Ver conteúdo do arquivo**, veja o texto original e os formatos aceitos.



Etapa 1 com a linha LE-01 carregada.

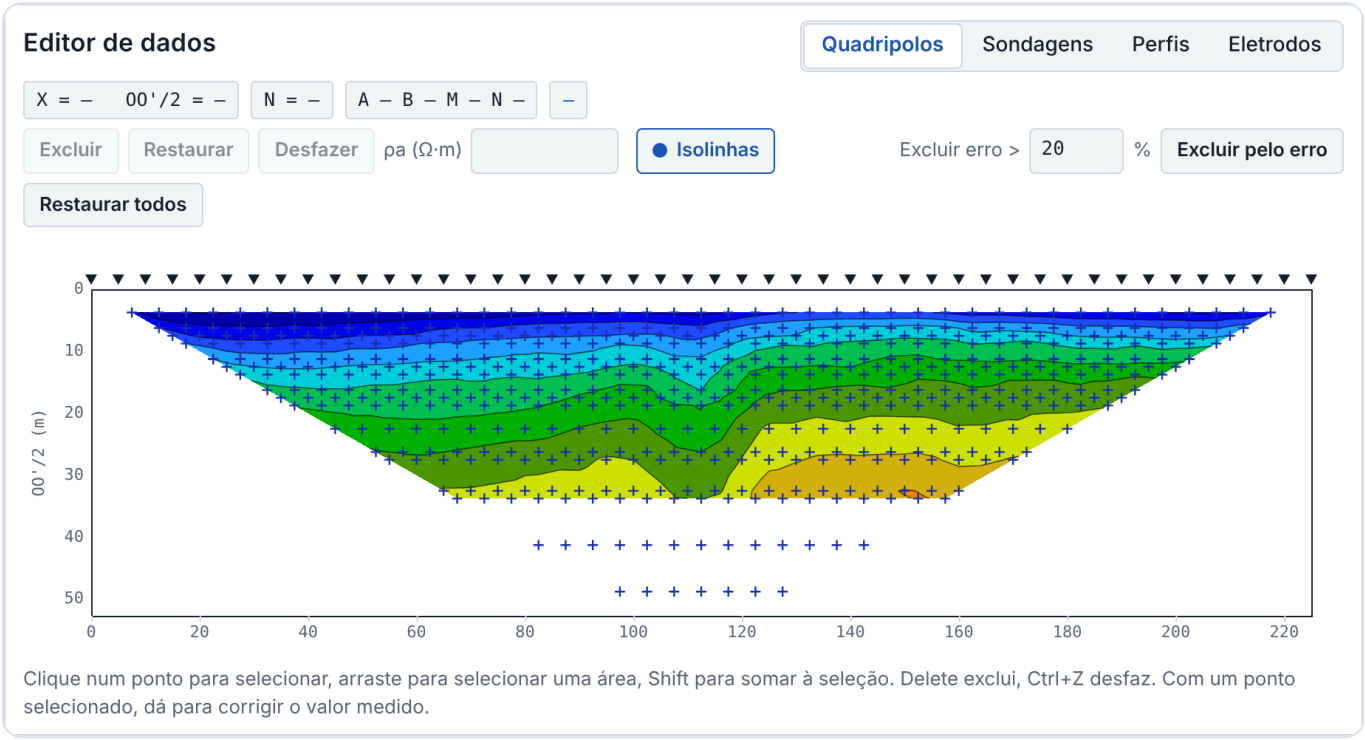
Formatos aceitos

Arquivo	O que é lido
`.dat` no formato do RES2DINV	Tipos de arranjo 1 (Wenner), 3 (dipolo-dipolo), 6 (polo-dipolo, com *a* ou *n* negativo para o reverso), 7 (Wenner-Schlumberger) e 11 (arranjo geral). Resistividade aparente ou resistência. A lista de topografia depois dos dados também é lida. Dados de IP são ignorados.
`.txt` exportado pelo equipamento	Tabela com as posições dos eletrodos e a resistividade aparente de cada leitura.

4 Editor de dados

Antes de inverter, tire as leituras ruins. O editor tem quatro vistas, nas abas do canto superior direito.

Aba	Para que serve
Quadripolos	Pseudosseção com um ponto por leitura. Pontos fora do padrão das cores vizinhas costumam ser ruído.
Sondagens	Curvas de resistividade aparente por posição, como sondagens elétricas. Leituras fora da tendência da curva aparecem de imediato.
Perfis	Uma linha por nível de leitura ao longo do perfil. Use a lista ao lado para mostrar ou esconder níveis.
Eletrodos	Tabela com a posição e a cota de cada eletrodo (capítulo 5).



Aba Quadripolos.



Aba Sondagens.

Como excluir e corrigir pontos

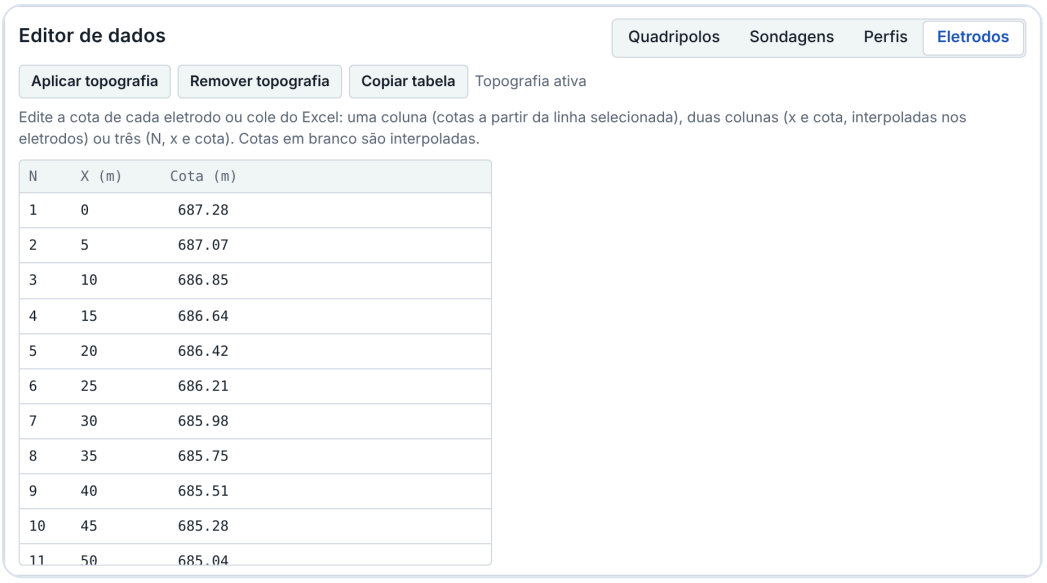
- Clique num ponto para selecionar; arraste para selecionar uma área; segure `Shift` para somar à seleção.
- **Excluir** (ou `Delete`) tira os pontos da inversão. **Restaurar** devolve os selecionados e **Desfazer** (ou `Ctrl` + `Z`) volta a última ação.
- Com um único ponto selecionado, dá para corrigir o valor medido no campo **ρa (Ω·m)**.
- Depois de uma inversão, **Excluir pelo erro** tira de uma vez as leituras com erro de ajuste acima do limite (20% por padrão). **Restaurar todos** desfaz todas as exclusões.

> **Dica**
> Exclua pouco de cada vez. Inverta, veja o erro e, se precisar, use **Excluir pelo erro** e inverta de novo.

5 Topografia dos eletrodos

Com topografia, a malha de cálculo acompanha o terreno e a seção sai desenhada em cota. Se o arquivo .dat já traz as cotas, elas entram sozinhas.

1. No editor, abra a aba **Eletrodos**.
2. Digite a cota de cada eletrodo, ou cole do Excel: uma coluna (cotas a partir da linha selecionada), duas colunas (x e cota, interpoladas nos eletrodos) ou três (N, x e cota). Cotas em branco são interpoladas.
3. Clique em **Aplicar topografia** e inverta de novo. **Remover topografia** volta para o terreno plano.



N	X (m)	Cota (m)
1	0	687.28
2	5	687.07
3	10	686.85
4	15	686.64
5	20	686.42
6	25	686.21
7	30	685.98
8	35	685.75
9	40	685.51
10	45	685.28
11	50	685.04

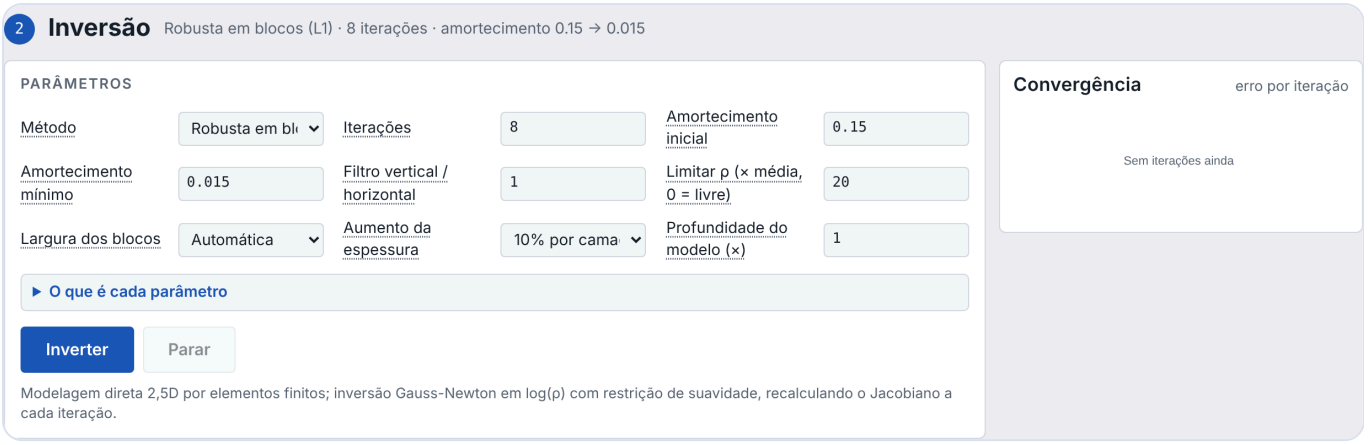
Tabela de eletrodos com as cotas da linha LE-01.

Topografia de um levantamento planialtimétrico

Se você tem a superfície em DXF ou shapefile, importe no modelo 3D (capítulo 9) e use **Aplicar cotas na linha aberta** para preencher a tabela automaticamente.

6 Inversão

Na etapa 2, escolha os parâmetros e clique em **Inverter**. O app faz a modelagem 2,5D por elementos finitos e a inversão Gauss-Newton com suavização, iteração por iteração.



Parâmetros da inversão. O quadro Convergência ao lado mostra o erro de cada iteração durante o cálculo.

Antes de clicar em **Inverter**, confira os parâmetros. No app, passe o mouse sobre o nome de cada um para ver um resumo, ou abra **O que é cada parâmetro**, logo acima do botão.



Quadro de ajuda dos parâmetros, dentro do app.

> **Para começar**
>
> Deixe os valores padrão, inverta e olhe o erro e o modelo. Depois mude um parâmetro de cada vez e compare.

Método

Define como a inversão mede o ajuste entre os dados medidos e os calculados.

- **Suavização (L2)**, o padrão: mínimos quadrados com restrição de suavidade. O modelo sai com transições graduais. É a melhor escolha para a primeira inversão de qualquer linha.

- **Dados robustos (L1)**: dá menos peso às leituras que não se ajustam, como ruído ou eletrodo com mau contato. Use quando houver leituras ruins que você não quer excluir uma a uma. O erro passa a ser mostrado como erro absoluto.
- **Robusta em blocos (L1)**: favorece regiões homogêneas separadas por contatos nítidos. Boa para camadas bem definidas, topo rochoso e contato solo/rocha.

Iterações (padrão 6)

Número de ciclos de atualização do modelo. Em cada iteração o app recalcula a resposta elétrica do modelo e as sensibilidades, e corrige a resistividade dos blocos. O gráfico de convergência mostra o erro de cada uma. De 5 a 8 iterações costuma bastar. Se o erro ainda cai bastante na última, aumente; se já estabilizou, mais iterações só levam mais tempo.

Amortecimento inicial (0,15) e mínimo (0,015)

Controlam o peso da suavização, isto é, quanto o modelo é obrigado a ser "liso". O valor inicial vale na 1ª iteração e cai 40% a cada iteração, até chegar ao mínimo.

- **Valores maiores**: modelo mais suave e estável, erro um pouco maior. Use com dados ruidosos.
- **Valores menores**: mais detalhe e erro menor, mas com risco de criar estruturas falsas.
- Se o modelo final tiver "manchas" isoladas ou valores muito extremos, aumente o mínimo (por exemplo, 0,03).

Filtro vertical / horizontal (padrão 1)

Relação entre a suavização na vertical e na horizontal. Com 1, as duas direções têm o mesmo peso.

- **Acima de 1** (ex.: 2): as estruturas saem alongadas na vertical. Use para fraturas, falhas, diques e contatos verticais.
- **Abaixo de 1** (ex.: 0,5): as estruturas saem alongadas na horizontal. Use para terrenos em camadas, como solo sobre rocha e sedimentos.

Limitar ρ (padrão 20, 0 = livre)

Mantém a resistividade do modelo entre a média dividida pelo valor e a média multiplicada pelo valor. Com 20 e média de 200 Ω·m, o modelo fica entre 10 e 4.000 Ω·m. Evita valores absurdos nas bordas e no fundo, onde há poucos dados. Use 0 quando houver contrastes muito fortes e reais, como um corpo metálico ou água muito salina.

Largura dos blocos (padrão Automática)

Tamanho horizontal das células do modelo. Automática usa ½ espaçamento em linhas com menos de 30 eletrodos e 1 espaçamento nas demais.

- **1 espaçamento**: um bloco por eletrodo, cálculo mais rápido.
- **½ espaçamento**: dois blocos por eletrodo, mais detalhe raso e cálculo mais lento. Útil em linhas curtas ou para alvos rasos.

Aumento da espessura (padrão 10% por camada)

A primeira camada do modelo tem cerca de 0,3 espaçamento de espessura (0,2 com blocos de ½ espaçamento), e cada camada abaixo é mais grossa que a de cima. Isso acompanha a perda de resolução com a profundidade. Com 10% há mais camadas e mais detalhe; com 25% o modelo tem menos camadas e o cálculo é mais rápido.

Profundidade do modelo (padrão 1×, de 0,5 a 2,5)

A base do modelo fica 15% abaixo da maior pseudoprofundidade dos dados, multiplicada por este fator. Aumente para ver mais fundo, por exemplo para checar se o topo rochoso continua. Abaixo da profundidade de investigação os dados quase não controlam o modelo, então leia a parte mais funda com cuidado.

Resumo

Parâmetro	Padrão	Quando mudar
Método	Suavização (L2)	L1 de dados com leituras ruins; L1 em blocos para contatos nítidos.
Iterações	6	Aumente se o erro ainda cai bem nas últimas iterações.
Amortecimento inicial / mínimo	0,15 / 0,015	Maior com dados ruidosos; menor para mais detalhe.
Filtro vertical / horizontal	1	2 para estruturas verticais; 0,5 para camadas.
Limitar ρ	20	0 com contrastes fortes e reais.
Largura dos blocos	Automática	½ espaçamento para alvos rasos ou linhas curtas.
Aumento da espessura	10%	25% para calcular mais rápido.
Profundidade do modelo	1×	Até 2,5 para ver mais fundo, com cautela.

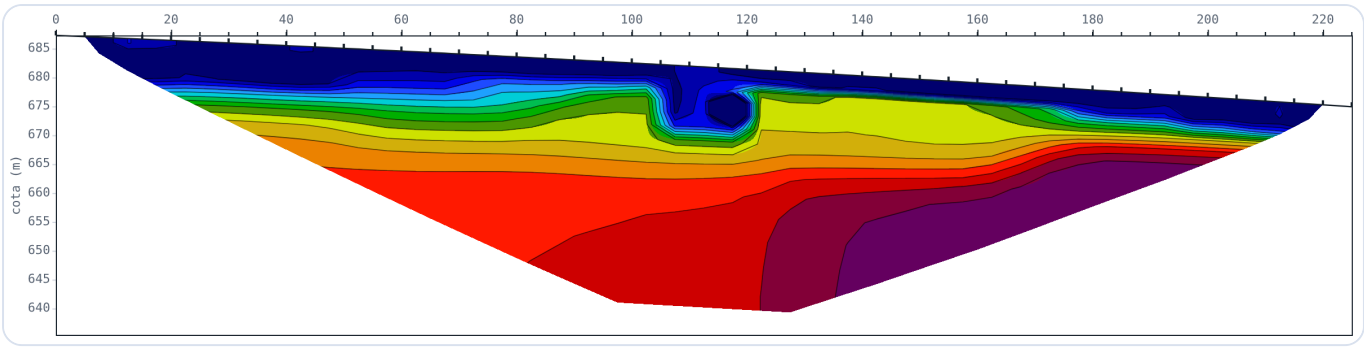
Durante o cálculo, a barra de status mostra a iteração e o erro, e o botão **Parar** interrompe na iteração atual. Em linhas de 40 a 60 eletrodos, cada iteração leva alguns segundos.

Erro alto?

Um erro acima de uns 5% costuma indicar leituras ruins. Volte ao editor, use **Excluir pelo erro** e inverta de novo. Confira também se a topografia está correta.

7 Resultados e exportação

A etapa 3 mostra a pseudosseção medida, a calculada e a seção do modelo invertido, todas na mesma escala horizontal.



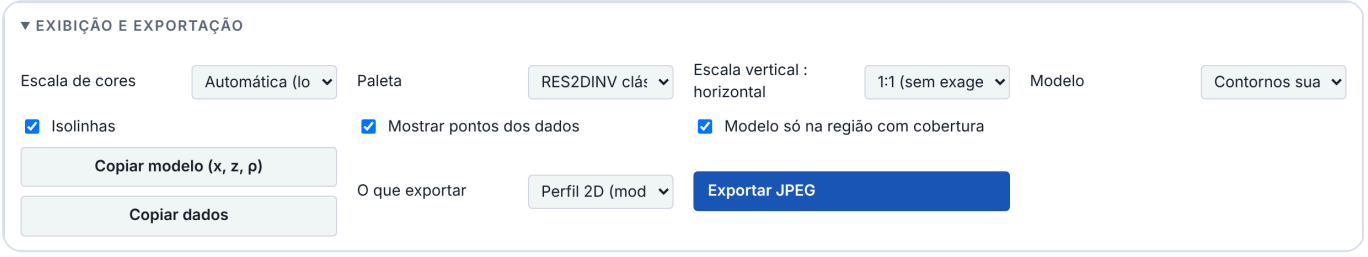
Seção do modelo invertido, em cota, com isolinhas.



Barra da etapa 3: escala V:H, isolinhas e exportação rápida.

- **Escala V:H**: o padrão é 1:1, sem exagero vertical, para não distorcer a geometria. Escolha 1,5×, 2×, 3× ou 5× quando precisar destacar camadas finas.
- **Isolinhas**: liga e desliga as linhas de contorno.
- **Exportar perfil 2D**: baixa a seção em JPEG de alta resolução.

Exibição e exportação

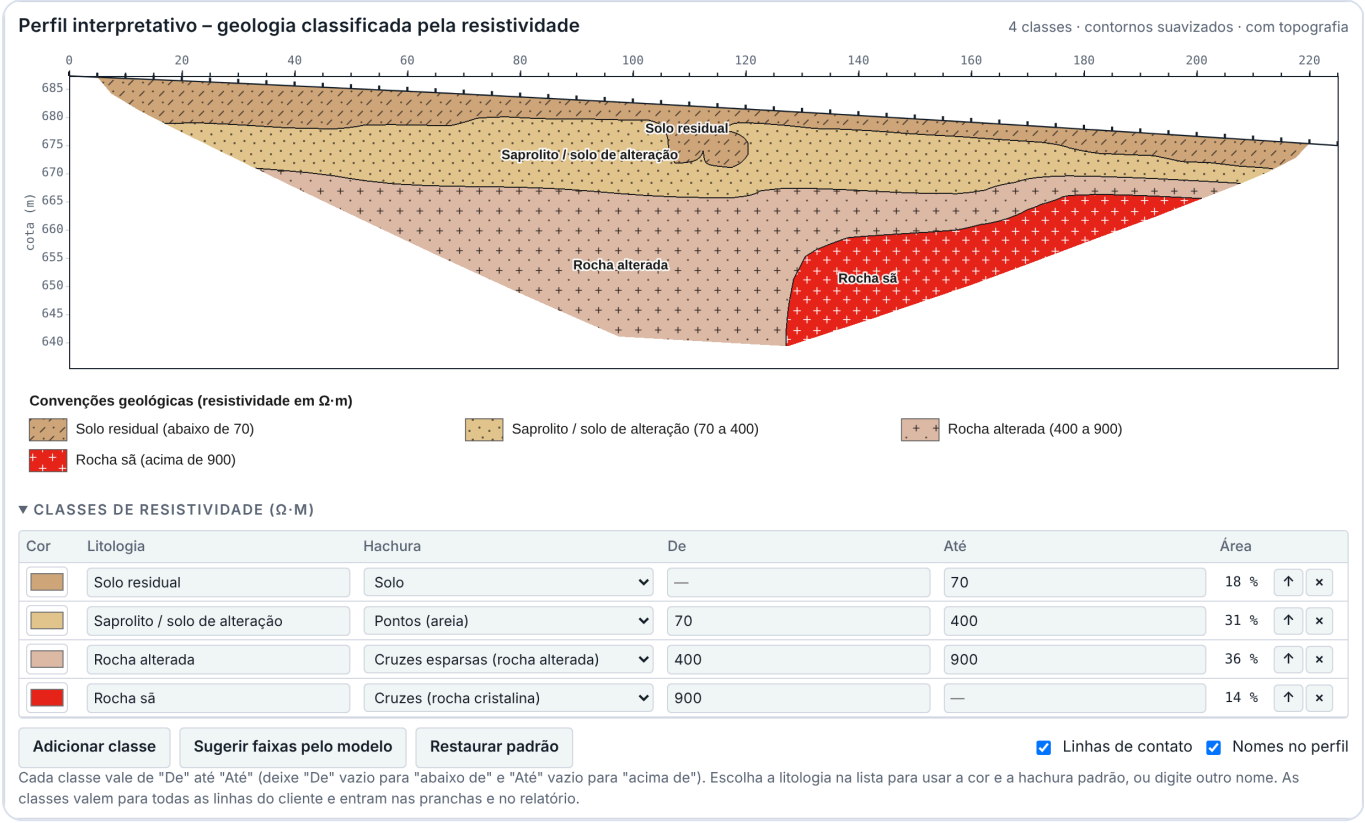


Opções de exibição e exportação.

- **Escala de cores**: automática (log), mínimo e máximo, ou intervalos próprios (por exemplo, para usar a mesma escala em todas as linhas de um cliente).
- **Paleta**: RES2DINV clássica ou arco-íris suave. **Modelo**: contornos suavizados ou blocos.
- **O que exportar**: só o perfil 2D, perfil + pseudosseções, perfil + perfil interpretativo, só o interpretativo, a pseudosseção medida ou a aba atual do editor.
- **Copiar modelo (x, z, ρ)** e **Copiar dados** copiam tabelas para colar no Excel, Surfer ou QGIS.

8 Perfil interpretativo

O perfil interpretativo transforma a resistividade em geologia: cada faixa de valores vira uma unidade com cor, hachura e nome, com as linhas de contato desenhadas.



Perfil interpretativo e a tabela de classes.

1. Em **Classes de resistividade (Ω·m)**, ajuste o **De** e o **Até** de cada classe. Deixe "De" vazio para "abaixo de" e "Até" vazio para "acima de".
2. Escolha a litologia na lista para usar a cor e a hachura padrão, ou digite outro nome.
3. **Adicionar classe** cria uma nova faixa, a seta ↑ sobe a classe na lista e o × apaga. **Sugerir faixas pelo modelo** propõe limites a partir dos valores da linha aberta.
4. Marque **Linhas de contato** e **Nomes no perfil** conforme a prancha que quiser.

As faixas são uma interpretação

A resistividade de solo, saprolito e rocha muda com umidade, teor de argila, salinidade e tipo de rocha. Calibre as faixas com sondagens e com a geologia da área. As classes valem para todas as linhas do cliente e entram nas pranchas e no relatório.

9 Modelo geológico 3D

Com duas ou mais linhas invertidas e salvas no mesmo cliente, a etapa 4 interpola a resistividade entre elas, classifica a geologia em blocos e gera mapas, volumes e seções.

Coordenadas das linhas

1. Escolha o sistema (UTM SIRGAS 2000 com fuso e hemisfério, ou latitude/longitude em graus).
2. Para cada linha, informe a posição do **primeiro** eletrodo (início) e do **último** (fim). Nos dados de exemplo, as coordenadas estão no arquivo LEIA-ME.
3. Na coluna **No modelo 3D**, desmarque as linhas que não devem entrar.



Coordenadas das três linhas de exemplo.

Topografia do terreno (opcional)

Em **Importar DXF ou shapefile...**, carregue curvas de nível ou pontos cotados no mesmo sistema de coordenadas das linhas: DXF com polilinhas com elevação ou pontos 3D, ou shapefile (.shp com o .dbf, ou tudo num .zip). Escolha as camadas que valem e mantenha marcado **Usar como superfície do modelo 3D**.



DXF de exemplo importado, com a escolha de camadas.

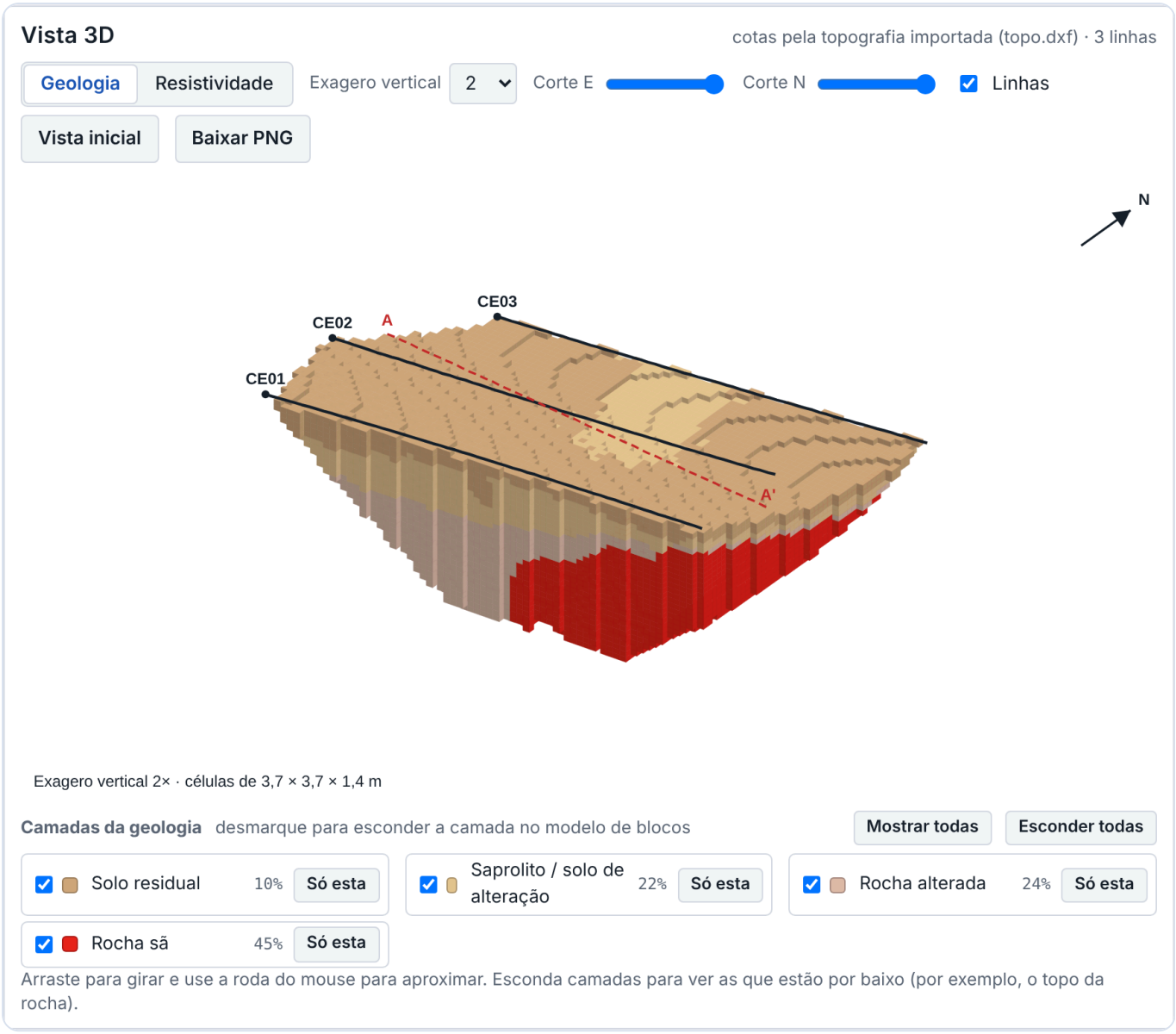
Arquivo DWG

O app não lê DWG. No AutoCAD, use Salvar como › DXF; sem AutoCAD, converta no ODA File Converter (gratuito) ou no QGIS.

Gerar e explorar o modelo

1. Ajuste **Resolução** (Normal ou Alta), **Peso da distância** (1 mais suave, 3 mais local) e **Estender além das linhas**, se quiser modelar um pouco fora do contorno das linhas.
2. Clique em **Gerar modelo 3D**.
3. Na vista 3D, arraste para girar e use a roda do mouse para aproximar. Alterne entre **Geologia** e **Resistividade**, mude o exagero vertical e use os cortes E e N para ver o interior.

4 Em **Camadas da geologia**, desmarque uma unidade para escondê-la, ou use **Só esta**. Escondendo solo e saprolito, aparece o topo da rocha.



Vista 3D com as três linhas de exemplo.

Mapas, volumes e seções

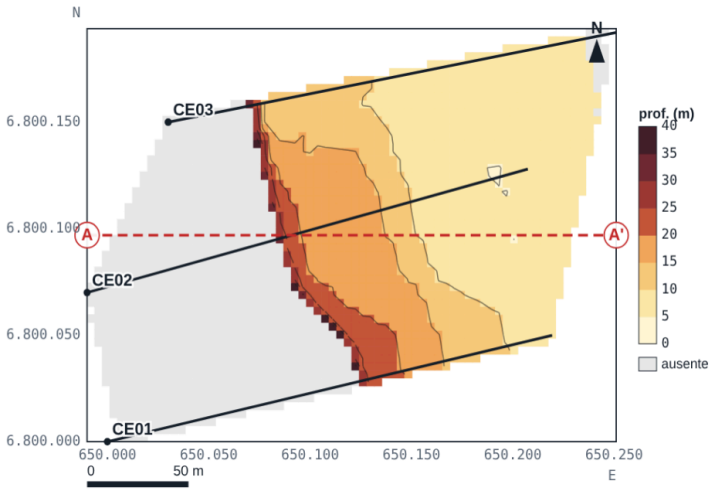
- **Mapa**: profundidade do topo, cota do topo ou espessura da litologia escolhida, além da cota do terreno.
- **Volumes por litologia**: volume, porcentagem e espessura média de cada unidade dentro do contorno das linhas.
- **Seções do modelo**: clique em **Desenhar seção no mapa** e depois em dois pontos do mapa, ou use **Seção pelas coordenadas**. Marque **No relatório** nas seções que devem entrar no documento.

Mapa

Baixar PNG

Tipo: Profundidade do topo

Litologia: Rocha sã



Volumes por litologia

área em planta 33.880 m²

Litologia	Volume (m³)	%	Espessura média (m)
Solo residual	100.088	9,5	3,0
Saprolito / solo de alteração	228.825	21,7	6,8
Rocha alterada	251.033	23,8	7,4
Rocha sã	473.591	45,0	14,0
Total	**1.053.537**	**100**	**31,1**

Volumes dentro da área do modelo (contorno das linhas), até a profundidade alcançada pelas seções. A espessura média é o volume dividido pela área em planta.

Mapa e tabela de volumes.

Interpolação

Entre as linhas, o modelo é uma interpolação. Quanto mais próximas e paralelas as linhas, mais confiável o resultado. Use os volumes como estimativa.

10 Relatório em Word

A etapa 5 monta o relatório técnico em .docx com capa, introdução, metodologia, pranchas de cada linha, discussão dos resultados, modelo 3D e referências.

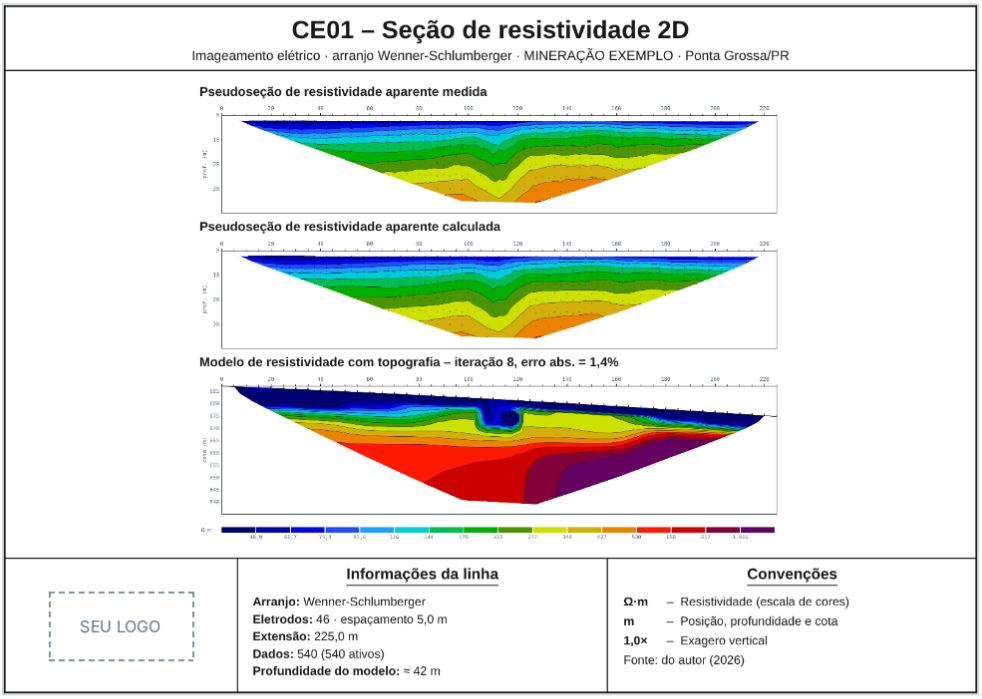


Campos do projeto e da capa.

1. **Projeto e capa**: contratante, execução, município, estado, datas do campo e responsáveis técnicos.
2. **Processos ANM**: adicione os processos, se houver.
3. **Contexto geológico**: escreva o texto ou clique em **Buscar no SGB pelas coordenadas** para consultar os mapas geológicos do Serviço Geológico do Brasil no centro de cada linha. Revise e clique em **Usar no relatório**.
4. **Resultados e discussões**: **Gerar texto automático** escreve um texto com as faixas de resistividade medidas e invertidas. Revise e complete com a sua interpretação.
5. **Equipamento e imagens**: equipamento usado, mapa de localização (Figura 01), logo das pranchas e o que entra em cada prancha. Marque se quer o perfil interpretativo, o modelo 3D e o anexo com as tabelas de dados.
6. Confira a **prancha da linha atual** e a lista **Linhas no relatório** e clique em **Gerar relatório (.docx)**.

Prancha da linha atual Seção de resistividade **Atualizar**

Baixar PNG



Linhas no relatório

	Linha	Dados	Iter.	Erro	Situação
☑	CE01 ●	540	8	1,4 %	pronta
☑	CE02	540	6	1,6 %	pronta
☑	CE03	540	6	1,6 %	pronta

Cliente MINERAÇÃO EXEMPLO: 3 linhas entram no relatório.

Gerar relatório (.docx)

Ao abrir no Word, aceite "atualizar campos" para refazer o sumário com as páginas novas.

Prancha da linha atual, linhas incluídas e o botão de gerar.

Ao abrir no Word

Aceite a pergunta para atualizar os campos. Assim o sumário é refeito com as páginas novas. Depois revise o texto, ajuste o que for do seu projeto e assine.

11 Dúvidas e problemas comuns

Situação	O que fazer
O arquivo não abre ou aparece um aviso de formato	Abra **Ver conteúdo do arquivo** e confira o cabeçalho: o tipo de arranjo precisa ser 1, 3, 6, 7 ou 11. Arquivos de outros programas podem precisar ser exportados no formato do RES2DINV.
Erro da inversão alto	Exclua leituras ruins no editor (ou use **Excluir pelo erro**), confira a topografia e teste o método **Dados robustos (L1)**.
Seção com artefatos nas bordas ou no fundo	Aumente o amortecimento inicial, use **Limitar ρ** e mantenha marcado **Modelo só na região com cobertura**.
Modelo 3D não é gerado	São necessárias pelo menos duas linhas invertidas e salvas no mesmo cliente, com coordenadas de início e fim e marcadas em **No modelo 3D**.
Topografia importada não bate com as linhas	Confira se o DXF ou shapefile está no mesmo sistema de coordenadas e no mesmo fuso das linhas. O app avisa quando as cotas diferem muito das cotas das linhas.
Sumário do Word com páginas erradas	No Word, clique com o botão direito no sumário › Atualizar campo › Atualizar o índice inteiro.
Quero trabalhar em outro computador	Entre com a mesma conta: os clientes e linhas salvos aparecem em **Clientes e linhas**. Para uma cópia local, use **Salvar arquivo**.

Inversor ERT 2D · geofísica2d · geo2d.vercel.app · Instagram @geofisica2d
Os dados e as telas deste guia vêm de um levantamento sintético de exemplo.