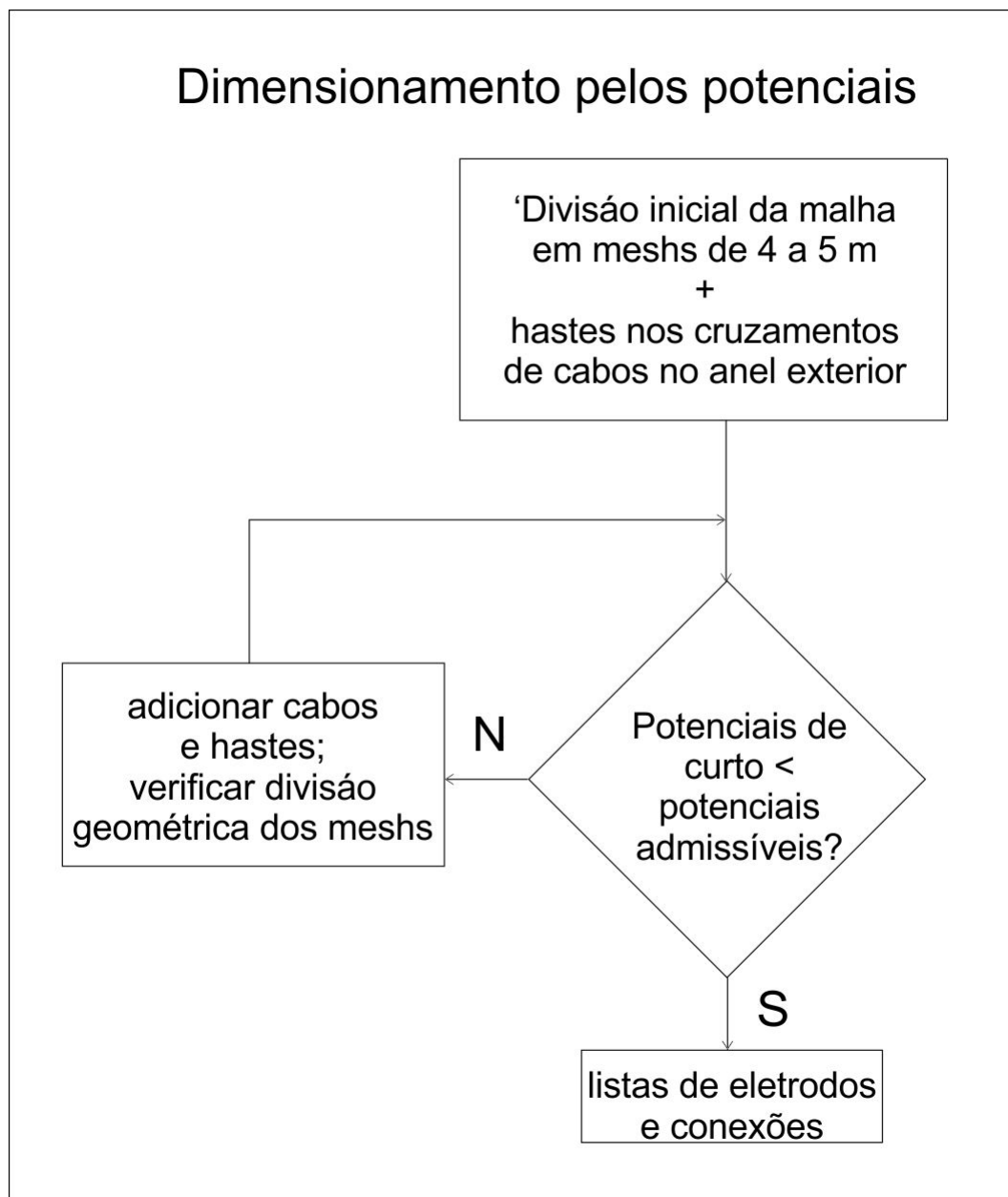


TecAt 6 - Tutorial - Malha 2 - parte 2

Obs: os itens deste tutorial que tratam dos potenciais de toque, passo, etc, referem-se à versão TecAt Plus, já que a versão TecAt Pro não possui os respectivos cálculos.

A seguir, damos continuidade ao **Tutorial TecAt 6 - Malha 2 -parte 1**:

6. Sequência de cálculos para dimensionamento por potenciais:

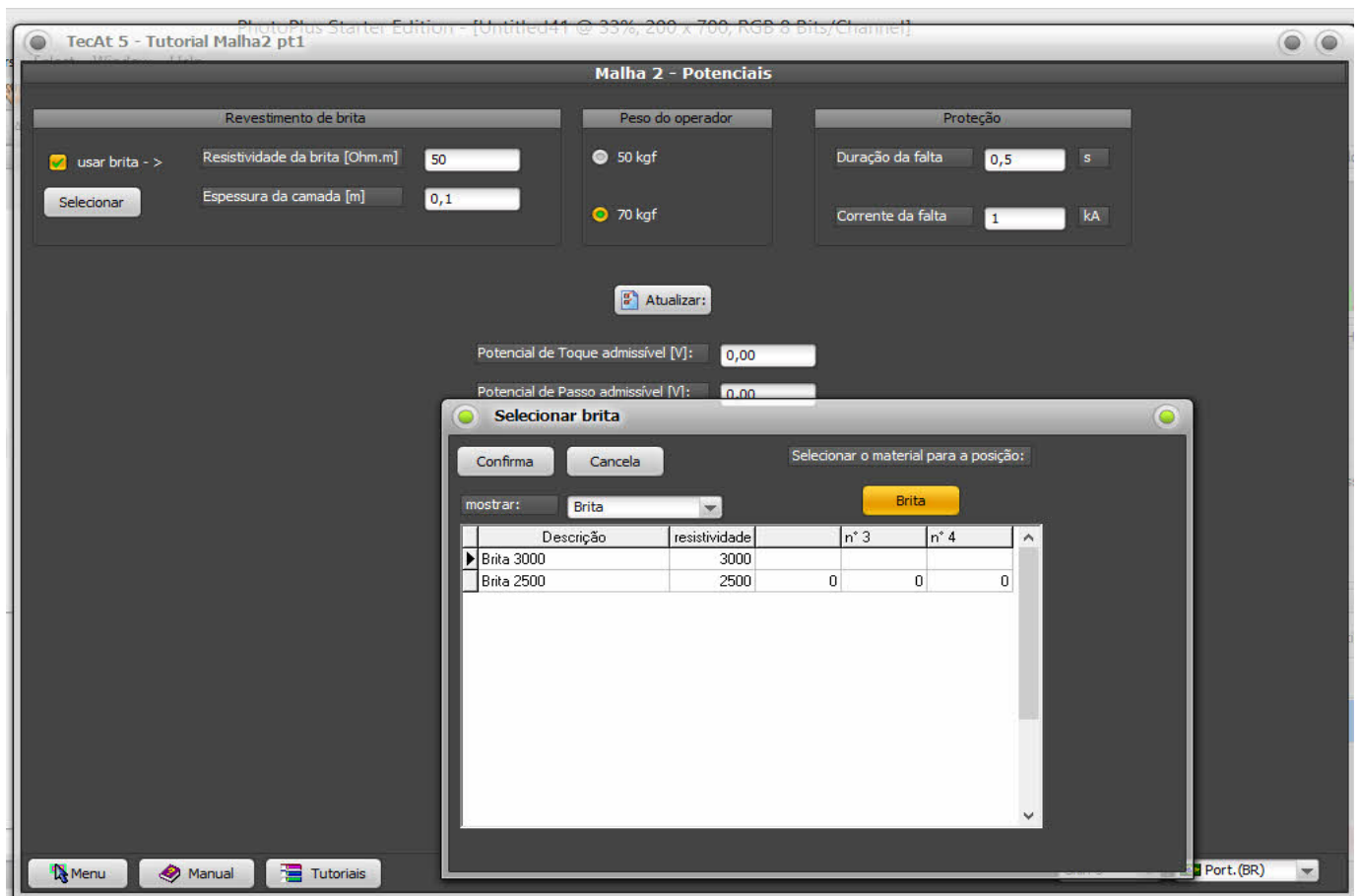


Na parte 1 deste tutorial, vimos que a malha inicial obteve uma resistência de 5,28 Ohm, o que pode ser satisfatório para drenar a corrente de curto para o solo porém provavelmente não é suficiente para garantir potenciais abaixo dos limites considerados seguros. Como a corrente de malha, no nosso exemplo, é de 2 kA, temos uma GPR (máxima tensão da malha em relação a um terra remoto) de 10553 V.

7. Potenciais admissíveis

Os potenciais admissíveis serão calculados segundo a formulação definida pelo procedimento IEEE-80, também adotada na norma brasileira.

Selecione no menu a aba **Potenciais** e, nela, o item **Admissíveis**:



Opções:

- Brita: recomendada em SEs abertas, geralmente 0.10 a 0.25 m de espessura; clique no botão Selecionar para escolher uma brita do banco de dados de materiais
- Peso: normalmente se utiliza 70 kg para o operador da SE e 50 kg para pessoas em geral do lado de fora da SE

Entre a corrente de malha (porção da corrente de curto que realmente flui para a malha) e o tempo de atuação da proteção.

Nota: apresentamos o cálculo dos potenciais admissíveis nesta sequência para efeito de clareza, porém deve-se realizá-lo antes do cálculo da resistência da malha, já que o valor da corrente de malha será utilizado para calcular a máxima tensão da malha (GPR) - veja esses resultados em Relatórios 2 / Resistência.

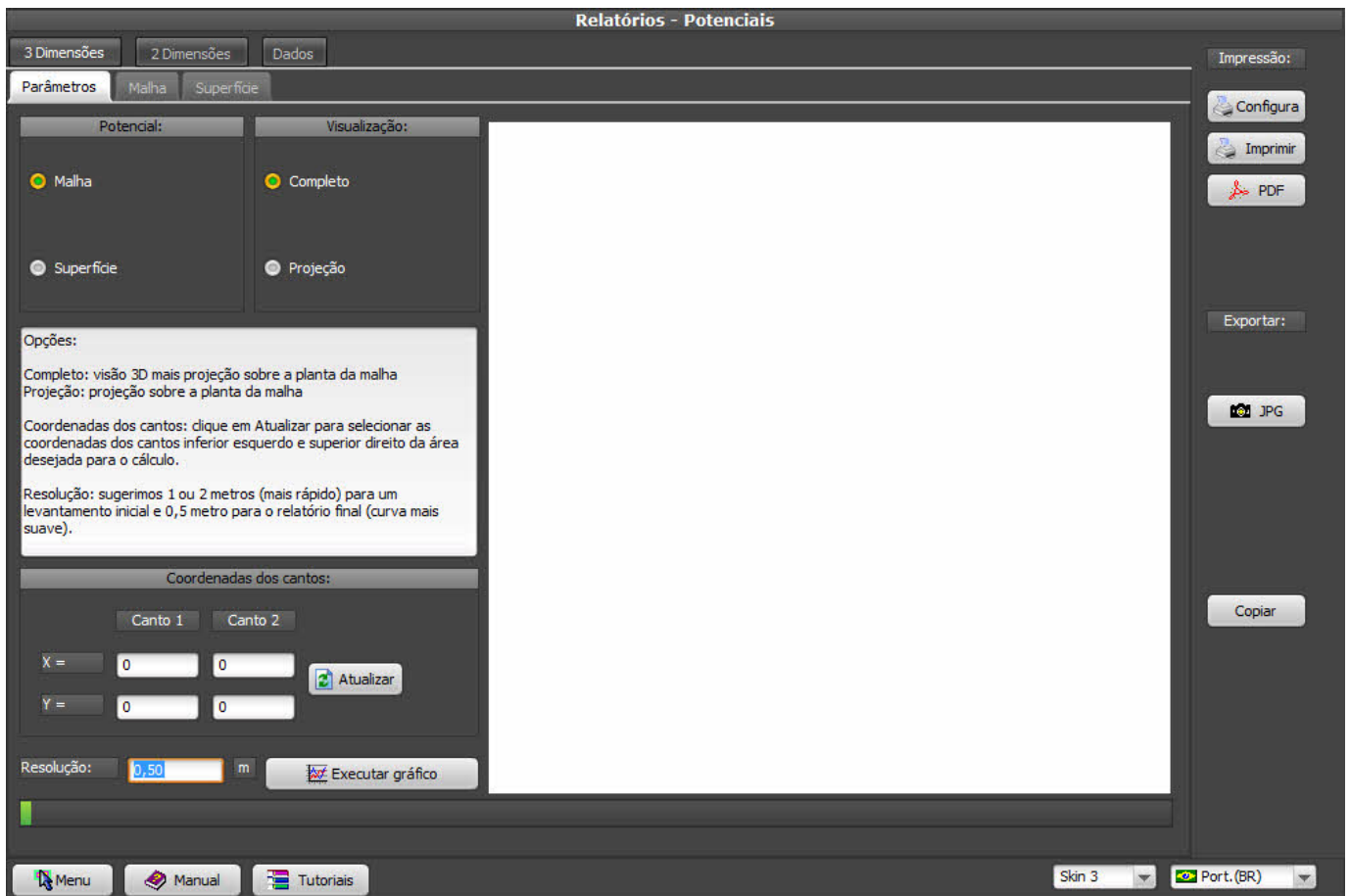
8. Análise dos potenciais de malha e superfície em 3 dimensões

Após o cálculo da resistência da Malha, temos o valor da máxima tensão (GPR), que será utilizado internamente pelo TecAt Plus para a determinação dos potenciais na região da SE e no seu entorno.

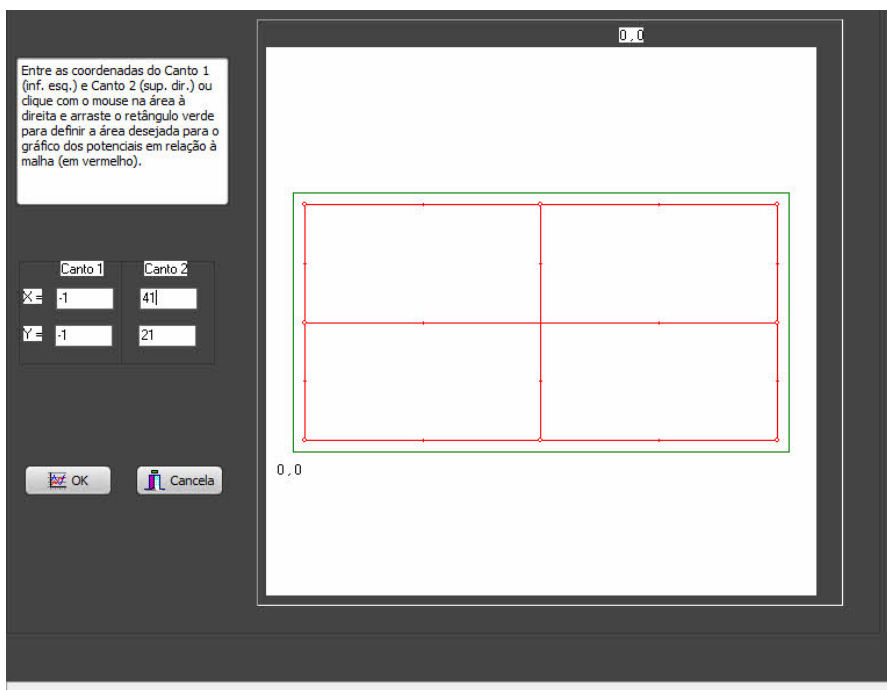
No Menu, selecione a aba Potenciais e clique no item Parâmetros 3D. Primeiramente, vamos calcular os potenciais na malha e na superfície, e então o TecAt Plus usará esses dados para calcular os potenciais de toque e passo que serão finalmente comparados com os potenciais admissíveis para verificar a segurança da SE.

Opções na aba Parâmetros 3D:

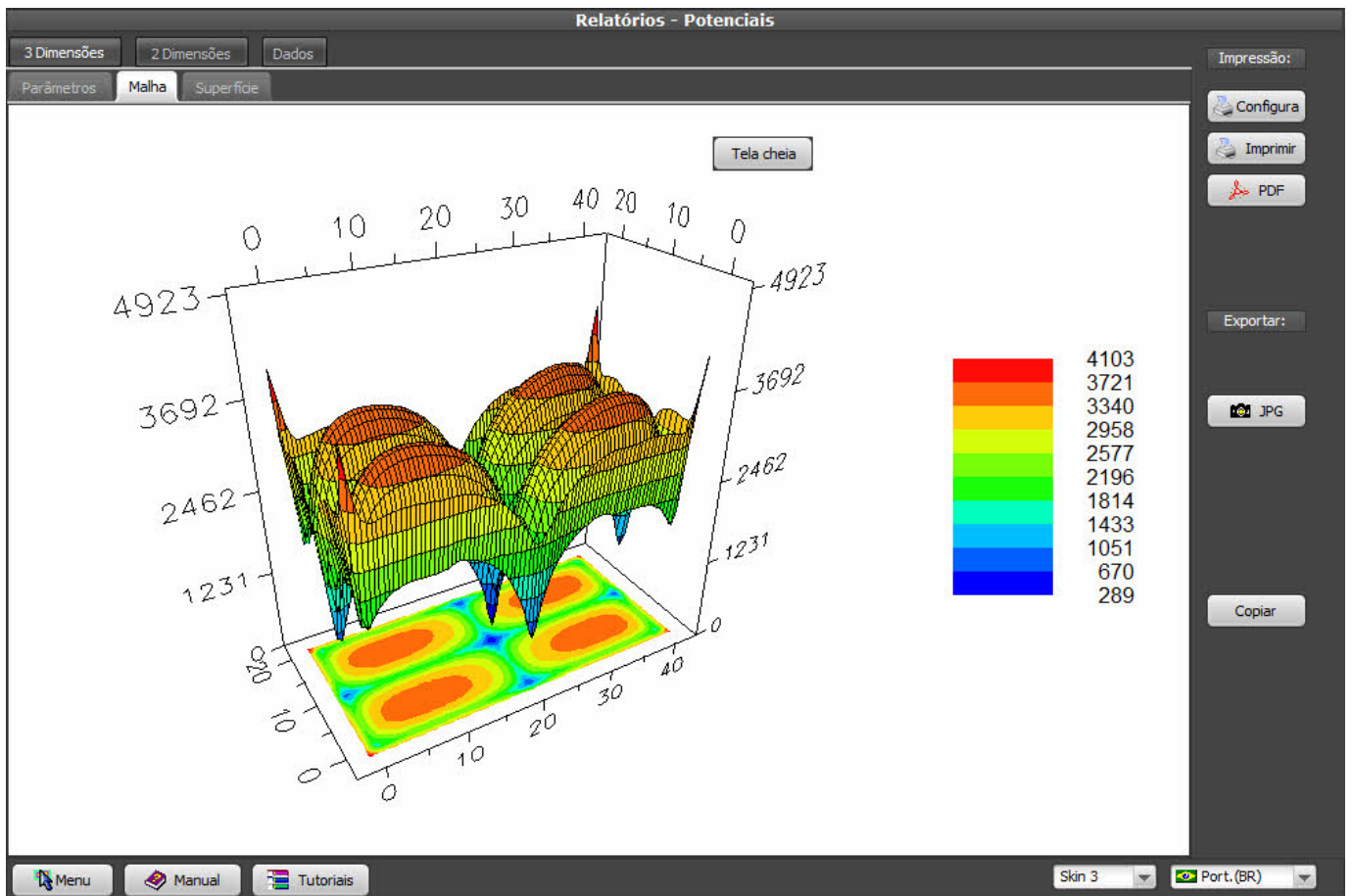
- Potencial: Malha ou Superfície (iremos calcular os dois, porém um de cada vez)
- Visualização: "Completa" apresenta o gráfico em 3 dimensões e sua projeção na planta da malha, enquanto "Projeção" mostrará somente esta última.
- Resolução: espaçamento dos pontos no gráfico - 0.5 metros gera um gráfico suave, mas pode demorar bastante para calcular uma malha de 30.000 m² em solos de 3 e 4 camadas, então este parâmetro vai variar conforme o tamanho da área analisada e o tempo de cálculo.



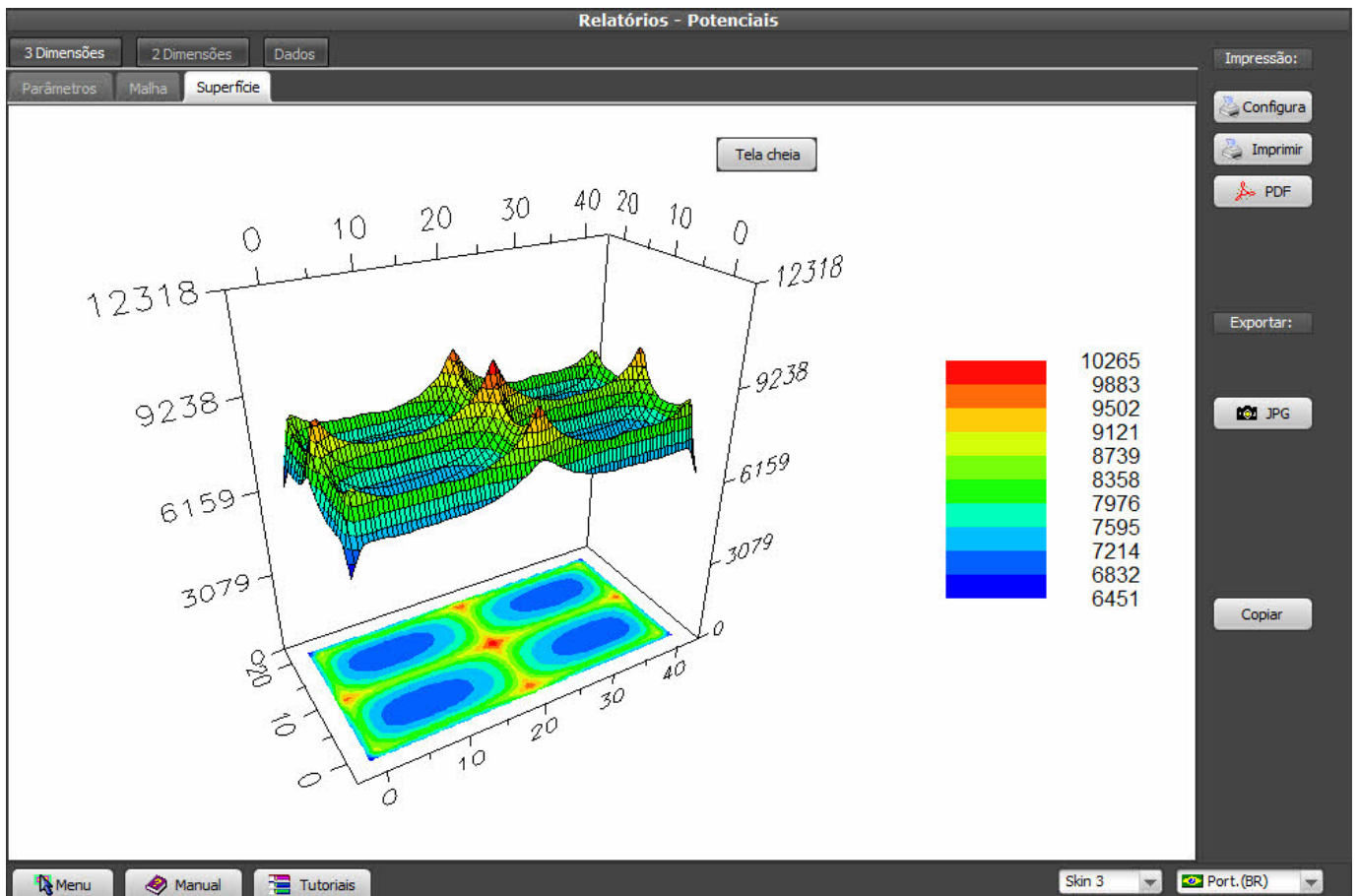
Clique no botão **Atualizar** para especificar as coordenadas da região retangular a ser analisada:



Na nossa malha de 40 x 20 metros, podemos especificar, por exemplo, um retângulo de (-1, -1) até (41, 21) para abranger também 1 metro no entorno da SE. Ao clicar em OK, o gráfico selecionado nos Parâmetros será calculado:



A seguir, mude de Malha para Superfície e clique no botão "Executar gráfico":



9. Análise dos potenciais de toque e passo (2 dimensões)

Agora vamos calcular as diferenças entre esses potenciais entre os pés (passo) e entre pé e mão (toque); na aba 2 Dimensões, selecione o potencial desejado - Toque, Passo ou Superfície.

Potencial: 0

Toque Passo Superfície

Opções:

Toque: perfil dos potenciais de toque ao longo das linhas (vide abaixo)
Passo: idem, potenciais de passo
Superfície: idem, potenciais na superfície em relação a um terra remoto

Coordenadas de corte: clique em Atualizar para selecionar as coordenadas dos cantos inferior esquerdo e superior direito de até 3 linhas para plotagem dos potenciais.
obs: não colocar linhas perpendiculares

	P1	P2	P3
Xa			
Ya			
Xb			
Yb			

Atualizar

Resolução: 0,50 m Executar Gráfico

Impressão: Configura Imprimir Exportar JPG Copiar

Menu Manual Tutoriais Skin 3 Port. (BR)

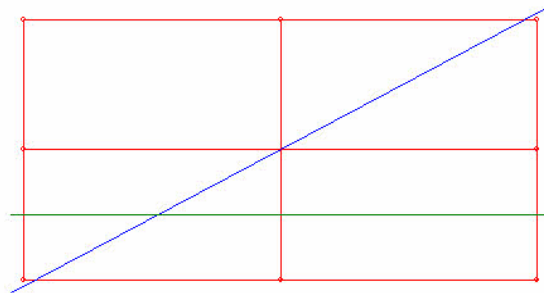
O TecAt irá calcular e plotar os potenciais e função da cota X (ou Y) da malha, ao longo de 1 a 3 linhas que iremos definir; podemos traçar linhas ao longo de toda a malha, como abaixo, ou selecionar somente um pedaço, por exemplo nas cotas em torno de um equipamento aterrado, só não é possível ter, ao mesmo tempo, linhas horizontais e verticais (pois, claro, não é possível plotar em X e Y no mesmo gráfico).

Entre 1, 2 ou 3 linhas, definidas pelas coordenadas inicial e final (X,Y) para estabelecer os perfis de corte da curva de potenciais da malha.

	P1	P2	P3
Xa	-1	-1	
Ya	-1	5	
Xb	41	41	
Yb	21	5	

OK

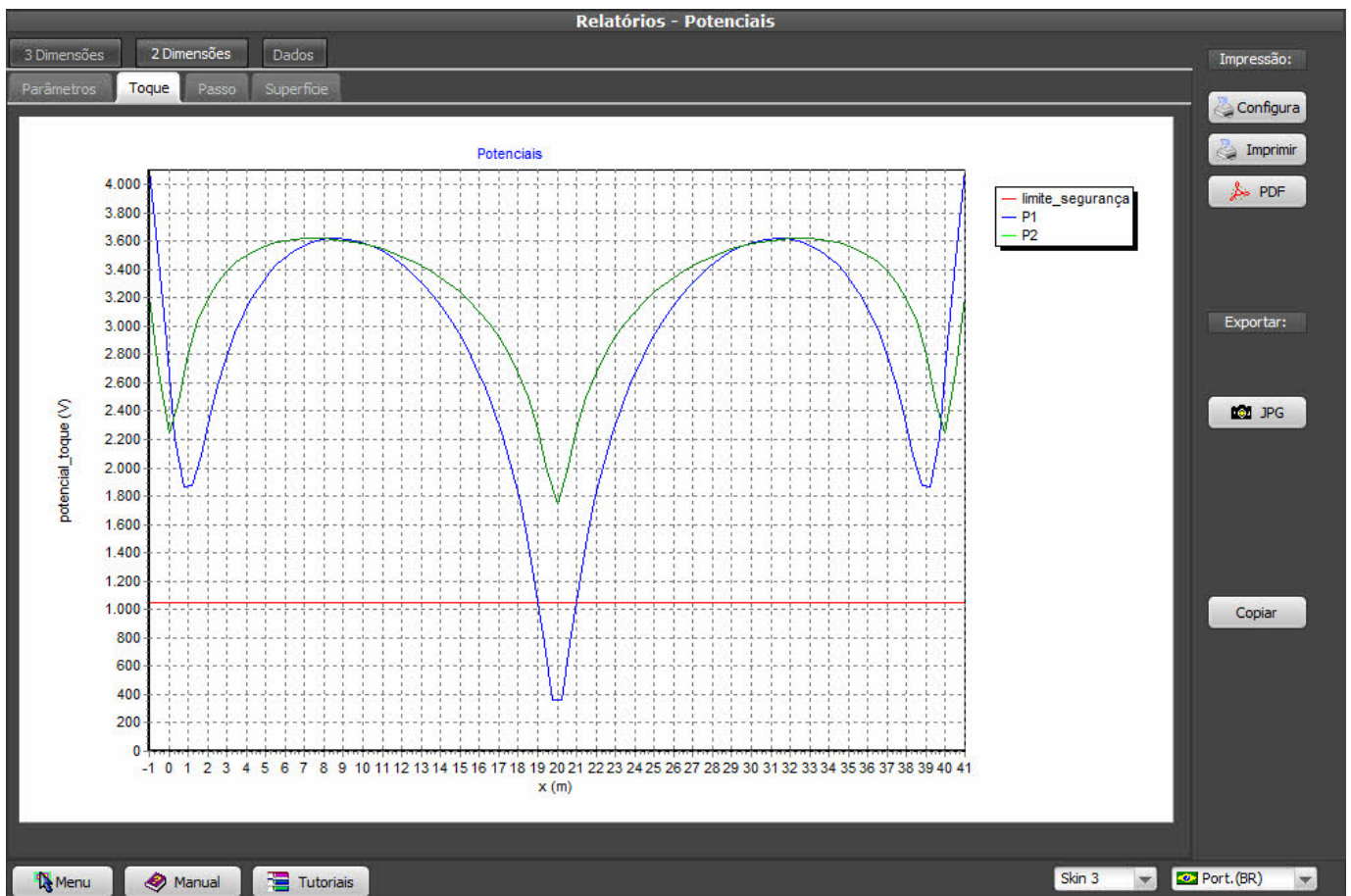
Cancela



-1

-1

Como estava selecionado o potencial de toque, temos:



Podemos ver que, nesta malha com esta corrente de curto, atingimos 3.600 Volts dentro da malha, contra um potencial admissível de somente 1.100 Volts - logo, essa malha não satisfaz, será necessário recalcular.

Relatórios - Potenciais

3 Dimensões | 2 Dimensões | Dados

Parâmetros | Toque | Passo | Superfície

Potencial:

Toque Passo Superfície

Opções:

Toque: perfil dos potenciais de toque ao longo das linhas (vide abaixo)
 Passo: idem, potenciais de passo
 Superfície: idem, potenciais na superfície em relação a um terra remoto

Coordenadas de corte: clique em Atualizar para selecionar as coordenadas dos cantos inferior esquerdo e superior direito de até 3 linhas para plotagem dos potenciais.
 obs: não colocar linhas perpendiculares

	P1	P2	P3
Xa	-1	-1	
Ya	-1	5	
Xb	41	41	
Yb	21	5	

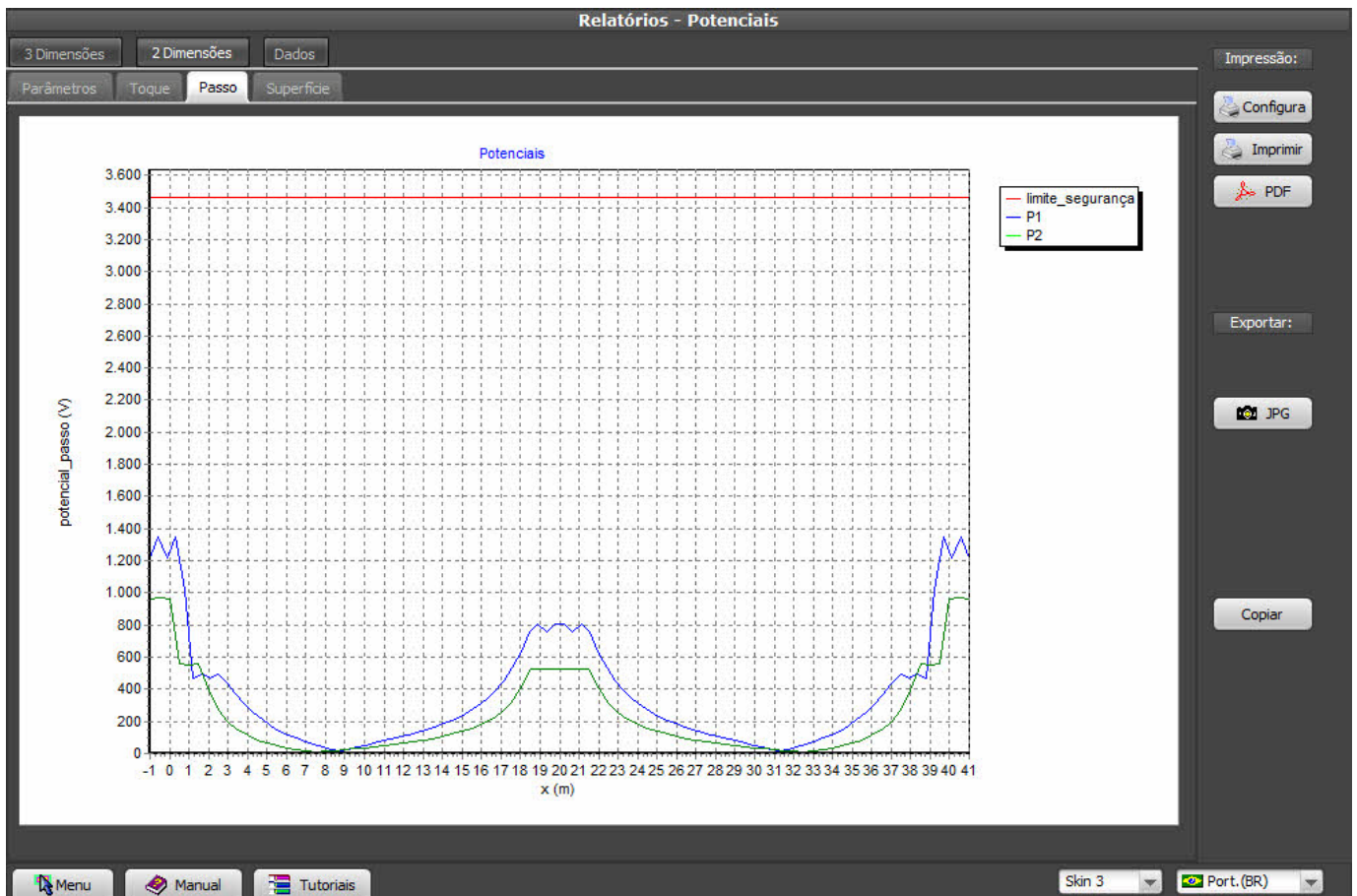
Resolução: 0,50 m

Executar Gráfico

Impressão: Configura, Imprimir, Exportar, JPG, Copiar

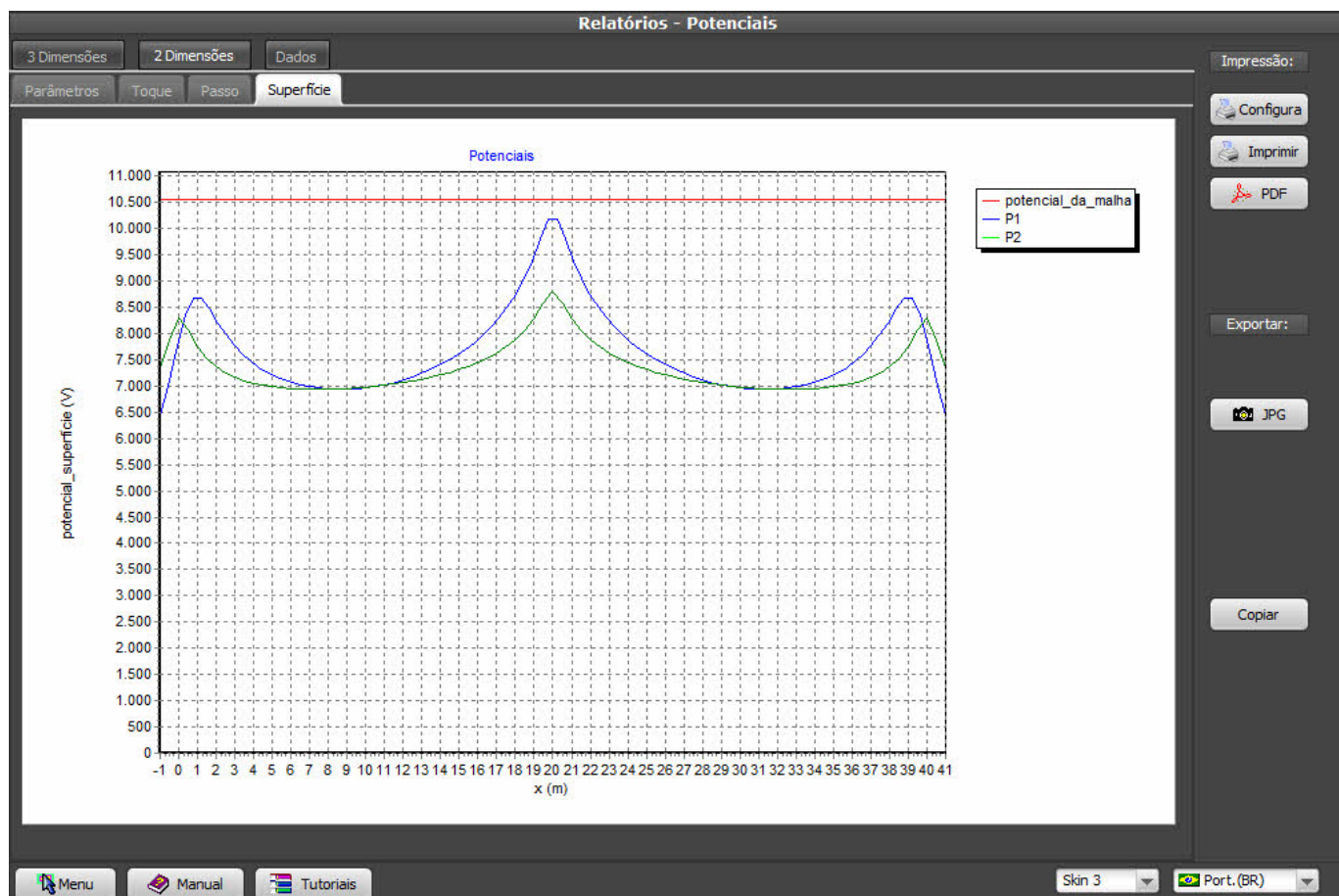
Menu | Manual | Tutoriais | Skin 3 | Port.(BR)

Selecionando Passo e clicando no botão "Executar Gráfico", temos:



Aqui vemos que os potenciais de passo estão abaixo do admissível, portanto não são perigosos.

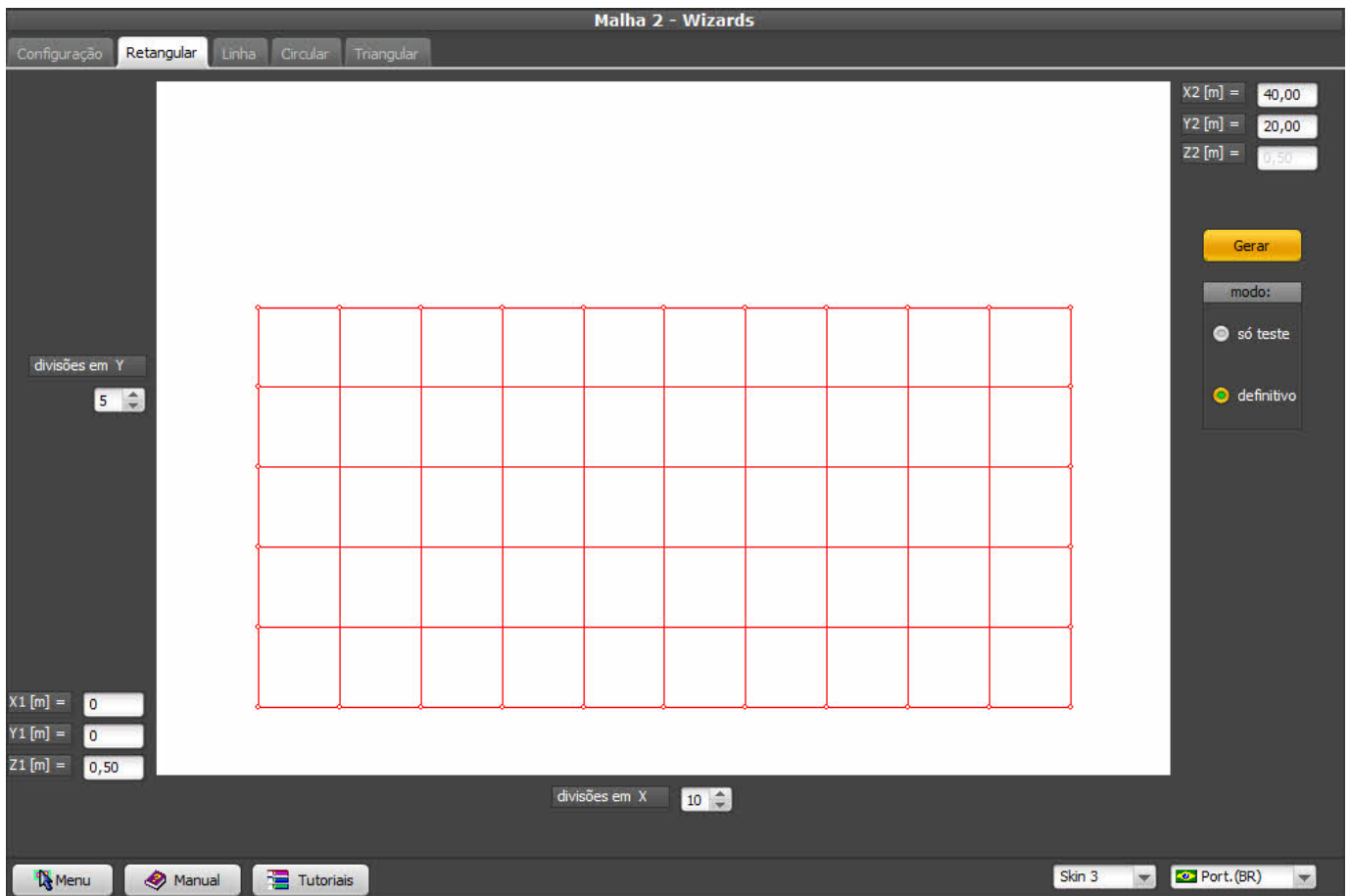
O gráfico do potencial de superfície é literalmente um corte do mesmo gráfico em 3 dimensões:



Notar que a linha horizontal vermelha não representa perigo, e sim a GPR.

10. Ciclo típico de cálculo

Vamos então re-dimensionar a malha para uma quantidade de condutores mais realista; um bom "chute" inicial é estimar meshs (divisões) de 4 a 5 metros e depois refinar para mais ou para menos conforme o resultado. No menu, vamos retornar para **Malha 2 / Wizard**, manter os parâmetros de gerar cabos e hastes (hastes somente no perímetro), malha ainda regular, apagando a malha existente; dividindo em 10 meshs na direção X e em 5 na Y, temos:



Voltando para **Malha 2 / Eletrodos**, aba **Condutores**, temos a nova tabela:

Malha 2 - Eletrodos

Condutores | Visualização | Conexões

Ordenar por: Novo Editar Deletar

Eletrodo	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2	Raio	Descrição	Tipo
n°	[m]						[mm]	material	obs:
1	0	0	0,5	40	0	0,5	4	cabo cobre 50 mm ²	
2	0	4	0,5	40	4	0,5	4	cabo cobre 50 mm ²	
3	0	8	0,5	40	8	0,5	4	cabo cobre 50 mm ²	
4	0	12	0,5	40	12	0,5	4	cabo cobre 50 mm ²	
5	0	16	0,5	40	16	0,5	4	cabo cobre 50 mm ²	
6	0	20	0,5	40	20	0,5	4	cabo cobre 50 mm ²	
7	0	0	0,5	0	20	0,5	4	cabo cobre 50 mm ²	
8	4	0	0,5	4	20	0,5	4	cabo cobre 50 mm ²	
9	8	0	0,5	8	20	0,5	4	cabo cobre 50 mm ²	
10	12	0	0,5	12	20	0,5	4	cabo cobre 50 mm ²	
11	16	0	0,5	16	20	0,5	4	cabo cobre 50 mm ²	
12	20	0	0,5	20	20	0,5	4	cabo cobre 50 mm ²	
13	24	0	0,5	24	20	0,5	4	cabo cobre 50 mm ²	
14	28	0	0,5	28	20	0,5	4	cabo cobre 50 mm ²	
15	32	0	0,5	32	20	0,5	4	cabo cobre 50 mm ²	
16	36	0	0,5	36	20	0,5	4	cabo cobre 50 mm ²	
17	40	0	0,5	40	20	0,5	4	cabo cobre 50 mm ²	
18	0	0	0,5	0	0	3,5	8	lisa aço cobreado 3 m x 5/8	
19	40	0	0,5	40	0	3,5	8	lisa aço cobreado 3 m x 5/8	
20	0	4	0,5	0	4	3,5	8	lisa aço cobreado 3 m x 5/8	
21	40	4	0,5	40	4	3,5	8	lisa aço cobreado 3 m x 5/8	
22	0	8	0,5	0	8	3,5	8	lisa aço cobreado 3 m x 5/8	
23	40	8	0,5	40	8	3,5	8	lisa aço cobreado 3 m x 5/8	
24	0	12	0,5	0	12	3,5	8	lisa aço cobreado 3 m x 5/8	

Validar

Calcular

Deletar todos

Menu | Manual | Tutoriais | Skin 3 | Port.(BR)

Clicando novamente no botão Validar e, em seguida, em **Calcular**, vamos acessar novamente o menu **Relatórios 2 / Resistência**:

Resistência da malha [Ohm]: 4,34 Corrente de falta [kA]: 2 Máximo potencial da malha [V]: 8671,49

induir subdivisões

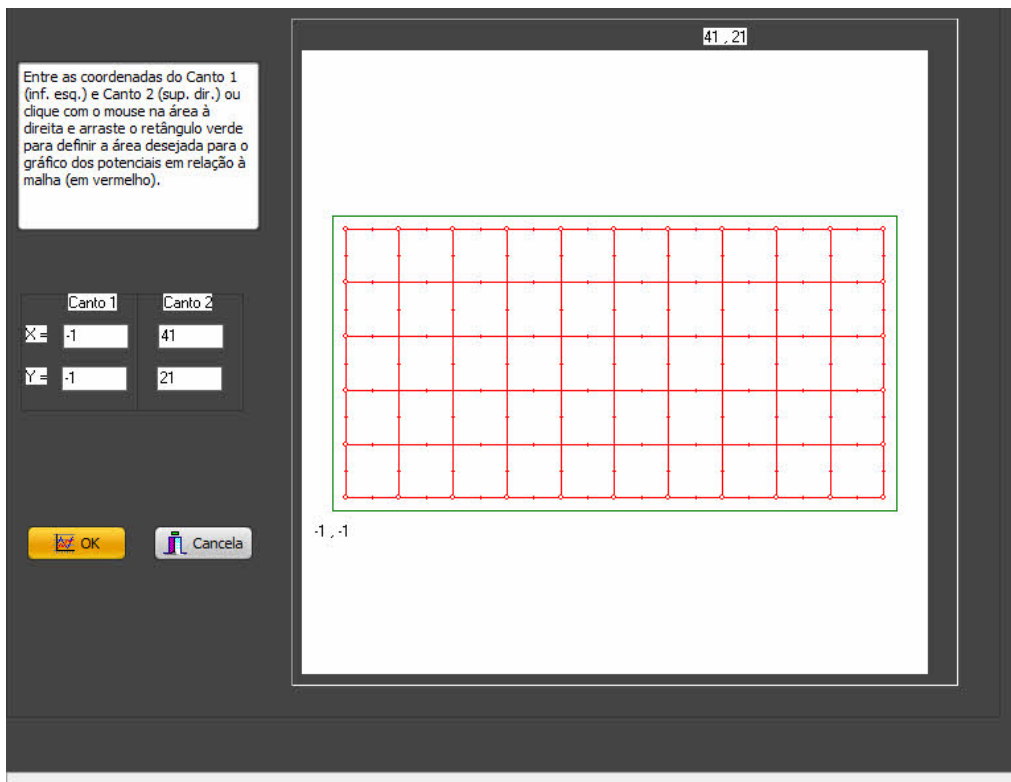
Resistência da malha [Ohm]: 4,34
 Corrente de falta [kA]: 2
 Máximo potencial da malha [V]: 8671,49

condutores:

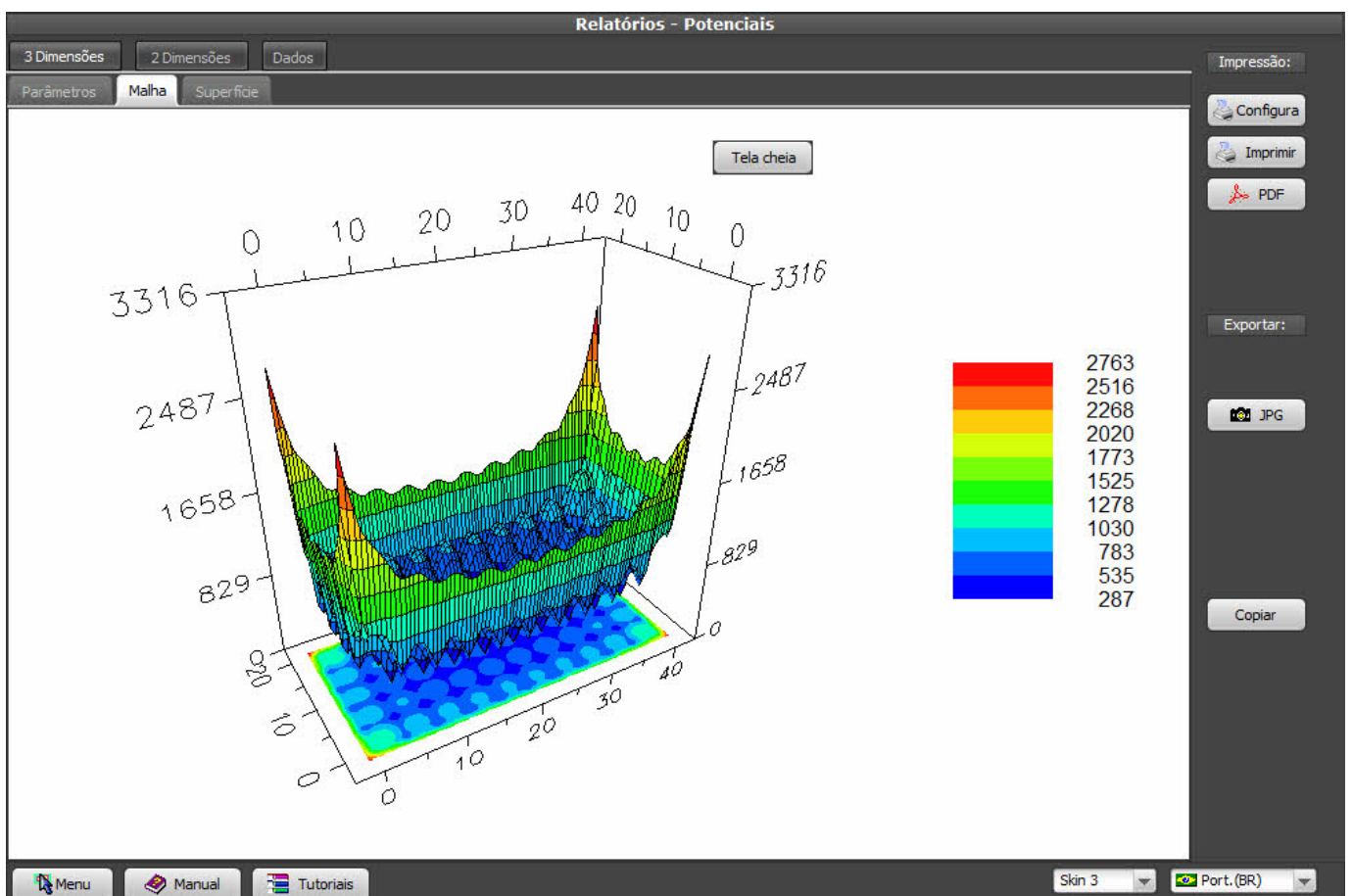
Nr.	X1 (m)	Y1 (m)	Z1 (m)	X2 (m)	Y2 (m)	Z2 (m)	Raio (mm)	NSub	Tipo
cabos									
1	0,0	0,0	0,5	40,0	0,0	0,5	4,0	11	A
2	0,0	4,0	0,5	40,0	4,0	0,5	4,0	11	A
3	0,0	8,0	0,5	40,0	8,0	0,5	4,0	11	A
4	0,0	12,0	0,5	40,0	12,0	0,5	4,0	11	A
5	0,0	16,0	0,5	40,0	16,0	0,5	4,0	11	A
6	0,0	20,0	0,5	40,0	20,0	0,5	4,0	11	A
7	0,0	0,0	0,5	0,0	20,0	0,5	4,0	6	A
8	4,0	0,0	0,5	4,0	20,0	0,5	4,0	6	A
9	8,0	0,0	0,5	8,0	20,0	0,5	4,0	6	A
10	12,0	0,0	0,5	12,0	20,0	0,5	4,0	6	A
11	16,0	0,0	0,5	16,0	20,0	0,5	4,0	6	A
12	20,0	0,0	0,5	20,0	20,0	0,5	4,0	6	A
13	24,0	0,0	0,5	24,0	20,0	0,5	4,0	6	A
14	28,0	0,0	0,5	28,0	20,0	0,5	4,0	6	A
15	32,0	0,0	0,5	32,0	20,0	0,5	4,0	6	A
16	36,0	0,0	0,5	36,0	20,0	0,5	4,0	6	A
17	40,0	0,0	0,5	40,0	20,0	0,5	4,0	6	A
hastes									
1	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	3,5	8,0	3	A
2	40,0	0,0	0,5	40,0	0,0	3,5	8,0	3	A
3	0,0	4,0	0,5	0,0	4,0	3,5	8,0	3	A

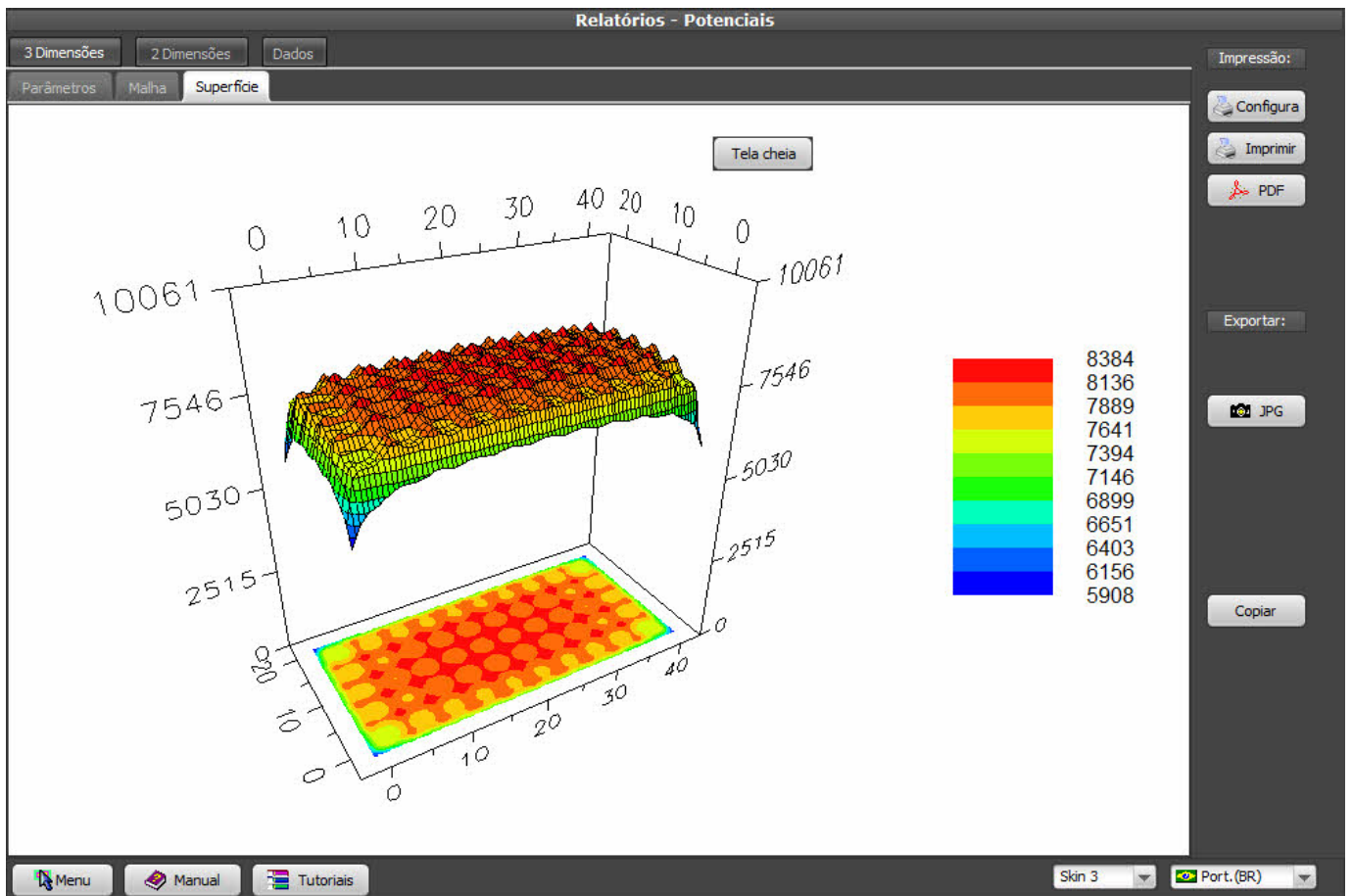
Notar que, apesar de todos os novos cabos, a resistência baixou somente uns 20% - isso é normal, pois o terreno dentro da SE fica saturado de corrente e adicionar mais cabos e hastes internamente não ajuda muito na resistência, fazemos isso apenas para efeito de controle de potenciais. No entanto, baixar um pouco a resistência corresponde a diminuir na mesma proporção a GPR - e, conseqüentemente, os potenciais de curto.

Voltando para o menu **Potenciais**, aba **Parâmetros 3D**, clique no botão **Atualizar** para termos a nova planta:



Nos gráficos 3D dos potenciais de **Malha** e **Superfície**, podemos notar que a malha com 10x5 meshes tem variações bem menores de potenciais (gradiente) entre um condutor e outro, já que estes estão menos espaçados:





No entanto, podemos ver também que continua havendo um gradiente muito forte nos cantos, principalmente saindo da SE.

Retornando a **Relatórios / Potenciais**, aba **Parâmetros 2D**, clique em **Atualizar** para re-definir as linhas:

Entre 1, 2 ou 3 linhas, definidas pelas coordenadas inicial e final (x,y) para estabelecer os perfis de corte da curva de potenciais da malha.

	P1	P2	P3
Xa	-1	-1	
Ya	-1	2	
Xb	41	41	
Yb	21	2	

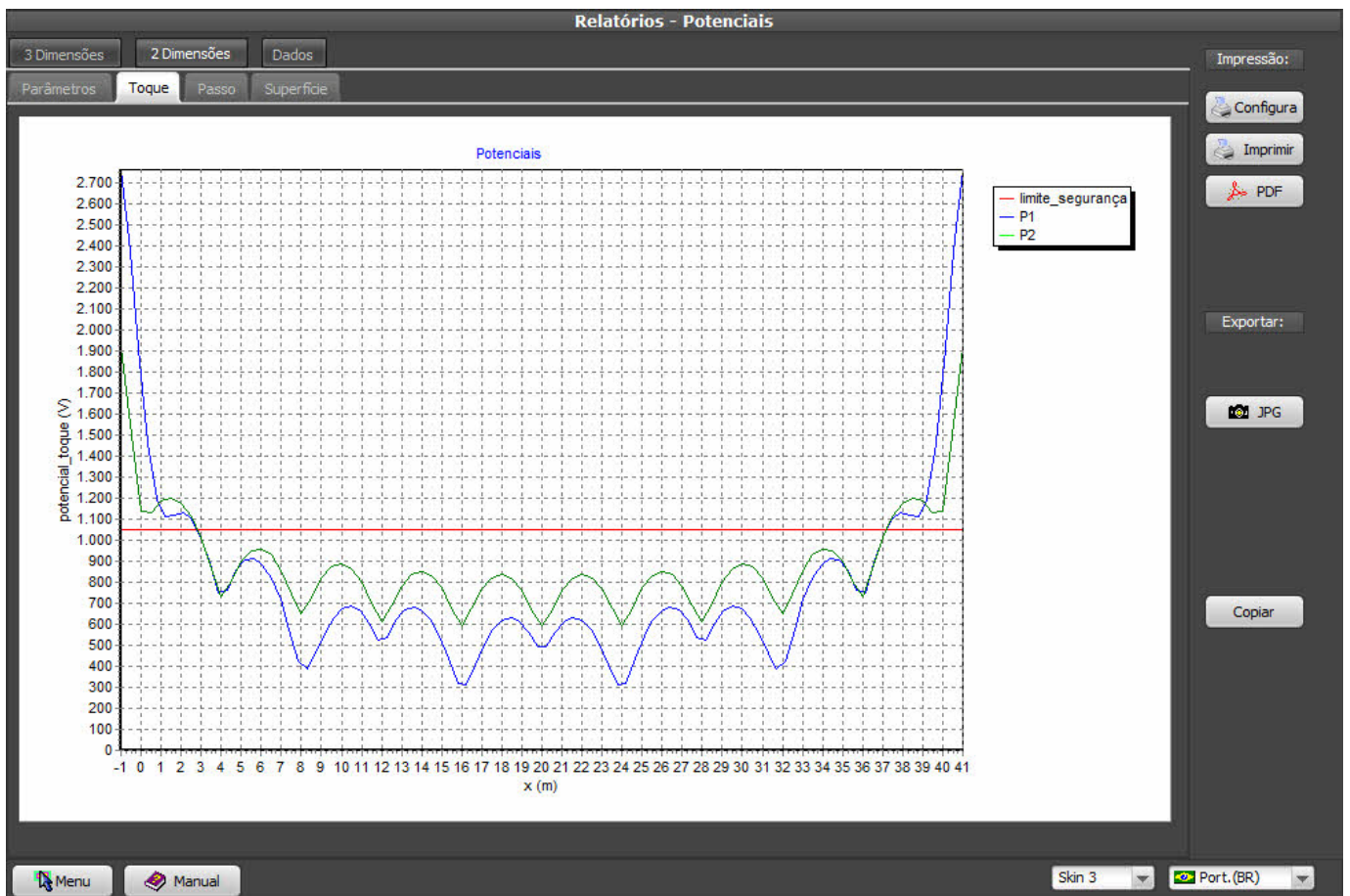
OK
Cancela

41

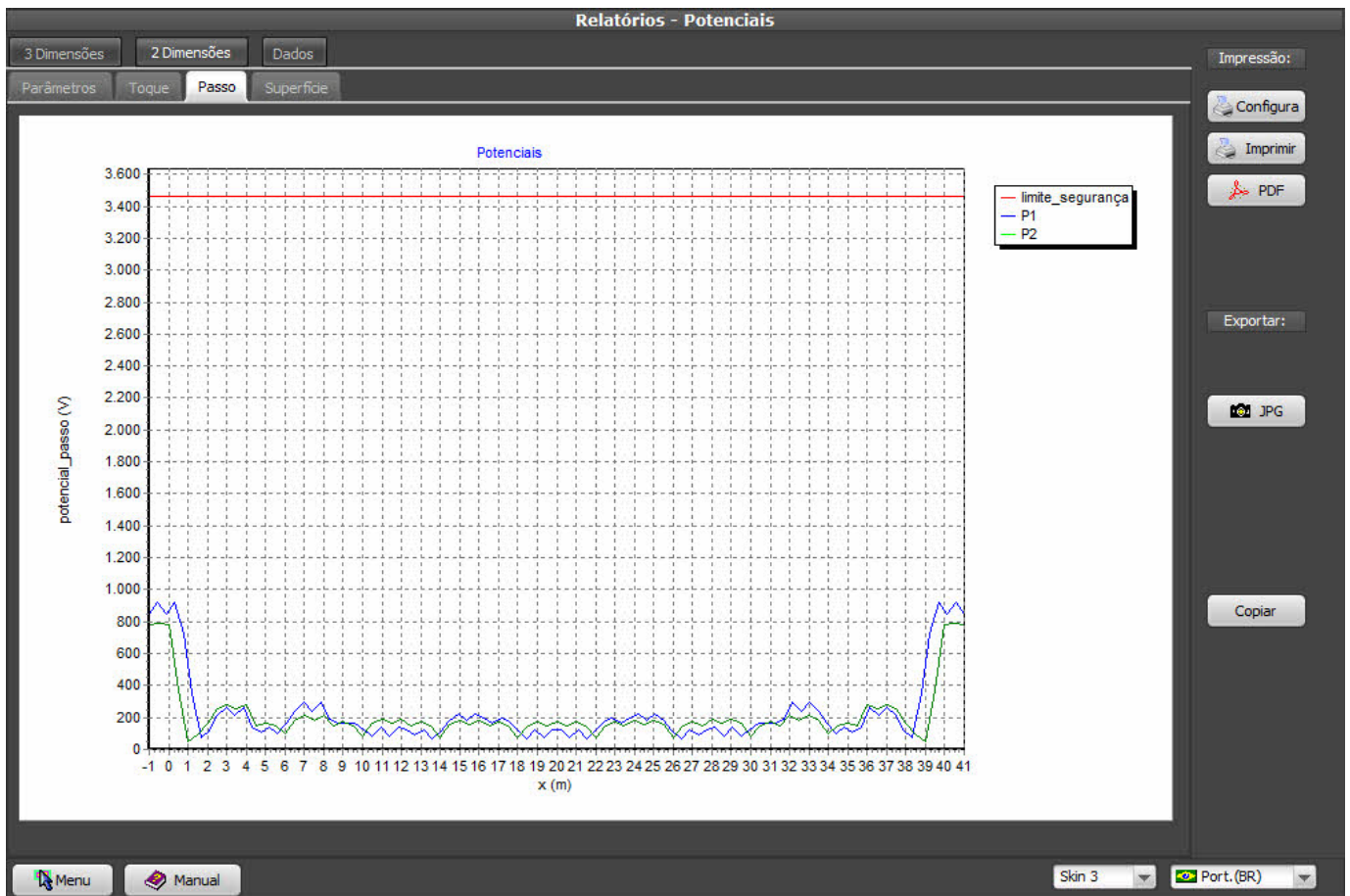
21

Como, numa malha regular, os meshes mais críticos são os dos cantos, precisamos ajustar a linha

horizontal para passar na metade do mesh (Y = 2 ao invés de 5):



Agora vemos que os potenciais de toque de toda a região central da malha estão abaixo do admissível, porém ainda temos potenciais perigosos nos cantos e fora da malha.



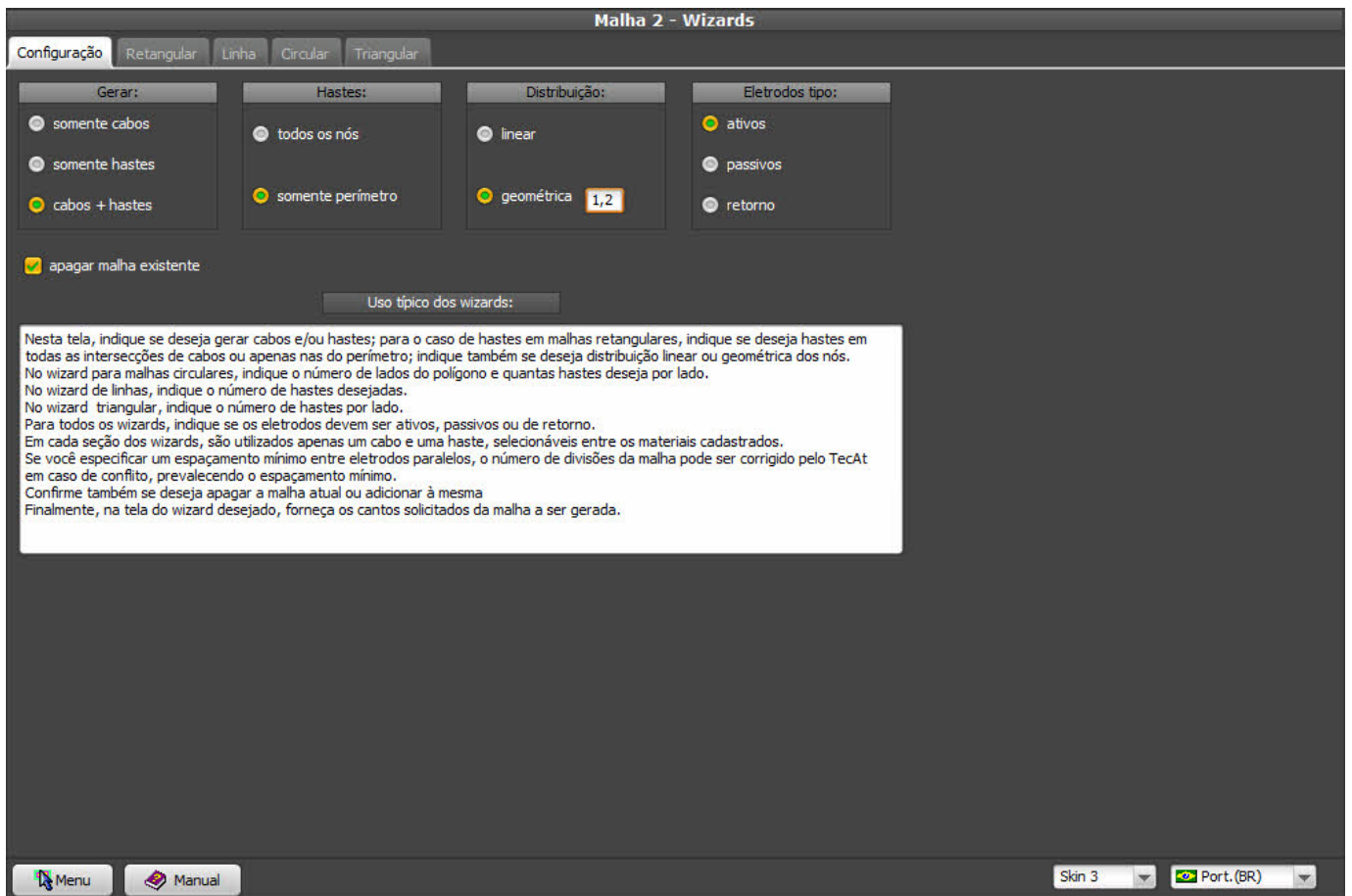
Os potenciais de passo, como esperado, estão bem abaixo do admissível.

Potenciais de superfície:

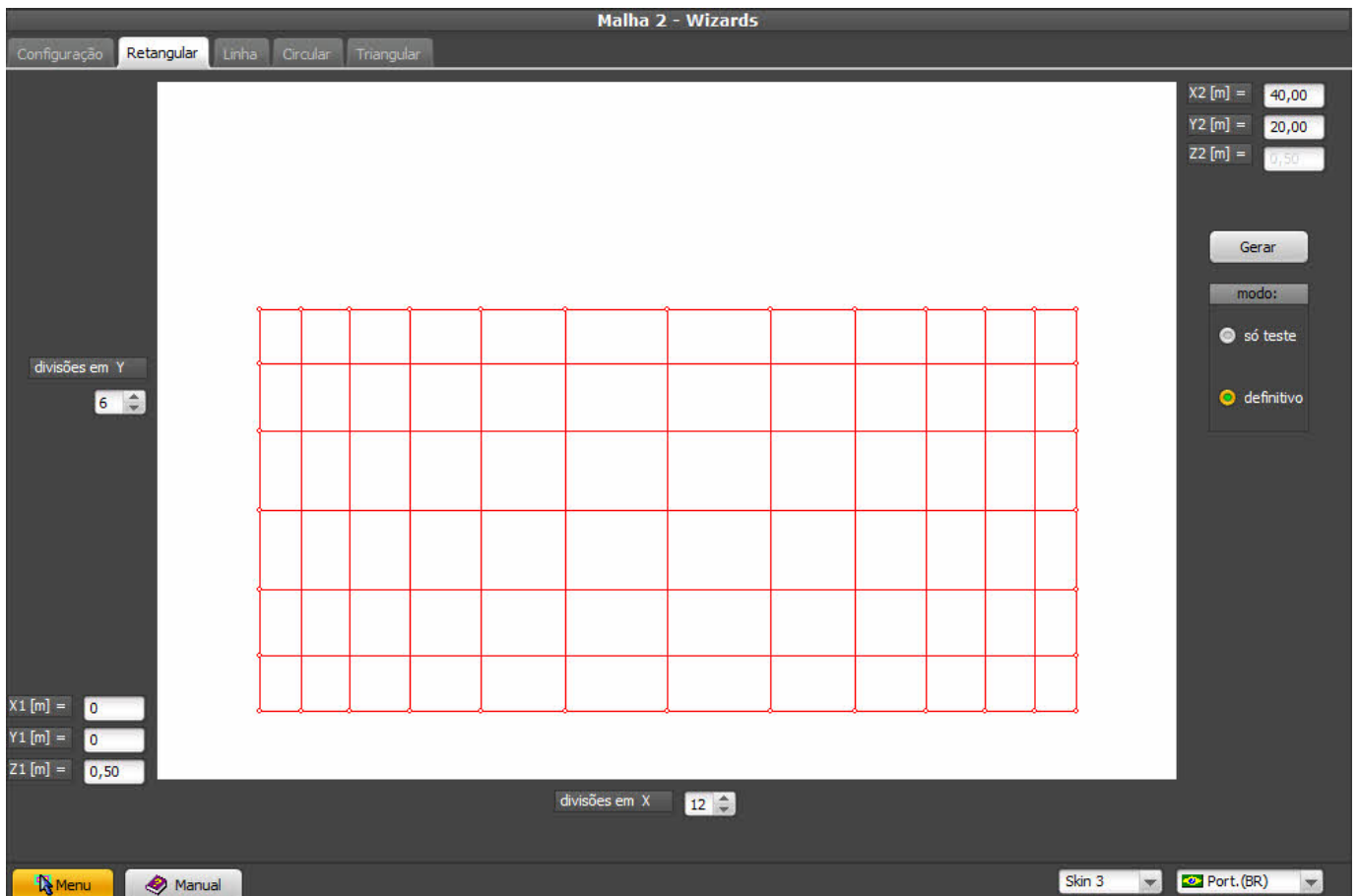


11. Wizards - malhas com divisões em progressão geométrica

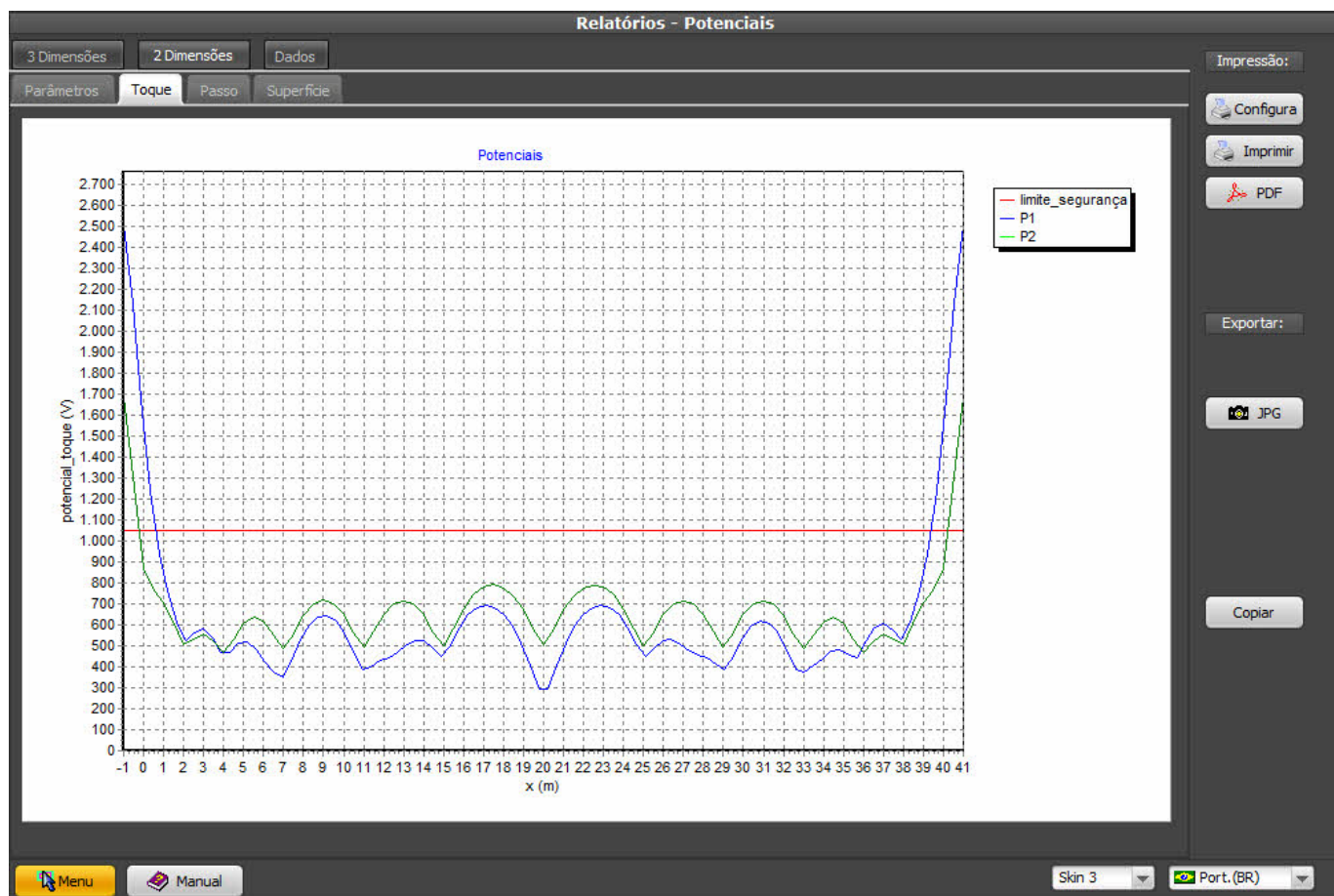
Poderíamos continuar dividindo a malha em meshes regulares cada vez menores até que o potencial de toque ficasse abaixo do admissível, mas há uma solução mais elegante e bem mais econômica: já que a corrente se distribui mais nas beiradas da SE, vamos dividir de forma geométrica o espaçamento dos condutores para concentrá-los onde são mais necessários, "apertando" os meshes dos cantos e "engordando" os centrais; no Wizard, selecionamos agora Distribuição Geométrica e estipulamos uma razão 1.2, ou seja, o segundo mesh terá uma dimensão 20% maior que o primeiro, o terceiro será 20% maior que o segundo, etc., até o centro da malha, onde começam a diminuir novamente:



Dividindo em 6 vezes em Y e 12 em X, temos:



Agora voltamos para **Malha 2 / Eletrodos**, clicamos em **Validar**, em seguida em **Calcular**, depois **Relatório 2 / Resistência** e finalmente voltamos aos **Potenciais** em 3 e 2 dimensões; o que realmente nos interessa são os potenciais de **Toque**:



Agora toda a área interna da SE está segura para potenciais de toque e passo.

A rigor, precisamos garantir os potenciais de passo em toda a área, mas os potenciais de toque só necessitam estar abaixo do admissível nas regiões até um metro das estruturas metálicas e equipamentos aterrados; como as SE estão cada vez mais compactas e como é usual utilizar cerca metálica, acabamos por verificar a área toda, principalmente se não dispusermos do lay-out final da SE na fase de projeto da malha.

12. Alternativas para o controle dos potenciais no entorno da SE

Como pode ser visto na última tela acima, os potenciais de toque e passo estão satisfatórios dentro da SE, porém precisamos verificar também o que está ocorrendo no entorno da mesma; se a cerca for metálica - ou ainda um muro com pilares de concreto armado, onde a ferragem pode receber uma tensão induzida pelo solo - devemos nos preocupar com a possibilidade de uma pessoa vir a tocá-la durante um curto.

Se não tivermos a camada de brita ao redor da SE, os potenciais admissíveis serão ainda mais baixos - para toque, podemos ter menos de 300 Volts (você pode simular isso em **Malha 2 / Admissíveis**, desligando a brita e selecionando 50 kg para um pedestre desconhecido), o que complica ainda mais o cenário. Notar que uma calçada de concreto NÃO é isolante como a brita, o concreto em contato com o solo absorve umidade e fica com uma resistividade bem baixa, da ordem de 50 a 100 Ohm.m.

A solução vai depender do local: se a SE está dentro do terreno da instalação, podemos colocar a brita até 1 metro ao redor - o que nem sempre garante um toque admissível, como no exemplo acima - ou podemos estender a malha até um metro fora da SE (no exemplo acima, seria satisfatório); entretanto, se a SE está no limite do terreno, onde um pedestre pode tocar a cerca, talvez seja necessário colocar um revestimento realmente isolante - por exemplo uma camada de asfalto.

Por último, não devemos nos esquecer dos potenciais de passo fora da SE: para isso, você pode aumentar a área de análise do **TecAt**, por exemplo até 5 metros além da malha; em alguns casos o gradiente pode ser perigoso, já que não temos a brita.

Officina de Mydia (C) 2015 - contato: vendas@mydia.com