

```

%programa para calcular a imped.de um eletrodo vertical em um solo
multicamadas
clc
close all
clear all
%=====
Ns=1000;           % Qtde de pontos de frequência
fi=log10(1e2);    % Frequêncianicial
ff=log10(1e7);    % Frequência final
freq=logspace(fi,ff,Ns); % Vetor de frequências

% Cálculo da impedância e admitância

% =====
% Dados do solo e geometria do eletrodo
% -----
epso=8.8541878176e-12; % Epsilon zero = permissividade do vácuo [F/m]
mio=4*pi*1e-7;        % permeabilidade magnética do vácuo [H/m]
epsr=10 ;             % permissividade relativa
mir=1;               % permeabilidade relativa
eps=epso*epsr;       % permissividade do solo [F/m]
mi=mio*mir;          % permeabilidade do solo [H/m]

raio=12.5/1000;      % raio do eletrodo (~50mm^2) em [m]
                    % profundidade do eletrodo enterrado (m)

H1=3;% comprimento do eletrodo na primeira camada
H2=2;% comprimento do eletrodo na segunda camada
H3=13;% comprimento do eletrodo na terceira camada

ro1=1000;
ro2=500;
ro3=500;

% -----

% eletrodo enterrando na primeira camada 1
for k=1:length(freq)

k
length(freq)

s=i*2*pi*freq(k);

% resistividade do solo na camada 1

r1=1.724e-8/(pi*raio^2)*0; %resistência do cobre (eletrodo) [Ohm/m]
R1=(ro1./(2*pi*H1)).*(log(4.*H1./raio)-1); %resistência transversal [Ohm.m]
C1=(ro1*eps)/R1; %capacitânciatransversal [F/m]
L1=(mi.*H1./(2*pi)).*(log(2.*H1./raio)-1); %ind. long.(TL-image) [H/m]

gli=1./(R1.*H1);

```

```

l1i=L1./H1;
cli=C1./H1;

z1i = (r1+s.*l1i);
y1i = gli+s.*cli;

z01(k)=sqrt(z1i/y1i); %impedância característica
gama1(k)=sqrt((r1+s.*l1i).*(gli+s.*cli)); %função de propagação
za1(k)=z01(k).*coth(gama1(k).*H1); %imped. harmôn. do eletrodo (no term.
emissor z=Va/Ia)

%formacao de q1

a1(k)=cosh(gama1(k).*H1);
b1(k)= z01(k).*sinh(gama1(k).*H1);
c1(k)= (1./z01(k)).*sinh(gama1(k).*H1);
d1(k)=a1(k);

q1(:, :, k)=[a1(k) b1(k); c1(k) d1(k)];% quadripolo 1

Zeq1(k)=abs(a1(k)./c1(k));
fase1(k)=angle((a1(k)./c1(k)))*180/pi;
end
%

for k=1:length(freq)
    k

length(freq)
s=i*2*pi*freq(k);

% resistividade do solo na camada 2

r2=1.724e-8/(pi*raio^2)*0; %resistência do cobre (eletrodo) [Ohm/m]
R2=(ro2./(2*pi*H2)).*(log(4.*H2./raio)-1); %resistência transversal [Ohm.m]
C2=(ro2*eps)/R2; %capacitânciatransversal [F/m]
L2=(mi.*H2./(2*pi)).*(log(2.*H2./raio)-1); %ind. long.(TL-image) [H/m]

g12=1./(R2.*H2);
l12=L2./H2;
c12=C2./H2;
z12 = (r2+s.*l12);
y12 = g12+s.*c12;

z02(k)=sqrt(z12/y12); %impedância característica
gama2(k)=sqrt((r2+s.*l12).*(g12+s.*c12)); %função de propagação
za2(k)=z02(k).*coth(gama2(k).*H2); %imped. harmôn. do eletrodo (no term.
emissor z=Va/Ia)

%formacao de q2

a2(k)=cosh(gama2(k).*H2);

```

```

b2(k)= zo2(k).*sinh(gama2(k).*H2);
c2(k)= (1./zo2(k)).*sinh(gama2(k).*H2);
d2(k)=a2(k);

q2(:, :, k)=[a2(k) b2(k); c2(k) d2(k)];

Zeq2(k)=abs(a2(k)./c2(k));
fase2(k)=angle((a2(k)./c2(k)))*180/pi;
end

% resistividade do solo na camada 3
for k=1:length(freq)
    k
    length(freq)
    s=i*2*pi*freq(k)

r3=1.724e-8/(pi*raio^2)*0; %resistência do cobre (eletrodo) [Ohm/m]
R3=(ro3./(2*pi*H3)).*(log(4.*H3./raio)-1); %resistência transversal [Ohm.m]
C3=(ro3*eps)/R3; %capacitânciatransversal [F/m]
L3=(mi.*H3./(2*pi)).*(log(2.*H3./raio)-1); %ind. long.(TL-image) [H/m]
g13=1./(R3.*H3);
l13=L3./H3;
c13=C3./H3;
z13 = (r3+s.*l13);
y13 = g13+s.*c13;

zo3(k)=sqrt(z13/y13); %impedância característica
gama3(k)=sqrt((r3+s.*l13).(g13+s.*c13)); %função de propagação
za3(k)=zo3(k).*coth(gama3(k).*H3); %imped. harmôn. do eletrodo (no term.
emissor z=Va/Ia)

%formacao de q3

a3(k)=cosh(gama3(k).*H3);
b3(k)= zo3(k).*sinh(gama3(k).*H3);
c3(k)= (1./zo3(k)).*sinh(gama3(k).*H3);
d3(k)=a3(k);

q3(:, :, k)=[a3(k) b3(k); c3(k) d3(k)];

Zeq3(k)=abs(a3(k)./c3(k));
fase3(k)=angle((a3(k)./c3(k)))*180/pi;

end

for k=1:length(freq)% quadripolo equiavalente

Q(:, :, k)=q1(:, :, k);
%Q(:, :, k)=q1(:, :, k)*q2(:, :, k);
% %Q(:, :, k)=q1(:, :, k)*q2(:, :, k)*q3(:, :, k);
%
A(k)=Q(1, 1, k);
C(k)=Q(2, 1, k);
Zeq(k)=(abs(A(k)./C(k)));

```

```

fase(k)=1*angle(A(k)./C(k))*180/pi;
Yeq(k)= 1./Zeq(k);
fase_adm(k)=-1*fase(k);

Yeq(k)= 1./Zeq(k);
fase_adm(k)=-1*fase(k);

end
%=====Graficos=====
fonte= 24;

figure(1)
semilogx(freq,Zeq,'b','linewidth',2)
xlabel('Frequency (Hz)','Fontweight','bold','FontSize',fonte)
ylabel('|Z(\omega)| (\Omega)','Fontweight','bold','FontSize',fonte)
title('|Z| for horizontal electrode with constant electrical soil
parameters','Fontweight','bold')
set(gca,'FontWeight','bold')
set(gca,'FontSize',fonte)
grid

figure(2)
semilogx(freq,fase,'r-.','linewidth',2)
xlabel('Frequency (Hz)','Fontweight','bold','FontSize',fonte)
ylabel('\angle Z(\omega) (deg)','Fontweight','bold','FontSize',fonte)
title('Phase for horizontal electrode x Frequency','Fontweight','bold')
set(gca,'FontWeight','bold')
set(gca,'FontSize',fonte)
grid
%=====

```