



Instituto Tecnológico de Aeronáutica

Aplicativo para cálculo de Link de comunicações

André Marcello Soto Riva Figueira

Daniel Prince Cerneiro

Dylan N. Sugimoto

Gabriel Adriano de Melo

São José dos Campos

12/07/2017

Introdução

A proposta desse trabalho é fornecer um aplicativo web que a partir de alguns parâmetros sobre um link de comunicação responde se esse link é viável ou não, e que possui uma interface amigável com o usuário. Para isso, considerou-se como parâmetro de viabilidade do link um limiar de potência recebida, ou seja, para um link de comunicação ser viável é preciso que a potência recebida, que é calculada a partir de outros parâmetros fornecidos pelo usuário e utilizando o modelo de “Linha de Visada Direta”, ou o modelo “Reflexão de dois raios” ou o modelo “Difração em gume de faca”, seja maior que o limiar de potência fornecido pelo usuário.

Como citado anteriormente, o aplicativo desse trabalho considera três possíveis modelos para cálculo da potência recebida por antena. O primeiro modelo é o modelo da “Linha de Visada Direta” que considera que não há obstáculo no caminho direto da antena transmissora e a antena receptora e que desconsidera o efeito de possíveis raios refletidos que cheguem na antena receptora, ou simplesmente considera que não há raios refletidos chegando em qualquer uma das antenas. Esse modelo é a abordagem mais simples e que dá a base para o cálculo da potência recebida por uma antena por meio da fórmula de Friis (1).

$$P_r(d) = P_T \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \frac{G_T G_R}{L} \quad (1),$$

em que P_r é a potência recebida, P_T é a potência transmitida, λ é o comprimento de onda, d é a distância entre as antenas, G_T é o ganho da antena transmissora, G_R é o ganho da antena receptora e L são as perdas devido ao meio dissipativo.

O segundo modelo é o modelo da “Reflexão de dois raios”, que considera o efeito da interferência de um raio refletido na recepção de um raio direto, conforme se observa na Figura 1.

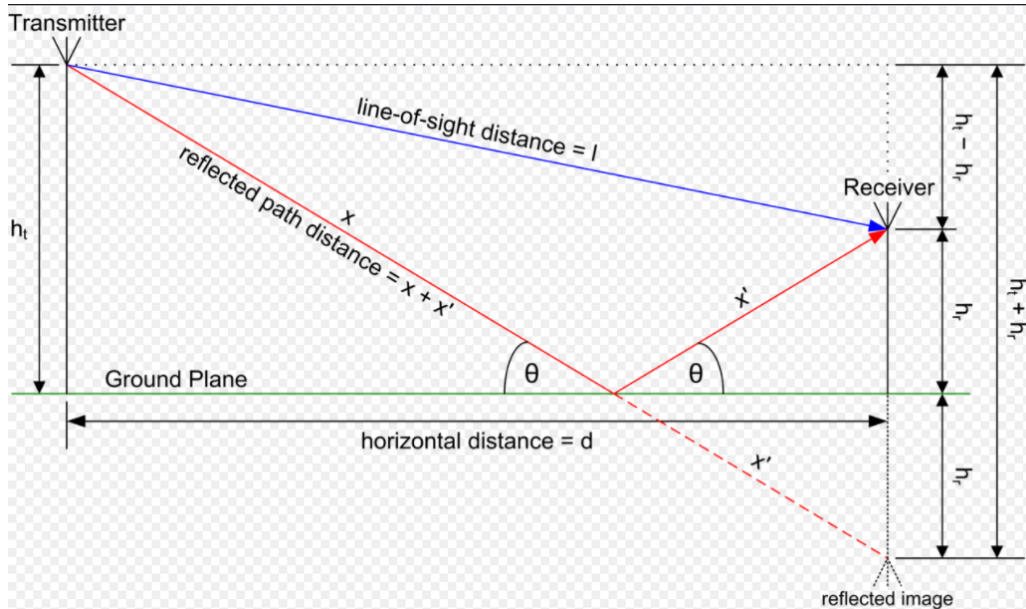


Figura 1: ilustração contexto do modelo “Reflexão de dois raios”.

Nesse modelo, as antenas podem ter alturas diferentes e a potência recebida cai com a quarta potência da distância entre as antenas, conforme a equação 2.

$$P_r(d) = P_T G_{i_T} G_{i_R} \frac{h_T^2 h_R^2}{d^4} \quad (2),$$

em que P_r é a potência recebida, P_T é a potência transmitida, d é a distância entre as antenas, G_{i_T} é o ganho da antena transmissora, G_{i_R} é o ganho da antena receptora, h_T é a altura da antena transmissora e h_R é a altura da antena receptora.

O terceiro modelo considera o efeito da difração da onda eletromagnética, que ocorre quando há um obstáculo entre a antena transmissora e a antena receptora, e é chamado de modelo de “Gume de Faca”. Esse modelo possibilita a estimativa da atenuação causada pela difração do sinal sem fio calculando o parâmetro de Fresnel pela equação 3 e utilizando a tabela de equações de perdas de ganho da Figura 2.

$$v = h \sqrt{\frac{2(d_1 + d_2)}{\lambda d_1 d_2}} \quad (3),$$

em que v é o parâmetro de Fresnel, h é altura do gume de faca em relação a linha de visada direta, d_1 é a distância da antena transmissora até o gume de faca, d_2 é a distância da antena receptora até o gume de faca e λ é o comprimento de onda.

Lee [1985] dá a seguinte solução aproximada para G_d :	
$G_d[\text{dB}] = 0$	$v \leq -1 \quad (58a)$
$G_d[\text{dB}] = 20 \log(0,5 - 0,62v)$	$-1 \leq v \leq 0$
$G_d[\text{dB}] = 20 \log[0,5 \exp(-0,95v)]$	$0 \leq v \leq 1$
$G_d[\text{dB}] = 20 \log\left[0,4 - \sqrt{0,1184 - (0,38 - 0,1v)^2}\right]$	$1 \leq v \leq 2,4$
$G_d[\text{dB}] = 20 \log\left(\frac{0,225}{v}\right)$	$v > 2,4$

Figura 2: Tabela de equações das perdas de ganho.

Descrição do Algoritmo

Os cálculos realizados no aplicativo são executados no código do arquivo *“LinkCommunication_calculate_parameters.js”*. A função *“dbmParaW”* transforma a potência de dBm para watts (W). A segunda função, *“lambda”*, calcula o comprimento de onda a partir da frequência fornecida pelo usuário, e considerando a velocidade de propagação no vácuo ($3 \cdot 10^8$ m/s). Na terceira função, *“Prr”*, é calculada a potência recebida de acordo com o modelo de reflexão, e, que utiliza a equação 2 acima. A potência recebida, que é calculada na função *“Prl”*, é considerando o modelo de linha de visada direta, e que faz uso da *“Fórmula de Friis”* (equação 1). Por fim, as equações do modelo de gume de faca foram implementadas nas funções *“v”*, que calcula o parâmetro de Fresnel (equação 3), e *“Gd”*, que calcula as perdas de ganho (equações da Figura 2).

O arquivo *“codigo.js”* é responsável por ler as entradas e executar as funções que realizam os cálculos, além de gerar o gráfico em torno do ponto desejado.

Utilização

O aplicativo é de simples utilização, sendo necessário apenas que o usuário preencha os campos de entrada com os valores desejados e clique em calcular para a exibição da resposta. As entradas e as suas unidades estão especificadas na tela do aplicativo, conforme indicado na Figura 3. As entradas são a potência do transmissor (em W), o ganho do transmissor na direção do receptor (em dBi), o ganho do receptor na direção do gerador (em dBi), a frequência do sinal eletromagnético enviado entre as antenas (em MHz), distância entre as antenas (em km), a sensibilidade do receptor (em dBm) e o modelo de transmissão considerado, assim como os os parâmetros adicionais necessários para o modelo escolhido.

Para o modelo Linha de visada direta, não se faz necessário nenhum parâmetro adicional. Já para difração por gume de faca, os parâmetros altura do gume de faca (em m) e a distância do gume de faca (em km) devem ser fornecidos. Finalmente, para o modelo Reflexão no solo, se fazem necessárias as alturas do transmissor e do receptor (em m). Caso o usuário deseje fazer o cálculo considerando todos os modelos, são necessários todos os parâmetros de cada modelo, como se observa na Figura 3.

Escolhido o modelo de transmissão e tendo preenchido todos os parâmetros, basta clicar em calcular para que as respostas sejam obtidas.

Lab 4 - ELE-12 - Links de Comunicação

Especifique os parâmetros para calcular a potência recebida:

Potência do transmissor	P_T :	<input type="text" value="320"/>	(W)
Ganho do transmissor	G_T :	<input type="text" value="32"/>	(dBi)
Ganho do receptor	G_R :	<input type="text" value="40"/>	(dBi)
Frequência de operação	f :	<input type="text" value="15000"/>	(MHz)
Distância	d :	<input type="text" value="24567"/>	(Km)
Modelo de Transmissão		<input type="text" value="Todos os modelos"/>	▼
Sensibilidade do receptor	S :	<input type="text" value="-90"/>	(dBm)
Altura do gume de faca	h_G :	<input type="text" value="10"/>	(m)
Distância do gume de faca	d_f :	<input type="text" value="10000"/>	(km)
Altura do Transmissor	h_T :	<input type="text" value="10"/>	(m)
Altura do Receptor	h_R :	<input type="text" value="10"/>	(m)

Clique em calcular para obter as respostas.

Calcular

Figura 3 – Interface de entrada do aplicativo.

O resultado será exibido abaixo do botão de calcular, sendo calculada a possibilidade ou não do link de comunicação, sendo possível o link caso a potência recebida seja maior ou igual à sensibilidade do receptor e impossível caso contrário. Além disso, também é gerado um gráfico da análise da potência recebida (em dBm) em função da distância entre as antenas, como mostra a Figura 4.

Observe a linearidade do gráfico. Isto se deve à potência estar em unidade logarítmica (dBm), assim como a distância entre as antenas estar com espaçamento logarítmico no gráfico. Para os modelos linha de visada direta, difração por gume de faca ou reflexão no solo, será exibida apenas a reta correspondente à potência recebida naquele modelo. Para todos os modelos, será exibida as 3 retas, com cores diferentes e uma legenda para identificar cada uma.

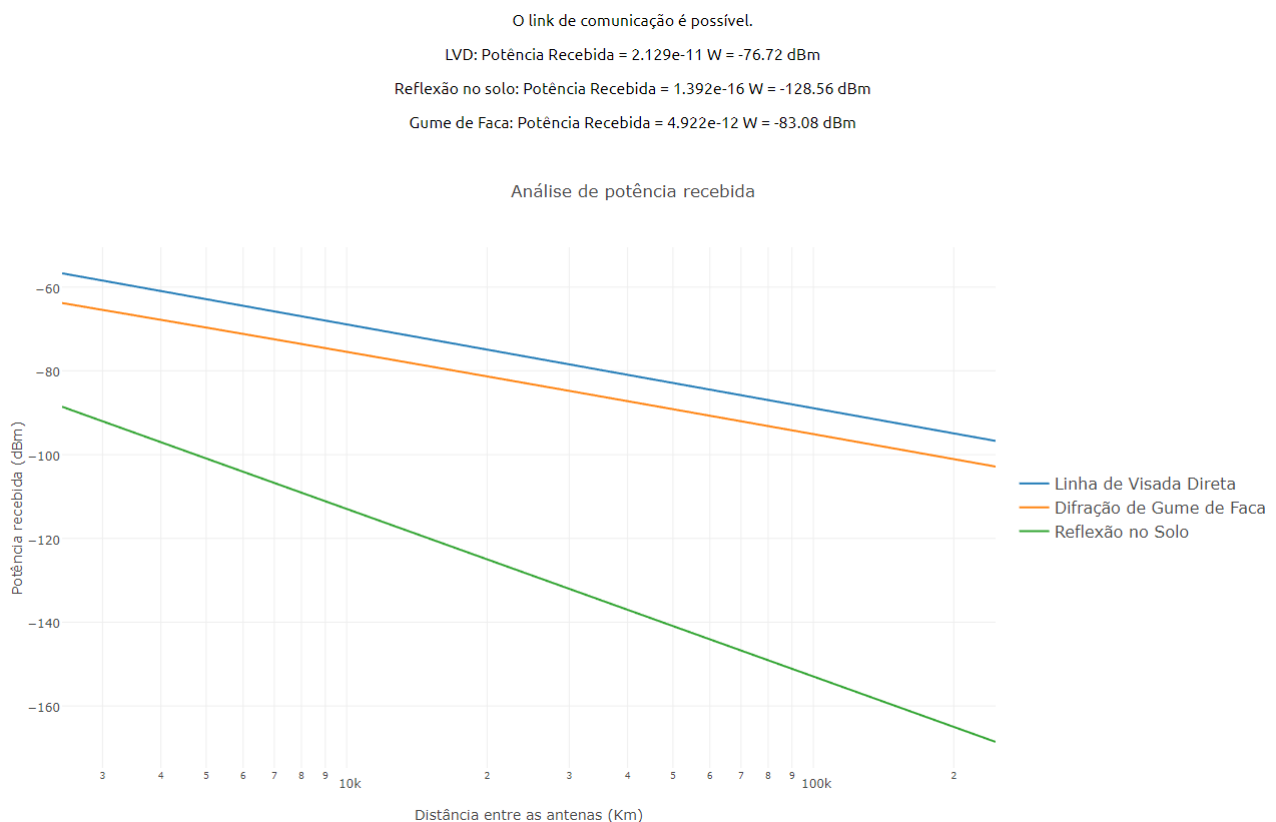


Figura 4 – Resultados calculados pelo aplicativo.

Conclusão

O presente trabalho realiza o cálculo da possibilidade da formação de um link de comunicação entre duas antenas, além da potência recebida em função da distância entre as antenas. O primeiro cálculo é expresso na forma de texto e o segundo cálculo na forma de um gráfico.

É interessante a observação do gráfico com os três modelos juntos como comparação dos modelos. No modelo de reflexão no solo, por exemplo, pode-se verificar que a potência recebida é bem menor e decai mais rapidamente com a distância que nos outros modelos. Isto se deve ao fato de que quando se aumenta a distância entre as antenas, a diferença de fase entre o sinal recebido por visada direta e o sinal recebido por reflexão se aproxima de 180° , causando interferência destrutiva.

O trabalho cumpriu com a sua proposta pedagógica, no sentido de aplicar o conteúdo aprendido na disciplina de ELE-12 para construção de uma aplicação web de fácil uso, permitindo assim a futura consulta da viabilidade de links de comunicação e do gráfico da potência recebida por cada modelo.

Anexo

LinkCommunication_calculate_parameters.js

```
1 /*
2  * To change this license header, choose License Headers in Project
Properties.
3  * To change this template file, choose Tools | Templates
4  * and open the template in the editor.
5  */
6
7 /**
8  * @function dbmParaW Transforma de dBm para Watts
9  * @param {number} dbm A potência em dBm
10 * @returns {number} A potência em Watts
11 */
12 function dbmParaW(dbm){
13     return Math.pow(10, dbm/10)/1000;
14 }
15
16 /**
17 * @function [beta] Calcula o comprimento de onda
18 * @constant {number} c velocidade da luz
19 * @param {number} f frequencia
20 * @returns comprimento de onda
21 */
22 function lambda(f){
23     c = 300000000;
24     return c/f;
25 }
26
27 /**
28 * @function [Prr] Calcula a potencia recebida modelo 2 raios refletidos
29 * @param {number} Pt potencia transmitida em Watts
30 * @param {number} Gt ganho do transmissor NAO eh em dB
31 * @param {number} Gr ganho do receptor NAO eh em dB
32 * @param {number} ht altura do transmissor
33 * @param {number} hr altura do receptor
34 * @param {number} d distancia entre as antenas em metros
35 * @returns potencia recebida em dBm
36 */
37 function Prr(Pt,Gt,Gr,ht,hr,d){
38
39     return 10*Math.log10((Pt*Gt*Gr*ht*ht*hr*hr/Math.pow(d,4))*1000);
40 }
41 /**
42 * @function [Prl] Calcula a potencia recebida modelo linha de visada direta
43 * @param {number} Pt potencia transmitida em Watts
44 * @param {number} Gt ganho do transmissor NAO eh em dB
45 * @param {number} Gr ganho do receptor NAO eh em dB
```

```

46 * @param {number} f frequencia de operacao Hz
47 * @param {number} L atenuacao dissipativa
48 * @param {number} d distancia entre as antenas em metros
49 * @returns potencia recebida em dBm
50 */
51 function Prl(Pt,Gt,Gr,d,f,L){
52
53     return 10*Math.log10((Pt*Gt*Gr*lambda(f)*lambda(f)/
(Math.pow(d*4*Math.PI,2))*L)*1000);
54 }
55
56 /**
57 * @function {v}   Calcula o parametro de Fresnel Kirchhoff
58 * @param {number} h altura do gume de faca em relacao a LVD em metro
59 * @param {number} d1 distancia do transmissor ate o gume de faca em
metro
60 * @param {number} d2 distancia do receptor ate o gume de faca em
metro
61 * @param {number} f frequencia de operacao
62 * @returns {number} parametro de Fresnel
63 */
64 function v(h,d1,d2,f){
65
66     return h*Math.sqrt((2*(d1+d2))/(lambda(f)*d1*d2));
67
68 }
69
70 /**
71 * @function {Gd} Calcula perda de ganho
72 * @param {number} vfk parametro de Fresnel Kirchhoff
73 * @returns {number} perda de ganho em dBi
74 */
75 function Gd(vfk){
76
77     if (vfk <= -1){
78         return 0;
79     }
80     else if (-1<vfk<= 0){
81         return 20*Math.log10(0.5-0.62*vfk);
82     }
83     else if(0< vfk <=1 ){
84         return 20*Math.log10(0.5*Math.exp(-0.95*vfk));
85     }
86 }
87 else if(1< vfk <=2.4){
88     return 20*Math.log10(0.4*Math.sqrt(0.1184-(0.38-0.1*vfk)*(0.38-
0.1*vfk)));
89 }
90 else{
91     return 20*Math.log10(0.225/vfk);
92 }
93 }

```

```

1 //UTILIZA A BIBLIOTECA math.js para o cálculo com números complexos
2
3 /* global MathJax, Plotly */
4
5 function textoLink(linkPossivel) {
6   if (linkPossivel)
7     return "<p> O link de comunicação é possível. </p>"
8   return "<p> Não é possível estabelecer um link de comunicação. </p>"
9 }
10
11 function estiloClasse(classe, estilo) {
12   lista = document.getElementsByClassName(classe);
13   for (var i = lista.length; i > 0; i--) {
14     lista[i-1].style.display = estilo;
15   }
16 }
17
18
19 function mudarEntradas() {
20   var modelo = document.getElementsByName("modelo")[0].value;
21   if (modelo == "lvd") {
22     estiloClasse("gumefaca", "none");
23     estiloClasse("solo", "none");
24   } else if (modelo == "gumefaca"){
25     estiloClasse("gumefaca", "");
26     estiloClasse("solo", "none");
27   } else if (modelo == "solo") {
28     estiloClasse("gumefaca", "none");
29     estiloClasse("solo", "");
30   } else {
31     estiloClasse("gumefaca", "");
32     estiloClasse("solo", "");
33   }
34 }
35
36
37 function calcular() {
38
39   var Pt = Number(document.getElementsByName("Pt")[0].value);
40   var Sdbm = Number(document.getElementsByName("Sdbm")[0].value);
41   var Gtdb = Number(document.getElementsByName("Gtdb")[0].value);
42   var Grdb = Number(document.getElementsByName("Grdb")[0].value);
43   var f = Number(document.getElementsByName("fmhz")[0].value) *
Math.pow(10, 6);
44   var dkm = Number(document.getElementsByName("dkm")[0].value);
45   var df = Number(document.getElementsByName("df")[0].value);
46   var hg = Number(document.getElementsByName("hg")[0].value);
47   var ht = Number(document.getElementsByName("ht")[0].value);

```

```

48  var hr = Number(document.getElementsByName("hr")[0].value);
49  var modelo = document.getElementsByName("modelo")[0].value;
50
51  var Gt = Math.pow(10, Gtdb/10);
52  var Gr = Math.pow(10, Grdb/10);
53
54
55  var PotLvdDbm = Prl(Pt, Gt, Gr, dkm*1000, f, 1);
56  var PotLvd = dbmParaW(PotLvdDbm);
57  var PotSoloDbm = Prr(Pt, Gt, Gr, ht, hr, dkm*1000)
58  var PotSolo = dbmParaW(PotSoloDbm);
59  var PotFacaDbm = PotLvdDbm
60  if (dkm > df) {
61      PotFacaDbm += Gd(v(hg, (dkm - df)*1000, df*1000, f));
62  }
63  var PotFaca = dbmParaW(PotFacaDbm);
64
65  var linkPossivel = false;
66  var texto = "";
67  var dados = [];
68
69  var quantIter = 100;
70  var mult = 10;
71  var distancias = [];
72  var lvd = [];
73  var solo = [];
74  var faca = [];
75  var mul = 0;
76  for (var i = 0; i < quantIter; i++) {
77      mul = (1/mult + i/quantIter*mult);
78      distancias[i] = dkm*mul;
79      lvd[i] = Prl(Pt, Gt, Gr, dkm*1000*mul, f, 1);
80      solo[i] = Prr(Pt, Gt, Gr, ht, hr, dkm*1000*mul);
81      faca[i] = lvd[i];
82      if (dkm > df)
83          faca[i] += Gd(v(hg, (dkm - df)*1000*mul, df*1000*mul, f));
84  }
85
86
87  if (modelo == "lvd" || modelo == "todos") {
88      linkPossivel = PotLvdDbm > Sdbm;
89      texto += "<p>LVD: Potência Recebida = " + PotLvd.toExponential(3)
+ " W = " + PotLvdDbm.toFixed(2) + " dBm</p>";
90      dados.push({
91          x: distancias,
92          y: lvd,
93          mode: 'lines',
94          name: 'Linha de Visada Direta',
95          line: {shape: 'spline'}},

```

```

96     type: 'scatter'
97   });
98 }
99 if (modelo == "solo" || modelo == "todos"){
100   linkPossivel = PotSoloDbm > Sdbm;
101   texto += "<p>Reflexão no solo: Potência Recebida = "+
PotSolo.toExponential(3) + " W = " + PotSoloDbm.toFixed(2) + " dBm</p>";
102   dados.push({
103     x: distancias,
104     y: faca,
105     mode: 'lines',
106     name: 'Difração de Gume de Faca',
107     line: {shape: 'spline'},
108     type: 'scatter'
109   });
110 }
111 if (modelo == "gumefaca" || modelo == "todos") {
112   linkPossivel = PotFacaDbm > Sdbm;
113   texto += "<p>Gume de Faca: Potência Recebida = "+
PotFaca.toExponential(3) + " W = " + PotFacaDbm.toFixed(2) + " dBm</p>";
114   dados.push({
115     x: distancias,
116     y: solo,
117     mode: 'lines',
118     name: 'Reflexão no Solo',
119     line: {shape: 'spline'},
120     type: 'scatter'
121   });
122 }
123
124
125 document.getElementById("respostas").innerHTML =
textoLink(linkPossivel) + texto;
126
127 var estilo = {
128   legend: {
129     y: 0.5,
130     font: {size: 16},
131     yref: 'paper'
132   },
133   title: 'Análise de potência recebida',
134   xaxis: {
135     type: 'log',
136     title: 'Distância entre as antenas (Km)'
137   },
138   yaxis: {
139     title: 'Potência recebida (dBm)'
140   }
141 };
142 Plotly.newPlot('grafico', dados, estilo);
143 }

```

```

1 <!DOCTYPE html>
2
3 <html>
4
5 <head>
6   <title>Lab 4</title>
7   <meta charset="UTF-8">
8   <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-
scale=1.0">
9   <script
src="https://ajax.googleapis.com/ajax/libs/jquery/3.1.0/jquery.min.js"></script
>
10   <script src="src/plotly-latest.min.js"></script>
11   <script src="LinkCommunication_calculate_parameters.js"
type="text/javascript"></script>
12   <script src="codigo.js" type="text/javascript"></script>
13   <script type="text/x-mathjax-config">MathJax.Hub.Config({tex2jax:
{inlineMath: [['$','$'], ['\\(','\\)']}]});</script>
14   <script type="text/javascript" async
src="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/mathjax/2.7.1/MathJax.js?
config=TeX-MML-AM_CHTML"></script>
15   <link rel="stylesheet" href="estilo.css">
16   <link href="https://fonts.googleapis.com/css?family=Ubuntu"
rel="stylesheet">
17 </head>
18
19
20 <body onload="mudarEntradas()">
21 <h1> Lab 4 - ELE-12 - Links de Comunicação</h1>
22 <p> Especifique os parâmetros para calcular a potência recebida:</p>
23 <form id="entradas" action="">
24   <table class="entrada">
25     <tr>
26       <td>$\text{ Potência do transmissor } \backslash;\backslash P_T :$</td>
27       <td><input type="number" name="Pt" step="any" value="320">$
(W) $</td>
28     </tr>
29     <tr>
30       <td>$\text{ Ganho do transmissor } \backslash;\backslash G_T :$</td>
31       <td><input type="number" name="Gtdb" step="any" value="32">$
(dBi) $</td>
32     </tr>
33     <tr>
34       <td>$\text{ Ganho do receptor } \backslash;\backslash G_R :$</td>
35       <td><input type="number" name="Grdb" step="any" value="40">$
(dBi) $</td>
36     </tr>
37     <tr>
38       <td>$ \text{ Frequência de operação } \backslash;\backslash f:$</td>

```

```

39     <td><input type="number" name="fmhz" step="any"
value="15000">$ (MHz) $</td>
40 </tr>
41 <tr>
42     <td>$ \text{ Distância } \;\;\; d:$</td>
43     <td><input type="number" name="dkm" step="any"
value="24567">$ (Km) $</td>
44 </tr>
45 <tr>
46     <td>$\text{ Modelo de Transmissão }$</td>
47     <td><select name="modelo" onchange="mudarEntradas()">
48         <option value="lvd">Linha de Visada Direta</option>
49         <option value="gumefaca">Difração por gume de faca</option>
50         <option value="solo">Reflexão Solo</option>
51         <option value="todos">Todos os modelos</option>
52     </select></td>
53 </tr>
54 <tr>
55     <td>$\text{ Sensibilidade do receptor } \;\;\; S :$</td>
56     <td><input type="number" name="Sdbm" step="any" value="-
90">$ (dBm) $</td>
57 </tr>
58 <tr class='gumefaca'>
59     <td>$ \text{ Altura do gume de faca } \;\;\; h_G:$</td>
60     <td><input type="number" name="hg" step="any" value="10">$
(m) $</td>
61 </tr>
62 <tr class='gumefaca'>
63     <td>$ \text{ Distância do gume de faca } \;\;\; d_f:$</td>
64     <td><input type="number" name="df" step="any" value="10000">$
(km) $</td>
65 </tr>
66 <tr class='solo'>
67     <td>$ \text{ Altura do Transmissor } \;\;\; h_T :$</td>
68     <td><input type="number" name="ht" step="any" value="10">$ (m)
$</td>
69 </tr>
70 <tr class='solo'>
71     <td>$ \text{ Altura do Receptor } \;\;\; h_R:$</td>
72     <td><input type="number" name="hr" step="any" value="10">$ (m)
$</td>
73 </tr>
74 </table>
75 </form>
76
77 <p>Clique em calcular para obter as respostas.</p>
78
79 <button onclick="calcular()">Calcular</button>
80 <p></p>
81
82
83 <p></p><p></p>

```

```
84
85 <div id="respostas"></div>
86
87 <div id="grafico" style="width: 1300px; height: 700px; margin:
88 auto"></div>
89 </body>
90 </html>
91
```