



Universidade de Aveiro

Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática

Mestrado Integrado Eng. Computadores e Telemática

47064 - Desempenho e Dimensionamento de Redes

Relatório

Desempenho da conectividade de redes sem fio multi-hop com terminais moveis

Autores :

Guilherme Cardoso 45726

Rui Oliveira 68779

Prática :

P2

Docente :

Amaro Sousa

Ano letivo 2016/2017
Aveiro, 23 de Março de 2017

Conteúdo

1	Resolução dos exercícios	2
1.1	Primeira parte: rede ad-hoc	2
1.1.1	Implementação	2
1.1.2	Análise dos resultados	5
1.2	Segunda parte: redes moveis com pontos de acesso (AP)	8
1.2.1	Implementação	8
1.2.2	Análise dos resultados	10
2	Referências	16

1 Resolução dos exercícios

1.1 Primeira parte: rede ad-hoc

1.1.1 Implementação

- Programa principal

Descrição: Para o primeiro simulador foi utilizado o *script* inicial fornecido no enunciado deste trabalho. Adicionamos apenas algum código de suporte de forma a poder nas fases preliminares do desenvolvimento visualizar a execução dos algoritmos.

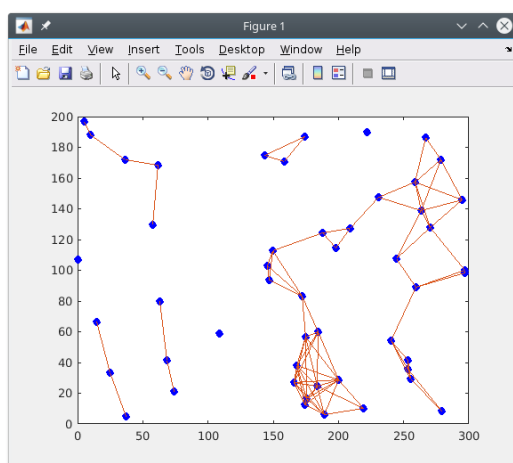


Figura 1: Representação da conectividade na primeira simulação

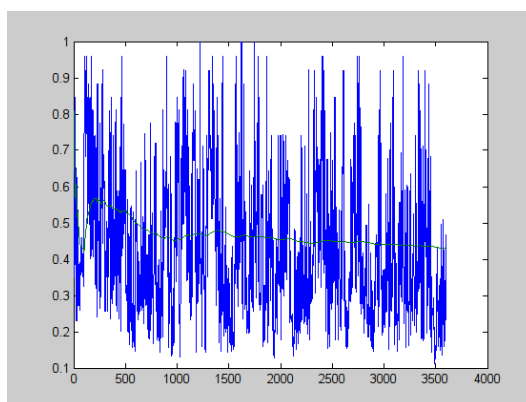


Figura 2: Visualização dos resultados obtidos para uma simulação

- **InitialRandom(N,S)**

```

1 function [pos , vel] = InitialRandom(N,S)
2
3 % coordinates limits
4 AXIS_LIMIT = 300;
5 ABSCISSA_LIMIT = 200;
6
7 %% positions
8 pos = [AXIS_LIMIT * rand(N, 1) ABSCISSA_LIMIT * rand(N, 1)];
9
10 %% speed and bearing
11 abs_val = S * rand(N, 1);           % random speed
12 angle_val = 2 * pi * rand(N, 1);    % random angle
13 vel = [ abs_val.*cos(angle_val) abs_val.*sin(angle_val) ];
14
15 end

```

Descrição: Gera valores iniciais de posição e velocidade dos nós, dentro dos limites impostos.

- **UpdateCoordinates(pos,vel,delta)**

```

1 function [pos , vel]= UpdateCoordinates(pos , vel , delta)
2
3 AXIS_LIMIT = 300;
4 ABSCISSA_LIMIT = 200;
5
6 pos = pos + delta*vel;
7
8 [lines , cols] = size(pos);
9
10 for i=1:lines
11     if(pos(i,1)>AXIS_LIMIT)
12         pos(i,1) = AXIS_LIMIT;
13         vel(i,1) = -vel(i,1);
14     end
15     if(pos(i,2)>ABSCISSA_LIMIT)
16         pos(i,2) = ABSCISSA_LIMIT;
17         vel(i,2) = -vel(i,2);
18     end
19     for j=1:cols
20         if(pos(i,j)<0)
21             pos(i,j) = 0;
22             vel(i,j) = -vel(i,j);
23         end
24     end
25 end
26
27 end

```

Descrição: Avança um passo na velocidade e posição dos nós. (um tick)

- **ConnectedList(N,pos,W)**

```

1 function L= ConnectedList(~ ,pos,W)
2
3 [lines , ~] = size(pos);
4 connected = zeros(lines , lines);
5 connected(:) = W + 1;
6 draw_x = [];
7 draw_y = [];
8
9 L = zeros( ceil((lines*lines)/2) , 2); % pre-allocate for faster
    computation
10
11 for i=2:lines
12     ponto1 = pos(i,:);
13     for j=1:i-1
14         ponto2 = pos(j,:);
15         connected(i,j) = sqrt( (ponto1(1,1)-ponto2(1,1))^2 + (ponto1
(1,2)-ponto2(1,2))^2);
16         %connected(i,j) = pdist([ponto1; ponto2], 'euclidean');
17         if (connected(i,j) < W)
18             draw_x = [ draw_x NaN ponto1(1,1) ponto2(1,1) ];
19             draw_y = [ draw_y NaN ponto1(1,2) ponto2(1,2) ];
20             L((i*(i-1)/2)+j,:) = [i j];
21         end
22     end
23 end
24
25 L = L(any(L,2) ,:); % filter the zeros of the preallocated
    memory
26 plot(draw_x , draw_y); % plot is slow. do it only once
27 pause()
28 end

```

Descrição: Calcula os nós conectados através do calculo da matriz triangular da distância entre os nós e depois verificando quais verificam a distância mínima necessária (W). Também desenha a representação das ligações.

- **AverageConnectedNodePairs(N,L)**

```

1 function o = AverageConnectedNodePairs( N, L )
2
3 labels = 1:N;
4 [lines , ~] = size(L);
5 o = 0;
6
7 for i=1:lines
8     indice1 = labels(1,L(i,1));

```

```

9     indice2 = labels(1,L(i,2));
10    if (indice1 ~= indice2)
11        labels(labels==indice2) = indice1;
12    end
13 end
14
15 unique_labels = unique(labels);
16 [~, unique_labels_count] = size(unique_labels);
17
18 for i=1:unique_labels_count
19     number_of_nodes = sum( labels==unique_labels(i)) ;
20     o = o + (( number_of_nodes * (number_of_nodes - 1) ) / 2) ;
21 end
22
23 o = o / ((N*(N-1)) / 2);
24
25 end

```

Descrição: Calcula o numero de nós ligados. A média é calculada no programa principal.

1.1.2 Análise dos resultados

Case	S (km/h)	W (m)	N	run1	run2	run3	run4	avg(%)
A	3	40	50	0.45	0.47	0.46	0.56	47
B	3	60	50	0.97	0.96	0.96	0.97	97
C	3	80	50	1	1	1	1	100
D	3	40	100	0.96	0.97	0.98	0.99	97
E	3	60	100	1	1	1	1	100
F	6	40	50	0.58	0.56	0.48	0.50	53
G	6	60	50	0.99	0.96	0.97	0.99	98
H	6	80	50	1	1	0.99	1	100
I	6	40	100	0.97	0.97	0.96	0.97	97
J	6	60	100	1	1	1	1	100

Tabela 1: Resultados obtidos para $\Delta t = 1$ second e $T = 3600$

- Para os resultados apresentados na tabela anterior foram utilizados os seguintes parâmetros constantes: $\Delta t = 1$ second e $T = 3600$
- Segundo os dados da tabela anterior parece não haver influência direta da velocidade (S) na conectividade dos nós. O facto de maior impacto parece ser o alcance (W), em que quando é mais baixo em ambos os casos (com baixa e alta velocidade) a conectividade caiu para metade (casos A e F) enquanto em todos os outros ensaios consideramos os

valores suficientemente consistentes para concluir que a velocidade tem um impacto pouco relevante.

c) Considerando:

- Velocidade de cada nó: $S = 5 \text{ Km/h}$
- Para os valores de alcance: $W = 40, 60 \text{ e } 80 \text{ meters}$

Objetivo: Determinar número de nós (N) tal que seja múltiplo de 10, de modo que o número médio de nós ligados não seja inferior a 99

Para cada um dos valores de W anteriormente referidos foram efetuadas simulações para diferentes valores à variável N (i.e 10, 20, 30, 40...). Os resultados obtidos e as respetivas conclusões apresentam-se de seguida.

S	W	N	Node pairs(%)
5 Km/h	40 m	10	10.12
		20	12.84
		30	19.33
		40	30.10
		50	44.91
		60	58.39
		70	72.44
		80	87.87
		90	94.13
		100	96.92
		110	98.30
		120	99.24
		130	99.59

Tabela 2: Resultados obtidos para W igual a 40

Resultados: Tal como é possível observar através da tabela anterior o número mínimo de nós (N) para o qual o número médio de nós ligados não seja inferior a 99% é **120**

S	W	N	Node pairs(%)
5 Km/h	60 m	10	23.90
		20	51.57
		30	72.39
		40	89.39
		50	98.17
		60	99.49
		70	99.85
		80	99.96
		90	99.98
		100	99.99

Tabela 3: Resultados obtidos para W igual a 60

Resultados: Segundos os resultados obtidos pelos ensaios o número mínimo de nós (N) para o qual o número médio de nós ligados não seja inferior a 99% é **60**

S	W	N	Node pairs(%)
5 Km/h	80 m	10	53.26
		20	82.64
		30	98.74
		40	99.86
		50	99.94
		60	99.99
		70	100
		80	100
		90	100
		100	100

Tabela 4: Resultados obtidos para W igual a 80

Resultados: Para o caso de um alcance (W) de 80 os resultados mostram que o número mínimo de nós necessário é para conectividade de 99% é **40**

1.2 Segunda parte: redes moveis com pontos de acesso (AP)

1.2.1 Implementação

- Programa principal

Descrição: As alterações ao bloco de código principal foram mínimas, apenas para acomodar a necessidade da percepção da existência de pontos de acesso.

- InitialRandom2(N,S, AP)

```

1 function [pos , vel , posAP] = InitialRandom2 (N,S, AP)
2
3 % coordinates limits
4 AXIS_LIMIT = 300;
5 ABSCISSA_LIMIT = 200;
6
7 %% positions
8 pos = [AXIS_LIMIT * rand(N, 1) ABSCISSA_LIMIT * rand(N, 1)];
9
10 %draw access point location
11
12 if AP == 1
13     posAP = [AXIS_LIMIT/2 ,ABSCISSA_LIMIT/2];
14 end
15 if AP == 2
16     posAP = [AXIS_LIMIT/4 ,ABSCISSA_LIMIT/2;
17             2*AXIS_LIMIT/4 ,ABSCISSA_LIMIT/2];
18 end
19 if AP == 3
20     posAP = [AXIS_LIMIT/6 ,ABSCISSA_LIMIT/2;
21             3*AXIS_LIMIT/6 ,ABSCISSA_LIMIT/2;
22             5*AXIS_LIMIT/6 ,ABSCISSA_LIMIT/2];
23 end
24 if AP == 4
25     posAP = [AXIS_LIMIT/4 ,ABSCISSA_LIMIT/4;
26             3*AXIS_LIMIT/4 ,ABSCISSA_LIMIT/4;
27             AXIS_LIMIT/4 ,3*ABSCISSA_LIMIT/4;
28             3*AXIS_LIMIT/4 ,3*ABSCISSA_LIMIT/4];
29 end
30 if AP == 5
31     posAP = [AXIS_LIMIT/4 ,ABSCISSA_LIMIT/4;
32             3*AXIS_LIMIT/4 ,ABSCISSA_LIMIT/4;
33             AXIS_LIMIT/4 ,3*ABSCISSA_LIMIT/4;
34             3*AXIS_LIMIT/4 ,3*ABSCISSA_LIMIT/4;
35             AXIS_LIMIT/2 ,ABSCISSA_LIMIT/2];
36 end
37
38 %% speed and bearing
39 abs_val = S * rand(N, 1); % random speed

```

```

40 angle_val = 2 * pi * rand(N, 1); % random angle
41 vel = [ abs_val.*cos(angle_val) abs_val.*sin(angle_val) ];

```

Descrição: Comparativamente à primeira simulação acomodamos agora a geração até 5 modelos de posições de APs

- **UpdateCoordinates(pos,vel,delta)**

Descrição: Não sofreu alterações em relação à primeira simulação

- **ConnectedList(N,pos,W)**

Descrição: Não sofreu alterações em relação à primeira simulação

- **AverageConnectedNodePairs2(N,L, posAP)**

```

1 function o = AverageConnectedNodePairs2( N, L, posAP )
2
3 [ap_count, ~] = size(posAP);
4 labels = [ zeros(1,N) ones(1,ap_count) ];
5 repetir = true;
6 [lines, ~] = size(L);
7 o = 0;
8
9 while repetir
10     repetir = false;
11     for i=1:lines
12         indice1 = labels(1,L(i,1));
13         indice2 = labels(1,L(i,2));
14         if (indice1 ~= indice2)
15             labels(1,L(i,1)) = 1;
16             labels(1,L(i,2)) = 1;
17             repetir = true;
18         end
19     end
20 end
21
22 o = sum(labels(1:N));
23 o = o / N;
24
25 end

```

Descrição: As alterações feitas são para acomodar a regra que um nó apenas tem conectividade se está ligado a um AP ou se está ligado a um nó que tem rota para o AP.

1.2.2 Análise dos resultados

Case	N. Aps	W (m)	N	run1 (0-1)	run2 (0-1)	run3 (0-1)	run4 (0-1)	avg(%)
A	1	40	30	0.2521	0.2747	0.3033	0.2698	27.225
B	1	60	30	0.8554	0.8796	0.8709	0.7981	86.315
C	1	80	30	0.9877	0.9867	0.9839	0.9835	98.53
D	1	40	50	0.5359	0.5822	0.5742	0.6045	57.82
E	1	60	50	0.9783	0.9865	0.9811	0.9849	98.3
F	2	40	30	0.4526	0.4146	0.3926	0.4205	41.755
G	2	60	30	0.8898	0.9008	0.8815	0.8977	89.375
H	2	80	30	0.9943	0.9957	0.9904	0.9961	99.5
I	2	40	50	0.7317	0.6769	0.7309	0.6512	70.39
J	2	60	50	0.9862	0.9934	0.9897	0.9869	98.83
K	3	40	30	0.5767	0.6309	0.5238	0.5665	57.16
L	3	60	30	0.9457	0.9569	0.9585	0.9395	95.13
M	3	80	30	0.9952	0.9958	0.9928	0.9985	99.55
N	3	40	50	0.8070	0.8283	0.8074	0.8548	81.785
O	3	60	50	0.9934	0.9924	0.9905	0.9941	99.29
P	4	40	30	0.6894	0.7043	0.7188	0.7255	71.155
Q	4	60	30	0.9778	0.9792	0.9861	0.9763	97.85
R	4	80	30	0.9993	0.9997	0.9999	0.9990	99.95
S	4	40	50	0.8724	0.8847	0.8911	0.8847	88.47
T	4	60	50	0.9965	0.9974	0.9969	0.9975	99.715
Alt5_1	5	40	30	0.7866	0.7565	0.7611	0.7613	76.64
Alt5_2	5	60	30	0.9822	0.9820	0.9820	0.9805	98.17
Alt5_3	5	80	30	0.9996	0.9998	0.9994	0.9994	99.96
Alt5_4	5	40	50	0.9016	0.8917	0.9129	0.9129	90.48
Alt5_5	5	60	50	0.9969	0.9962	0.9951	0.9945	99.58
Alt3_1	3	40	30	0.6060	0.6111	0.6052	0.5879	60.26
Alt3_2	3	60	30	0.9600	0.9681	0.9700	0.9695	96.69
Alt3_3	3	80	30	0.9991	0.9981	0.9982	0.9992	99.87
Alt3_4	3	40	50	0.8274	0.8391	0.8126	0.8399	82.98
Alt3_5	3	60	50	0.9941	0.9939	0.9953	0.9973	99.51

Tabela 5: Testes efectuados para a segunda simulação. $\Delta t = 1$, $T = 3600$ e $S = 5$

- a) Os resultados obtidos na tabela anterior foram utilizados os seguintes parâmetros constantes: $\Delta t = 1$, $T = 3600$ e $S = 5$
- b) Com base nos resultados obtidos nesta simulação da alínea anterior, concluímos que o alcance dos nós é o fator de maior relevância no impacto da conectividade. Isto é, basta

aumentar o alcance que mesmo com um único AP a conectividade global do sistema triplica. O mesmo aumento verifica-se no caso de dois APs, em que o aumento de alcance (W) de 40 para 60 aumenta em 1.5x a conectividade global do sistema. Embora o número de pontos de acesso reduza a magnitude do aumento da conectividade dos nós continua a ser observável em cada aumento do alcance.

- c) Testámos duas alternativas, uma que utiliza três APs e outra que utiliza cinco APs. A localização de ambos encontra-se representada nas imagens seguintes.

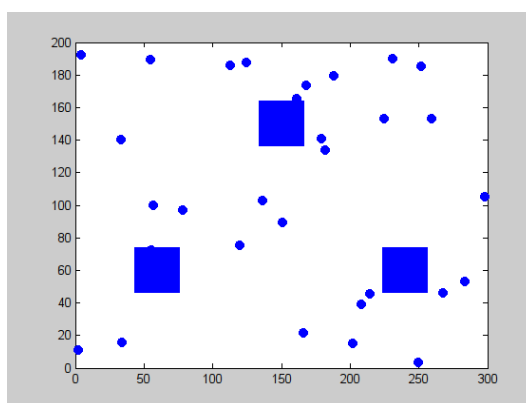


Figura 3: Sugestão de localização de 3 APs

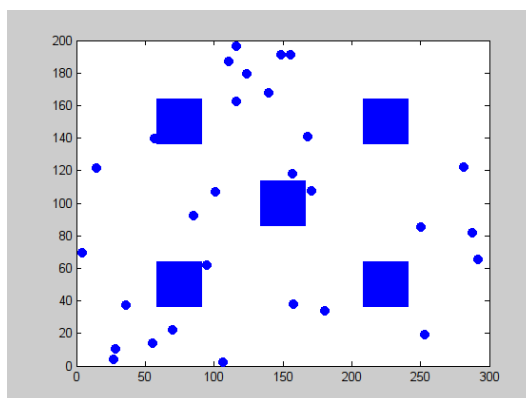


Figura 4: Sugestão de localização de 5 APs

Para os dois casos foram efetuados os testes Alt5_i ($i=1,2,3,4,5$) e Alt3_i ($i=1,2,3,4,5$) respetivamente para a localização anteriormente apresentada para cinco e três pontos de acesso. Os resultados obtidos encontram-se na tabela da página anterior.

Para 5 APs a percentagem de nós ligados é significativamente melhores do que para as restantes variações de APs. Por exemplo para o caso Alt5_1 observa-se uma percentagem de ligação maior do que para os casos P, K, F ou A. No caso da implementação com 3 APs, simulando uma rede em triângulo, observa-se uma percentagem de nós ligados

ligeiramente superior à implementação dos casos K a O, sendo esta também composta por três APs mas em localizações diferentes.

Concluimos assim, para os dois casos testados que a implementação com 5 APs é mais eficiente, o que já seria intuitivo de concluir. O que esperaríamos era a configuração em triângulo oferecer melhor conectividade do que com 4 APs, o que não se verificou (embora tenha quase insignificativamente aumentado a conectividade quando comparado para três APs em linha).

d) Os resultados obtidos encontram-se nas três tabelas seguintes. Para os diferentes valores atribuídos ao range (W) concluimos o seguinte:

- **W = 40** : quando aumentamos o número de APs observamos que a percentagem de nós ligados aumenta sempre. Para cada um dos casos de APs, quanto maior o valor de nós utilizados maior é a percentagem de nós ligados. Para W=40 não se observa nenhum caso em que a percentagem de nós ligados seja maior do que 99%.
- **W = 60** :quando aumentamos o número de APs observamos que a percentagem de nós ligados aumenta sempre. Para cada um dos casos de APs, quanto maior o valor de nós utilizados maior é a percentagem de nós ligados. Para W=60 observam-se percentagens de ligações entre os nós superior a 99% quando existem 70 nós na simulação para qualquer tipo de APs simulados. No caso de quatro APs e 50 nós também observamos uma percentagem de ligação superior a 99%.
- **W = 80** :quando aumentamos o número de APs observamos que a percentagem de nós ligados aumenta sempre. Para cada um dos casos de APs, quanto maior o valor de nós utilizados maior é a percentagem de nós ligados. Para W=80 observam-se percentagens de ligações entre os nós superior a 99% quando existem 50 ou 70 nós na simulação para qualquer tipo de APs simulados.

W = 40

AP	N	simul1	simul2	simul3	simul4	simul5	simul6	simul7	simul8	simul9	simul10	avg(%)
1	30	0.2747	0.3033	0.2698	0.2424	0.2465	0.2822	0.2769	0.2503	0.2646	0.3792	0.27899
1	50	0.5704	0.6006	0.6019	0.5921	0.5988	0.6464	0.5475	0.628	0.5818	0.5214	0.58889
1	70	0.8514	0.8512	0.8125	0.8443	0.8194	0.8724	0.8662	0.8613	0.8438	0.8563	0.84788
2	30	0.3862	0.3942	0.413	0.4205	0.4464	0.4317	0.4418	0.425	0.4206	0.4362	0.42156
2	50	0.6805	0.6652	0.7075	0.6813	0.7488	0.6852	0.6933	0.6576	0.6714	0.7165	0.69073
2	70	0.8602	0.9001	0.7165	0.8928	0.8977	0.8901	0.8845	0.8871	0.8881	0.8964	0.87135
3	30	0.6336	0.5961	0.6167	0.5999	0.5603	0.5884	0.5868	0.5668	0.5988	0.5544	0.59018
3	50	0.8223	0.8373	0.8257	0.8411	0.8246	0.7937	0.8389	0.8223	0.8063	0.8094	0.82216
3	70	0.931	0.9333	0.935	0.9309	0.9287	0.937	0.9362	0.9297	0.9339	0.937	0.93327
4	30	0.7253	0.725	0.6775	0.692	0.7055	0.7135	0.7182	0.6944	0.7127	0.704	0.70681
4	50	0.8836	0.8845	0.877	0.8825	0.8796	0.8796	0.8916	0.8813	0.8839	0.8984	0.8842
4	70	0.9527	0.9539	0.9583	0.96	0.9627	0.9587	0.9594	0.9617	0.9618	0.955	0.95842

Tabela 6: Resultados obtidos para W igual a 40

W = 60

AP	N	simul1	simul2	simul3	simul4	simul5	simul6	simul7	simul8	simul9	simul10	avg(%)
1	30	0.85486	0.87339	0.89796	0.88091	0.85726	0.83658	0.86359	0.88168	0.84583	0.85566	0.864772
1	50	0.98926	0.98674	0.98977	0.99094	0.99129	0.98744	0.989	0.97558	0.99217	0.98783	0.988002
1	70	0.99871	0.99938	0.99896	0.99912	0.99733	0.99833	0.99908	0.99862	0.99733	0.99922	0.998608
2	30	0.86919	0.88009	0.89869	0.88007	0.90527	0.91389	0.8904	0.89447	0.89646	0.89258	0.892111
2	50	0.99268	0.98756	0.98565	0.99252	0.99197	0.99383	0.99124	0.99052	0.99413	0.99306	0.991316
2	70	0.99793	0.9992	0.99958	0.99966	0.99922	0.99888	0.99958	0.99911	0.99754	0.99933	0.999003
3	30	0.95274	0.95839	0.95234	0.95126	0.94992	0.94833	0.95443	0.95135	0.9572	0.95818	0.953414
3	50	0.99066	0.99373	0.99543	0.99579	0.99472	0.99308	0.99494	0.99628	0.99292	0.99116	0.993871
3	70	0.99894	0.99904	0.99916	0.99859	0.99941	0.99887	0.99963	0.99939	0.99983	0.99896	0.999182
4	30	0.98335	0.98128	0.98236	0.98287	0.98579	0.97981	0.98118	0.98576	0.9813	0.98251	0.982621
4	50	0.99729	0.99595	0.99757	0.99665	0.99559	0.99624	0.99502	0.99609	0.99727	0.99475	0.996242
4	70	0.9983	0.99922	0.99954	0.99978	0.99914	0.99929	0.99929	0.99915	0.99945	0.99963	0.999279

Tabela 7: Resultados obtidos para W igual a 60

W = 80

AP	N	simul1	simul2	simul3	simul4	simul5	simul6	simul7	simul8	simul9	simul10	avg(%)
1	30	0.99046	0.97795	0.9934	0.98609	0.99164	0.99243	0.99041	0.9891	0.99309	0.99605	0.990062
1	50	0.99992	1	0.99983	0.9997	1	0.9997	0.9992	1	0.99953	0.99951	0.999739
1	70	1	0.99997	1	0.99997	1	1	1	0.99993	0.99985	1	0.999972
2	30	0.99378	0.98928	0.99469	0.99367	0.99461	0.99424	0.99519	0.99471	0.99044	0.98936	0.992997
2	50	1	0.99968	0.99975	1	0.99993	0.9998	0.99959	0.99949	1	0.99982	0.999806
2	70	1	0.99991	1	1	1	0.99977	0.99978	1	1	0.99996	0.999942
3	30	0.99706	0.99486	0.99611	0.99907	0.99905	0.99399	0.99679	0.99744	0.99334	0.99519	0.99629
3	50	0.99706	0.99486	0.99611	0.99907	0.99905	0.99399	0.99679	0.99744	0.99334	0.99519	0.99629
3	70	1	0.99988	1	1	1	1	1	1	0.99987	1	0.999975
4	30	0.99965	0.99858	0.99989	0.99993	0.9993	0.99956	0.99962	0.99953	0.99925	0.99977	0.999508
4	50	1	1	0.99991	1	1	1	1	0.99994	1	1	0.999985
4	70	1	1	0.99995	0.99997	1	0.99999	1	0.99996	1	1	0.999987

Tabela 8: Resultados obtidos para W igual a 80

2 Referências

- Guia prático disponível na página elearning da disciplina
- Slide teóricos disponível na página elearning da disciplina
- Documentação matlab <https://www.mathworks.com/help/matlab/>