

6

Resultados Numéricos

Com o objetivo de comparar o comportamento de sistemas radar que utilizam formas de onda aleatórias, como as aqui propostas, com o de sistemas radar tradicionais, que utilizam pulsos do tipo *chirp*, este capítulo apresenta resultados de simulações relativos à cenários específicos. Utilizou-se nestas simulações o mesmo *software* desenvolvido em IDL [26], previamente apresentado no Capítulo 4. Os cenários foram escolhidos convenientemente para ressaltar determinadas características dos sistemas radar.

Os parâmetros do sistema não são alterados entre cenários. A diferença entre estes está no posicionamento dos alvos considerados. As especificações do sistema utilizado neste trabalho são descritas na Tabela 6.1.

Tabela 6.1: Especificações do sistema utilizado nas simulações.

Parâmetro	Variável	Valor	Unidade
Frequência de amostragem	f_s	150,0	MHz
Frequência da portadora	f_c	1,0	GHz
Largura do pulso de transmissão	τ_s	10,0	μs
Frequência de repetição de pulso	PRF	30,0	KHz
Largura de banda do sinal de transmissão	B_s	4,0	MHz
Potência de Transmissão	P_t	10,0	W
Ganho de Transmissão	G_t	10,0	dB
Ganho de Recepção	G_r	10,0	dB
Perdas do Sistema	L	5,0	dB
Figura de Ruído	F	1,0	dB
Alcance Máximo	R_{max}	10,0	Km
Número de Pulsos Integrados	n_p	200	adm

Foi realizada a simulação da transmissão, reflexão no alvo, recepção do retorno, processamento do sinal recebido e detecção, que, conforme descrito no Capítulo 3, é

realizada com base em um limiar de detecção de Neyman-Pearson. Adicionalmente, ressalta-se que foi considerada a cadeia de recepção descrita na Figura 3.7.

Os cenários considerados são descritos a seguir:

- Cenário 1 : Um único alvo. Esta simulação tem por objetivo verificar o dimensionamento do sistema, no tocante ao ganho de compressão de pulsos, ganho de integração e razão sinal ruído associada à entrada do detector, com base nos parâmetros especificados e equacionamento realizado ao longo do trabalho;
- Cenário 2: Três alvos. Esta simulação tem por objetivo observar a detecção de múltiplos alvos;
- Cenário 3 : Dois alvos no limite de resolução em range. Deseja-se observar, neste cenário, a resolução em distância dos sistemas em estudo;
- Cenário 4 : Três alvos com uma ambiguidade em distância. Deseja-se observar a imunidade do sistema que emprega a forma de onda proposta (aleatória) e a deficiência do sistema tradicional, que utiliza *chirp*, quando operam em cenários com esta característica;
- Cenário 5 : Um único alvo presente no cenário e janelamento aplicado ao sistema que emprega forma de onda de transmissão determinística. Deseja-se comparar o desempenho deste sistema com o sistema que emprega uma forma de onda de transmissão caracterizada por um processo estocástico no tocante aos níveis de lóbulos secundários na saída do integrador;

Destaca-se que em todas as análises o ruído térmico, inerente ao receptor, é levado em consideração e, portanto, será considerado um limiar de detecção de Neyman-Pearson de 18dB, o que equivale à uma probabilidade de detecção $P_d = 0.9$ e probabilidade de falso alarme $P_{fa} = 10^{-6}$ [10]. Outras grandezas do sistema podem ser derivadas a partir das especificações da Tabela 6.1. A precisão em tempo do sistema é dada por

$$\Delta t = \frac{1}{f_s} \quad (6-1)$$

A precisão em distância do sistema é dada por

$$\Delta R = \frac{c\Delta t}{2} = \frac{c}{2f_s} \quad (6-2)$$

O número de amostras do sinal transmitido é dado por

$$N_{tx} = \frac{\tau_s}{\Delta t} \quad (6-3)$$

O número de amostras do sinal recebido é dado por

$$N_{rx} = \frac{R_{max}}{\Delta R} \quad (6-4)$$

A potência do ruído térmico na entrada do receptor é, conforme (2-7), igual para todos os cenários, e é dada por $P_n = -136,99\text{dB}$.

As grandezas supracitadas são resumidas na Tabela 6.2.

Tabela 6.2: Grandezas derivadas do sistema utilizado nas simulações.

Parâmetro	Variável	Valor	Unidade
Resolução em tempo	Δt	5,0	ns
Resolução em distância	ΔR	1,0	m
Numero de amostras do sinal de transmissão	N_{tx}	3.000	amostras
Numero de amostras do sinal de recepção	N_{rx}	10.000	amostras
Potência do ruído térmico	P_n	-136,99	[dB]
Limiar de detecção	D	18,0	[dB]

Neste ponto, faz-se necessário definir mais uma relação envolvendo os parâmetros do sistema. Note, de (3-14), (3-16), (4-14) e (4-41) que o parâmetro A_i , definido como a soma dos ganhos, atenuações e distorções que o sinal de transmissão e recepção sofrem previamente ao módulo pré-processador é dado, para sinais caracterizados por portadoras moduladas em frequência, por

$$A_i = \sqrt{2P_r} \quad (6-5)$$

6.1

Pulsos de Transmissão

Primeiramente, gerou-se um sinal com N_{tx} amostras descorrelatadas de um processo estocástico gaussiano de média 0 e variância 1. Note que tais amostras correspondem a um processo estocástico com largura de banda igual à frequência de amostragem. Esta afirmação pode ser comprovada se for analisada a função autocorrelação de um processo estocástico com densidade espectral de potência plana em uma faixa. Esta terá formato da função $\text{sinc}(\tau)$, com zeros espaçados de $\tau = \frac{1}{B}$, onde B é a largura de banda do processo. Sendo assim, como as amostras tomadas são descorrelatadas, conclui-se que as mesmas correspondem aos zeros da função autocorrelação, e consequentemente estão espaçadas de $\tau = \frac{1}{B}$.

Em seguida, filtrou-se este sinal com um filtro retangular de largura de banda $2B_a = 1\text{MHz}$, resultando no sinal modulador $a(t)$, (4-53). Uma portadora modulada em frequência centrada em f_c foi, então, gerada utilizando-se este sinal, uma constante de modulação $K_p = 7.65\text{MHz}$, e um valor $P = 0.5$, resultando no sinal $s(t)$, (4-5). Por fim, obteve-se a envoltória complexa deste sinal, $\tilde{s}(t)$ com respeito à frequência central.

Uma função amostra do sinal $s(t)$, $s_i(t)$, é apresentada na Figura 6.1. São apresentadas suas componentes em fase e quadratura, comumente chamadas de componentes reais e imaginárias.

Note que, de acordo com (4-74) e (4-21), a envoltória complexa do sinal de transmissão em estudo, $\tilde{s}_i(t)$ com respeito à frequência central, apresenta, respectivamente, largura de banda $B_{\tilde{s}_i} = 4\text{MHz}$ e potência média unitária.

A densidade espectral de potência deste sinal é apresentada na Figura 6.2 enquanto que a função autocorrelação do mesmo é apresentada na Figura 6.3. O valor calculado da largura de banda que corresponde à 90% da energia do sinal é $B_{\tilde{s}_i} = 4.26\text{MHz}$, um pouco acima do valor esperado $B_{\tilde{s}_i} = 4\text{MHz}$. A largura de 3dB da função autocorrelação calculada é $\Delta\tau_{3dB} = 0,20\mu s$, um pouco abaixo do esperado $\Delta\tau_{3dB} = 0.2175\mu s$, dado por (5-58).

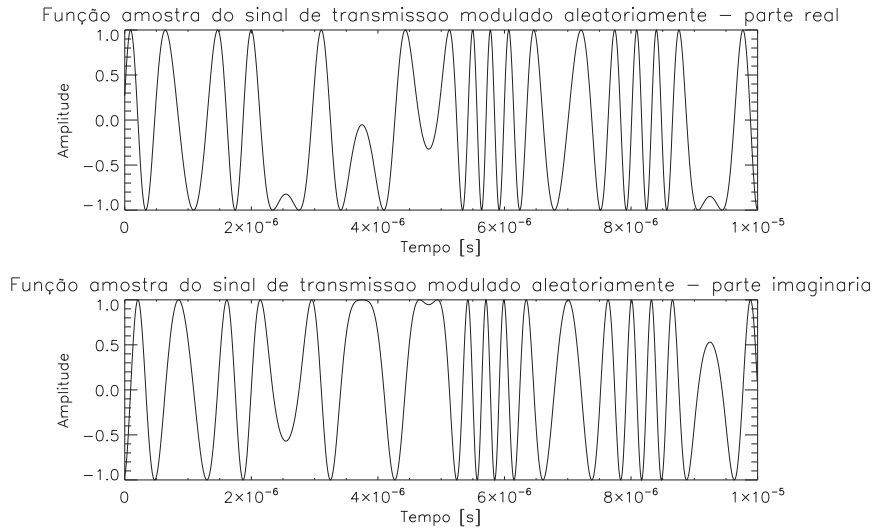


Figura 6.1: Função amostra do sinal de transmissão caracterizado por uma portadora modulada em frequência faixa larga por um processo estocástico - $s_i(t)$.

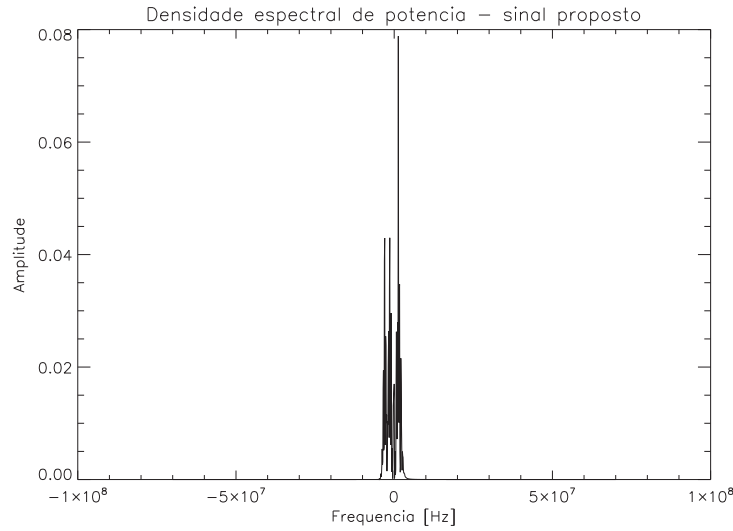


Figura 6.2: Densidade espectral de potencia de uma função amostra do sinal de transmissão caracterizado por uma portadora modulada em frequência faixa larga por um processo estocástico.

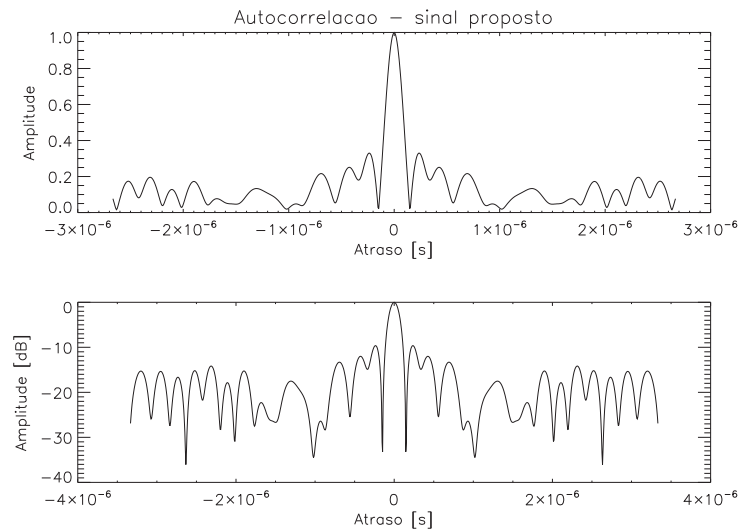


Figura 6.3: Autocorrelação de uma função amostra do sinal de transmissão caracterizado por uma portadora modulada em frequência faixa larga por um processo estocástico.

Os mesmos parâmetros de tamanho de pulso e largura de banda foram utilizados na geração do sinal de transmissão modulado linearmente em frequência (*chirp*). As componentes em fase e quadratura do sinal de transmissão resultante são apresentadas na Figura 6.4. A densidade espectral de potência deste sinal é apresentada na Figura 6.5 enquanto que a autocorrelação do mesmo é apresentada na Figura 6.6.

O valor calculado da largura de banda é $B_s = 4\text{MHz}$, conforme o valor deduzido. A largura de 3dB da função autocorrelação calculada é $\Delta_{\tau_{3dB}} = 0.225 \mu s$, igual ao valor teórico.

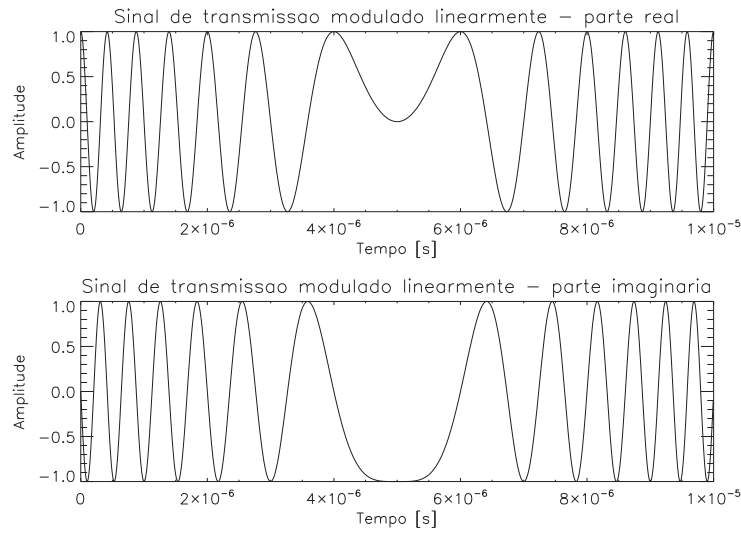


Figura 6.4: Sinal de transmissão caracterizado por uma portadora determinística modulada linearmente em frequência - Chirp.

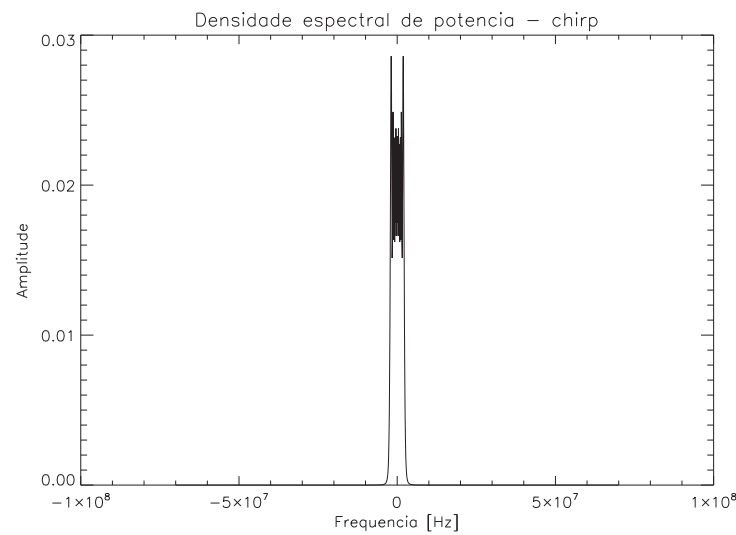


Figura 6.5: Densidade espectral de potencia do sinal de transmissão caracterizado por uma portadora determinística modulada linearmente em frequência - Chirp.

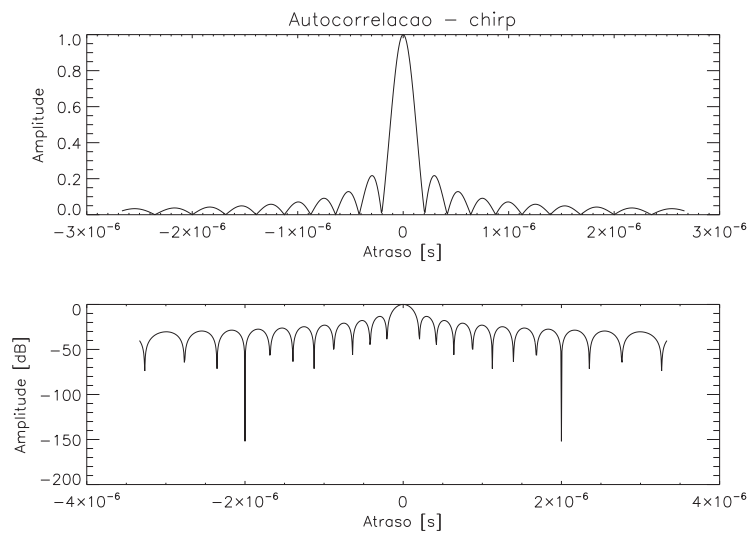


Figura 6.6: Autocorrelação do sinal de transmissão caracterizado por uma portadora determinística modulada linearmente em frequência - Chirp.

6.2

Cenário 1

No primeiro cenário, considera-se um único alvo presente no ambiente de observação do sistema radar. As características deste são dadas conforme a Tabela 6.3.

Tabela 6.3: Tabela de Alvos - Cenários 1.

Identificação	Seção Reta Radar [m^2]	Distância [m]
Alvo 1	100,0	3.000,0

Os valores teóricos relativos aos sinais de entrada de ambos os sistemas em estudo, independente da forma de onda utilizada, são extraídos de (2-5), (2-9), (6-5) e das tabelas 6.3 e 6.2. Estes valores são apresentados na Tabela 6.4.

Tabela 6.4: Valores teóricos de entrada - Cenário 1.

Parâmetro	Variável	Valor	Unidade
Potência Recebida	P_r	-137,51	dB
Amplitude Sinal - Entrada Compressão	A_i	-67,25	dB
Relação Sinal Ruído - Entrada Receptor	SNR_{in}	-0,52	dB

Os valores teóricos, relativos à este alvo, referentes à potência do sinal e à potência do ruído ao longo da cadeia de recepção, quando formas de onda determinísticas caracterizadas por portadoras moduladas linearmente em frequência são utilizadas como sinais de transmissão, são extraídos de (4-19), (3-37), (3-39), (3-24), (3-25), (3-43). Os valores teóricos, relativos à detecção deste mesmo alvo, referentes à potência do sinal e à potência do ruído ao longo da cadeia de recepção, quando as formas de onda propostas neste trabalho, caracterizadas por portadoras moduladas em frequência faixa larga por um sinal modulador caracterizado por um processo estocástico são utilizadas como sinais de transmissão, são extraídos de (5-12), (5-21), (5-22), (5-16), (5-19), (5-23).

Estes valores são apresentados na Tabela 6.4, onde a coluna LFM refere-se aos valores relativos à modulação linear em frequência e RFM refere-se aos valores relativos à modulação aleatória em frequência. Os valores medidos através do simulador desenvolvido são apresentados na Tabela 6.6.

Tabela 6.5: Valores teóricos - Cenário 1.

Parâmetro	Variável	LFM	RFM	Unidade
Potência do sinal - saída filtro correlator	$P_{\tilde{x}'_i}$	-187,51	-187,51	dB
Potência do ruído - saída filtro correlator	$P_{\tilde{n}'_i}$	-203,01	-203,46	dB
Razão sinal-ruído - saída filtro correlator	SNR'_i	15,50	15,95	dB
Potência do sinal - saída integrador	$P_{\tilde{x}'_{int}}$	-141,51	-141,51	dB
Potência do ruído - saída integrador	$P_{\tilde{n}'_{int}}$	-180,01	-180,46	dB
Razão sinal-ruído - saída integrador	SNR'_{int}	38,50	38,95	dB

Tabela 6.6: Valores medidos - Cenário 1.

Parâmetro	Variável	LFM	RFM	Unidade
Potência do sinal - saída filtro correlator	$P_{\tilde{x}'_i}$	-187,32	-187,48	dB
Potência do ruído - saída filtro correlator	$P_{\tilde{n}'_i}$	-205,13	-204,07	dB
Razão sinal-ruído - saída filtro correlator	SNR'_i	17,81	16,58	dB
Potência do sinal - saída integrador	$P_{\tilde{x}'_{int}}$	-141,55	-141,57	dB
Potência do ruído - saída integrador	$P_{\tilde{n}'_{int}}$	-180,52	-181,40	dB
Razão sinal-ruído - saída integrador	SNR'_{int}	38,97	39,82	dB

Observa-se que os valores teóricos deduzidos ao longo deste trabalho estão de acordo com os valores medidos com o uso do simulador, tanto para o sistema que emprega forma de onda determinística, caracterizada por uma portadora modulada linearmente em frequência quanto para o sistema que emprega a forma de onda aleatória proposta, caracterizada por uma portadora modulada em frequência faixa larga. Nota-se que as saídas da compressão de pulsos e do integrador, tanto para o sinal determinístico, quanto para o sinal proposto apresentam ganhos conforme, respectivamente, os derivados em (3-46), (3-27), (5-28) e (5-29), resumidos na Tabela 6.7.

Tabela 6.7: Valores teóricos de ganhos de processamento - Cenário 1.

Parâmetro	Variável	LFM	RFM	Unidade
Ganho de compressão	G_c	16,02	16,47	dB
Ganho de integração	G_i	23,0	23,0	dB

As formas de onda referentes às saídas do filtro correlator de ambos os sistemas em estudo são apresentadas nas figuras 6.7 e 6.8.

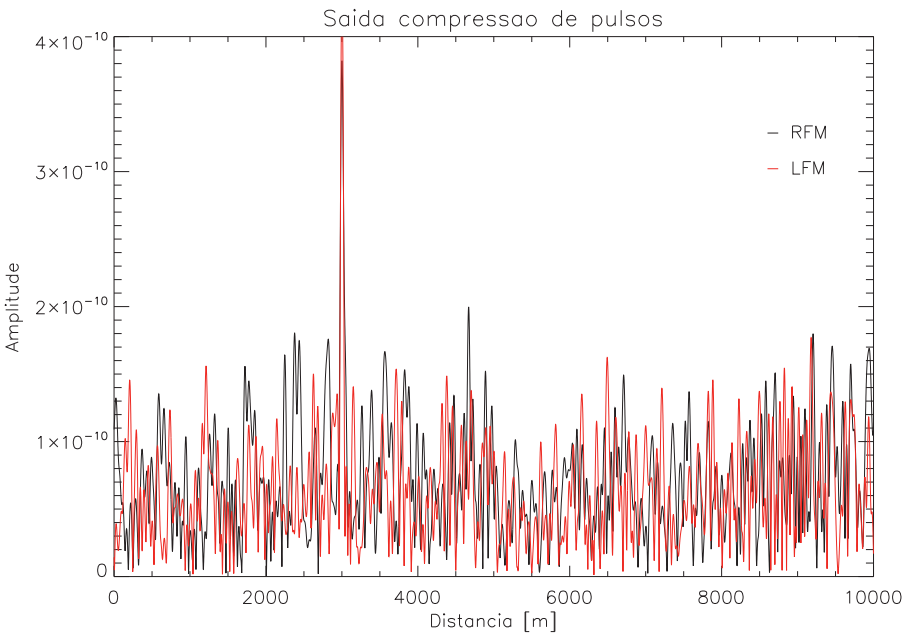


Figura 6.7: Cenário 1: Saída da compressão de pulsos.

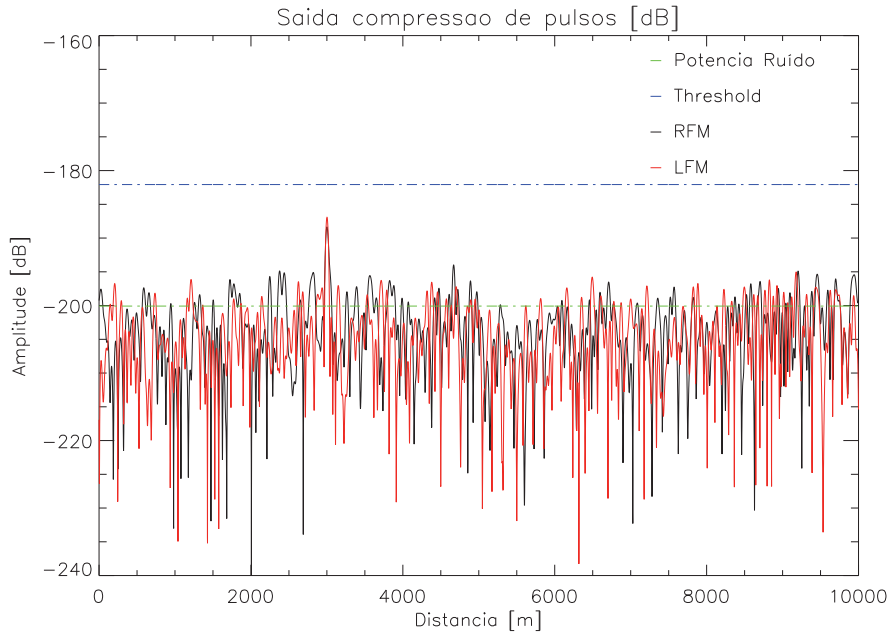


Figura 6.8: Cenário 1: Saída da compressão de pulsos [dB].

Observa-se das figuras 6.7 e 6.8 que, caso não houvesse o bloco integrador, os sistemas em análise não seriam hábeis à detectar corretamente o alvo com as características apresentadas na Tabela 6.8. Isto porque o sinal de saída da compressão apresenta uma razão sinal ruído associada menor que o limiar de detecção de Neyman-Pearson estabelecido.

As formas de onda referentes às saídas do integrador de ambos os sistemas em estudo são apresentadas nas figuras 6.9 a 6.12. Conforme exposto na Tabela 6.1, foram considerados $n_p = 200$ sinais integrados.

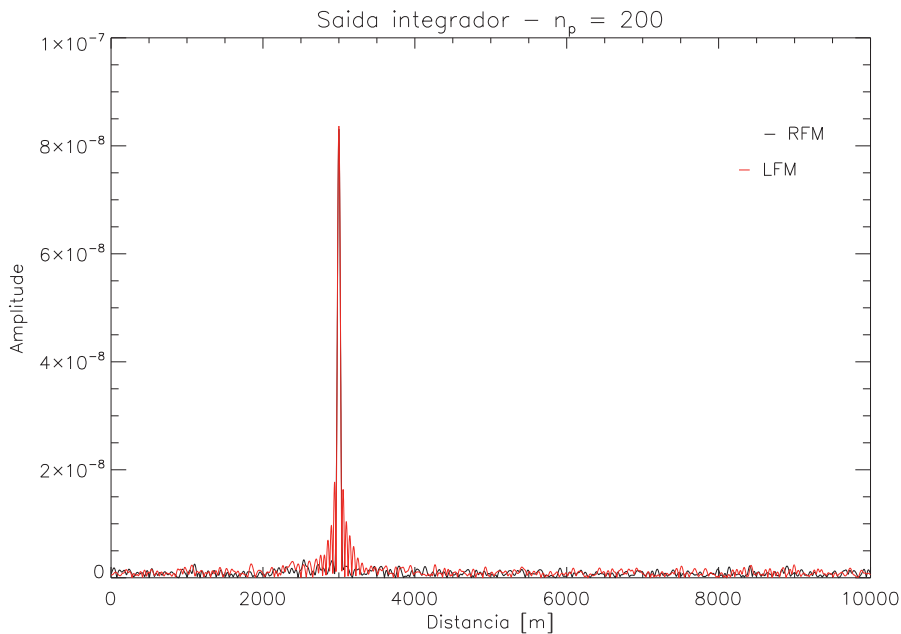


Figura 6.9: Cenário 1: Saída da integração de pulsos, $n_p = 200$.

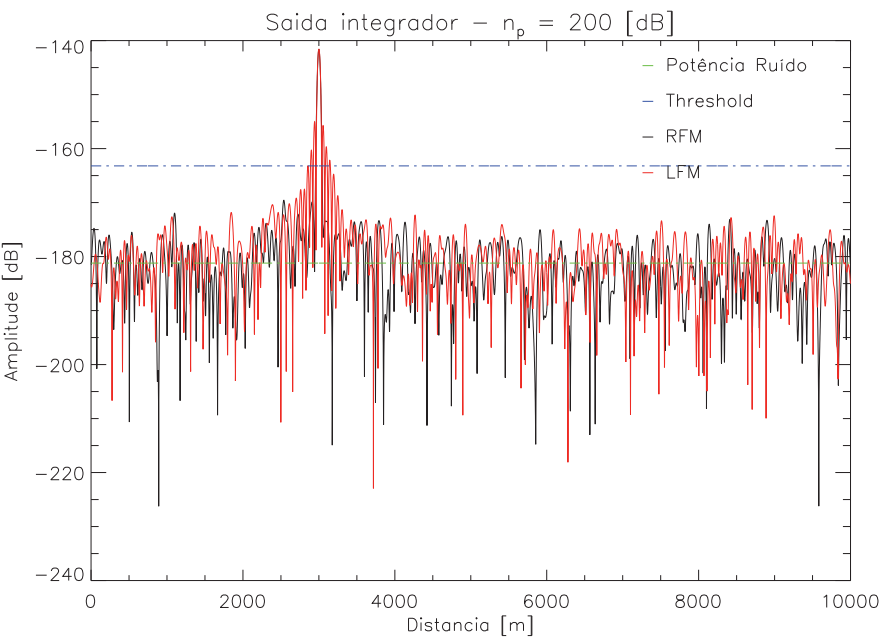


Figura 6.10: Cenário 1: Saída da integração de pulsos [dB], $n_p = 200$.

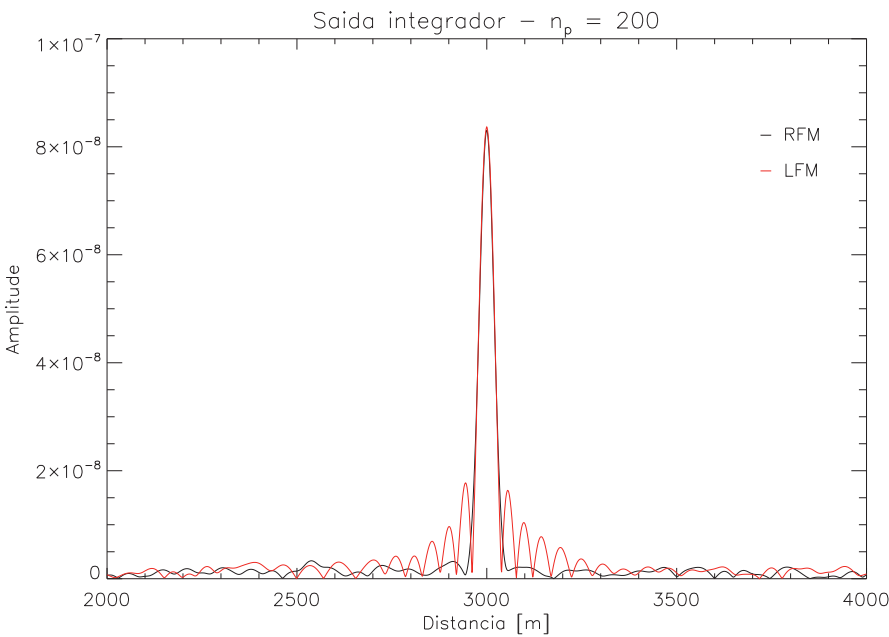


Figura 6.11: Cenário 1: Saída da integração de pulsos, $n_p = 200$.

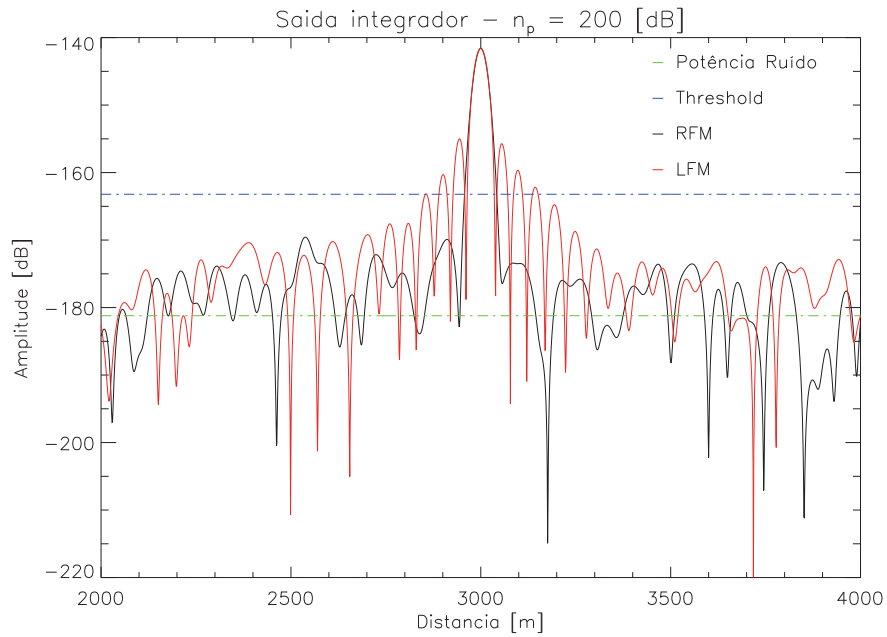


Figura 6.12: Cenário 1: Saída da integração de pulsos [dB], $n_p = 200$.

Note que o alvo localizado à distância $R_0 = \frac{cT_0}{2} = 3000,0 \text{ m}$ é corretamente detectado, pois a potência do sinal de entrada do detector neste ponto está mais de 18,0dB acima da potência média do ruído. Note, ainda, que, neste caso, quando sinais determinísticos são utilizados, os lóbulos laterais resultantes do processo de compressão de pulsos introduzirão alvos falsos à este sistema, pois ao menos 5 picos referentes aos lóbulos secundários têm potência suficiente para serem detectados.

A resolução em distância do sistema que emprega a forma de onda de transmissão proposta, caracterizada por uma portadora modulada em frequência faixa larga pode ser calculada conforme (5-60). Esta grandeza é ilustrada, com o uso do simulador desenvolvido, através da Figura 6.13.

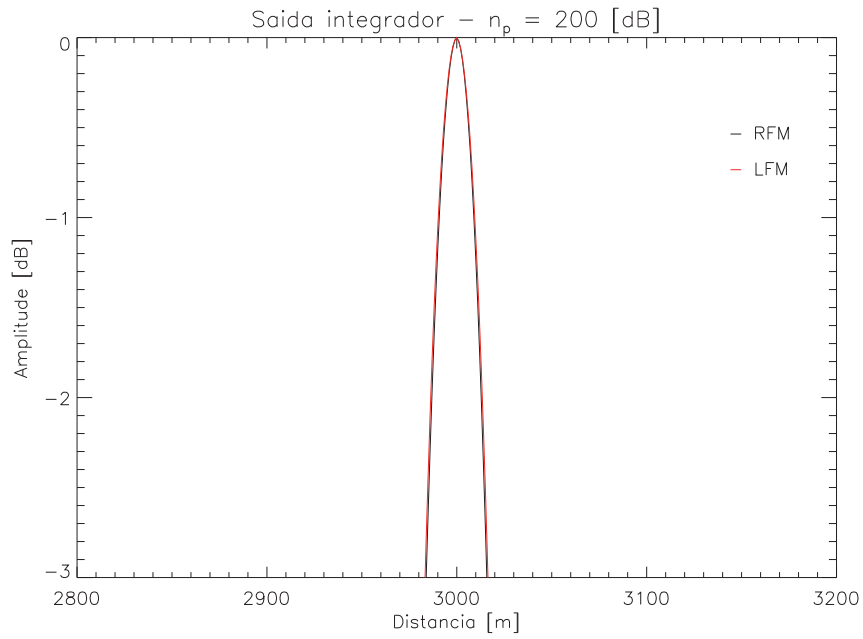


Figura 6.13: Cenário 1: Resolução em distância associada à saída da integração de pulsos [dB], $n_p = 200$.

Note que a resolução em distância de ambos os sistemas, tanto o que emprega a forma de onda aleatória proposta, quanto o que emprega uma forma de onda determinística, calculadas na saída do bloco integrador, são iguais a $\Delta R_{\tau_{3dB}} = 32,58 \text{ m}$, conforme (5-59).

6.3

Cenário 2

No segundo cenário, são considerados três alvos estáticos fora da zona cega, conforme descrito na Tabela 6.8. Nesta situação, o sinal de recepção $r_i(t)$ é dado conforme (3-1).

Tabela 6.8: Tabela de Alvos - Cenário 2.

Identificação	Seção Reta Radar [m^2]	Distância [m]	SNR_{in} [dB]
Alvo 1	0,5	1.500,0	-11,50
Alvo 2	1,5	3.000,0	-18,77
Alvo 3	2,0	4.500,0	-24,56

Os valores teóricos, relativos à estes alvos, referentes às razões sinal-ruído associadas à entrada do detector, quando formas de onda determinísticas caracterizadas por portadoras moduladas linearmente em frequência são utilizadas como sinais de transmissão, são extraídos de (3-39) e (3-26). Os valores teóricos, relativos à detecção destes mesmos alvos, referentes às razões sinal-ruído associadas à entrada do detector, quando as formas de onda propostas neste trabalho, caracterizadas por portadoras moduladas em frequência faixa larga por um sinal modulador caracterizado por um processo estocástico são utilizadas como sinais de transmissão, são extraídos de (5-26).

Estes valores são apresentados na Tabela 6.9, onde a linha LFM refere-se aos valores relativos à modulação linear em frequência e a linha RFM refere-se aos valores relativos à modulação aleatória em frequência. Os valores medidos através do simulador desenvolvido são apresentados na Tabela 6.10.

Tabela 6.9: Valores teóricos de razão sinal-ruído [dB] associadas à entrada do detector - Cenário 2.

Sinal Tx	Alvo 1	Alvo 2	Alvo 3
LFM	27,52	20,25	14,56
RFM	27,97	20,70	15,01

Tabela 6.10: Valores medidos de razão sinal-ruído [dB] associadas à entrada do detector - Cenário 2.

Sinal Tx	Alvo 1	Alvo 2	Alvo 3
LFM	26,96	19,98	14,81
RFM	27,26	19,51	13,53

Observa-se que, assim como no Cenário 1, os valores teóricos deduzidos ao longo deste trabalho estão de acordo com os valores medidos com o uso do simulador, tanto para o sistema que emprega forma de onda determinística, caracterizada por uma portadora modulada linearmente em frequência quanto para o sistema que emprega a forma de onda aleatória proposta, caracterizada por uma portadora modulada em frequência faixa larga. Nota-se que a saída do integrador, tanto para o sinal determinístico, quanto para o sinal proposto apresentam ganhos conforme, respectivamente, os derivados em (3-46), (3-27) e (5-30).

As formas de onda referentes às saídas do filtro correlator de ambos os sistemas em estudo são apresentadas na Figura 6.14.

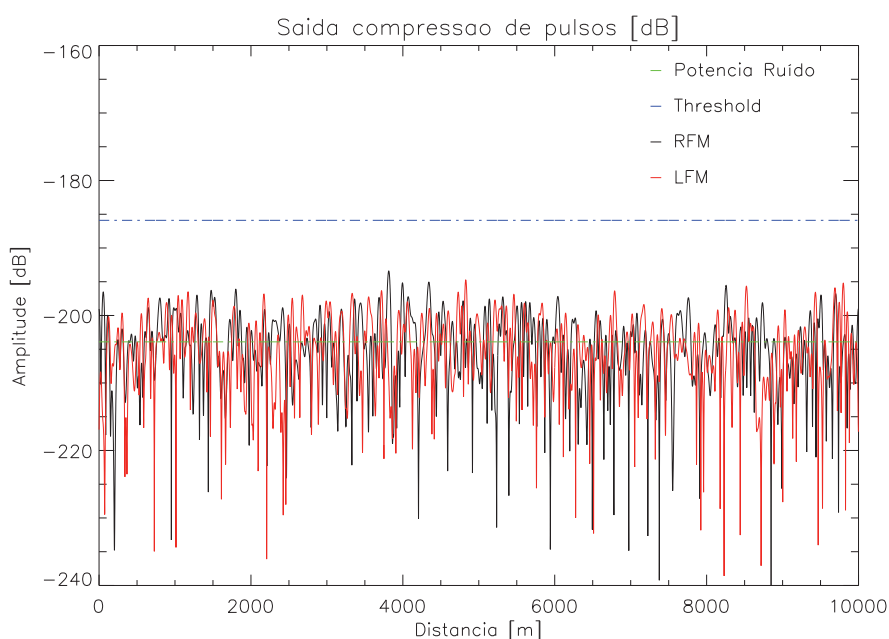


Figura 6.14: Cenário 2: Saída da compressão de pulsos [dB].

Observa-se da Figura 6.14 que os sinais estão imersos no ruído e que, caso não houvesse o bloco integrador, os sistemas em análise não seriam ábeis à detectar corretamente os alvos com as características apresentadas na Tabela 6.8.

As formas de onda referentes às saídas do integrador de ambos os sistemas em estudo são apresentadas nas figuras 6.15 a 6.17. Conforme exposto na Tabela 6.1, foram considerados $n_p = 200$ sinais integrados.

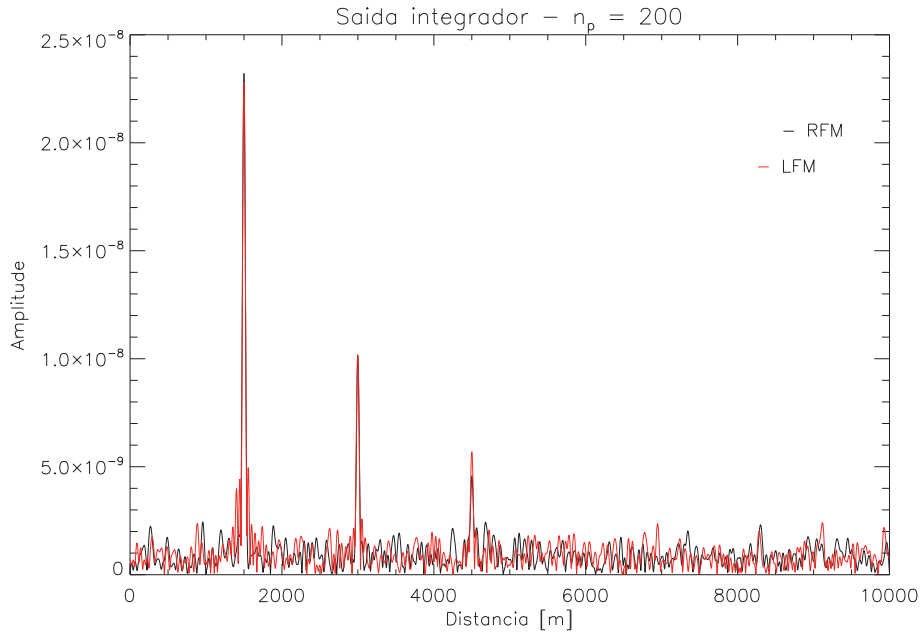


Figura 6.15: Cenário 2: Saída da integração de pulsos, $n_p = 200$.

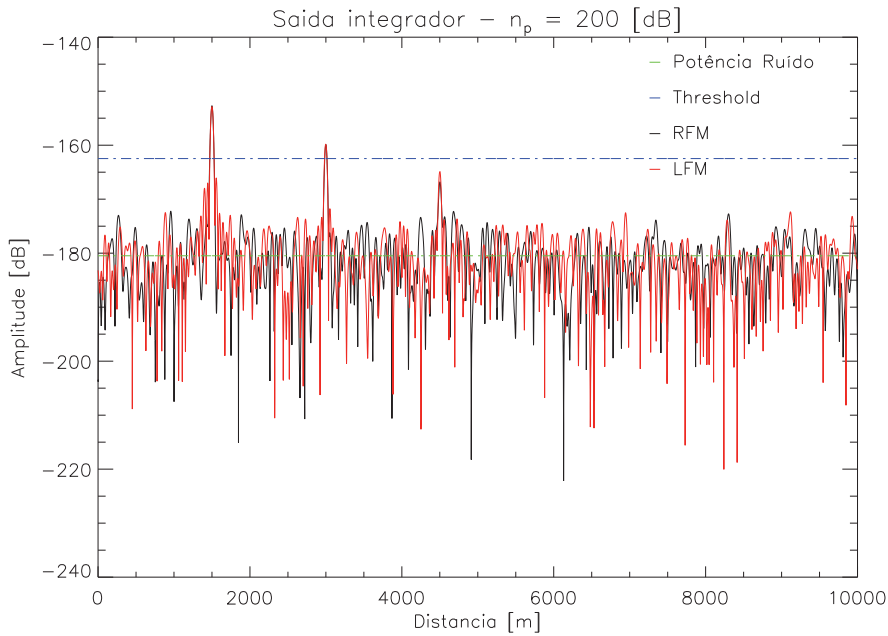


Figura 6.16: Cenário 2: Saída da integração de pulsos [dB], $n_p = 200$.

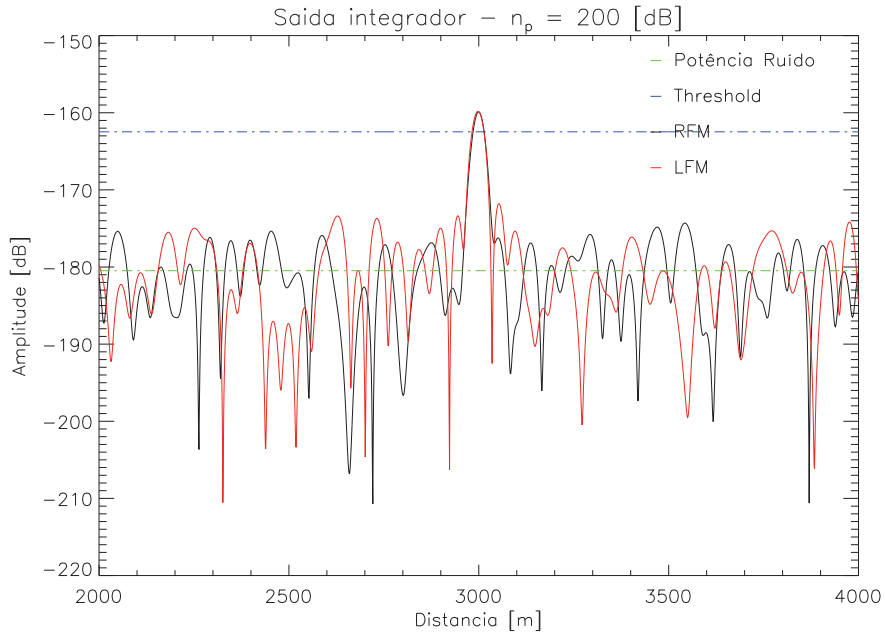


Figura 6.17: Cenário 2: Saída da integração de pulsos [dB], $n_p = 200$.

Observa-se que ambos os sistemas, tanto o que emprega forma de onda determinística quanto o que emprega a forma de onda proposta como sinal de transmissão apresentam desempenho semelhante diante de um cenário com múltiplos alvos. Nenhum prejuízo relativo à detecção foi detectado em nenhum dos dois sistemas quando mais de um alvo está presente no cenário. Pôde-se notar, ainda, a importância da integração e consequentemente do ganho de integração na detecção, uma vez que para um único sinal recebido de cada alvo, as razões sinal-ruído associadas à entrada do detector, referentes aos mesmos, são menores que o limiar de detecção, não sendo possível detectá-los.

6.4

Cenário 3

Neste cenário, deseja-se comparar a resolução em distância de um sistema que emprega uma forma de onda determinística como sinal de transmissão e de um sistema que emprega o sinal de transmissão proposto neste trabalho. São considerados dois alvos estáticos fora da zona cega, no limite da resolução em distância, conforme descrito na Tabela 6.11.

Tabela 6.11: Tabela de Alvos - Cenário 3.

Identificação	Seção Reta Radar [m^2]	Distância [m]	SNR_{in} [dB]
Alvo 1	10,0	3.000,0	-10.52
Alvo 2	11,0	3.035,0	-10.31

Os valores teóricos, relativos à estes alvos, referentes às razões sinal-ruído associadas à entrada do detector, quando formas de onda determinísticas caracterizadas por portadoras moduladas linearmente em frequência são utilizadas como sinais de transmissão, são extraídos de (3-39) e (3-26). Os valores teóricos, relativos à detecção destes mesmos alvos, referentes às razões sinal-ruído associadas à entrada do detector, quando as formas de onda propostas neste trabalho, caracterizadas por portadoras moduladas em frequência faixa larga por um sinal modulador caracterizado por um processo estocástico são utilizadas como sinais de transmissão, são extraídos de (5-26).

Estes valores são apresentados na Tabela 6.12, onde a linha LFM refere-se aos valores relativos à modulação linear em frequência e a linha RFM refere-se aos valores relativos à modulação aleatória em frequência. Os valores medidos através do simulador desenvolvido são apresentados na Tabela 6.13.

Tabela 6.12: Valores teóricos de razão sinal-ruído [dB] associadas à entrada do detector - Cenário 3.

Sinal Tx	Alvo 1	Alvo 2
LFM	28,71	28,50
RFM	29.16	28,95

Tabela 6.13: Valores medidos de razão sinal-ruído [dB] associadas à entrada do detector - Cenário 3.

Sinal Tx	Alvo 1	Alvo 2
LFM	27,20	28,26
RFM	28,34	27,78

As formas de onda referentes às saídas do integrador de ambos os sistemas em estudo são apresentadas nas figuras 6.18 e 6.19. Conforme exposto na Tabela 6.1, foram considerados $n_p = 200$ sinais integrados.

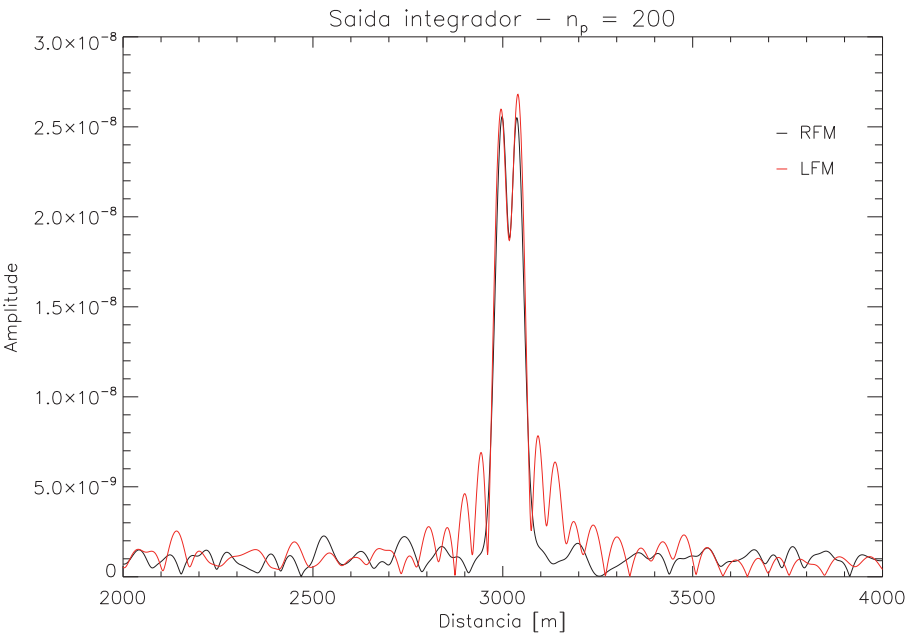


Figura 6.18: Cenário 3: Saída da integração de pulsos, $n_p = 200$.

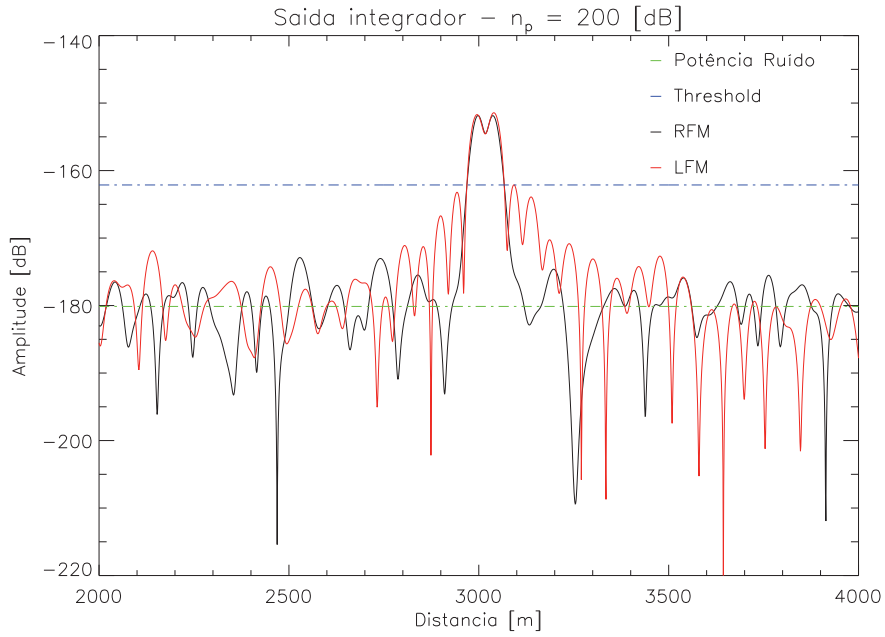


Figura 6.19: Cenário 3: Saída da integração de pulsos [dB], $n_p = 200$.

Observa-se a partir das Fig 6.18 e Fig 6.19 que os dois alvos presentes no cenário são detectados corretamente, pois os dois picos da compressão de pulsos aparecem de forma claramente distinguível. Tal afirmação é verdadeira tanto para o sistema que emprega uma forma de onda de transmissão determinística quanto para o sistema que emprega a forma de onda proposta. A resolução em distância deste cenário é calculada conforme (5-59) e pode ser observada, com o uso do simulador, na Fig 6.20, de onde se extrai que $\Delta R_{\tau_{3dB}} = 32,58 \text{ m}$, conforme o valor teórico..

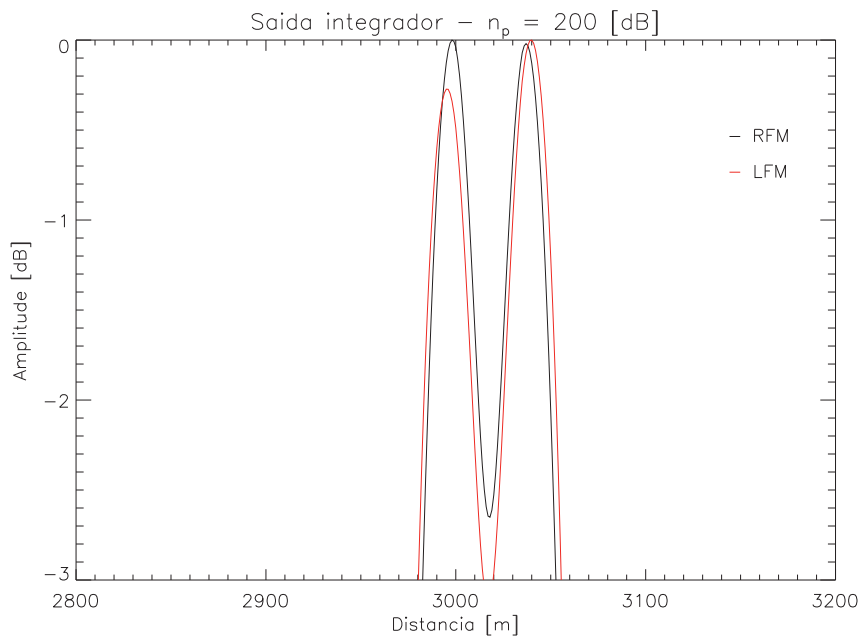


Figura 6.20: Cenário 3: Medida da resolução em distância a partir da saída da integração de pulsos [dB], $n_p = 200$.

6.5

Cenário 4

Neste cenário, deseja-se observar como os sistemas em estudo se comportam diante de um cenário em que existe um alvo com ambiguidade em distância. São considerados três alvos estáticos fora da zona cega, sendo que um deles está localizado à uma distância maior que a distância máxima não ambígua (2-2), conforme descrito na Tabela 6.14.

Tabela 6.14: Tabela de Alvos - Cenário 4.

Identificação	Seção Reta Radar [m^2]	Distância [m]	SNR_{in} [dB]
Alvo 1	1,0	3.000,0	-20,49
Alvo 2	4,0	4.500,0	-21,51
Alvo 3	60,0	7.500,0	-18,63

Os valores teóricos, relativos à estes alvos, referentes às razões sinal-ruído associadas à entrada do detector, quando formas de onda determinísticas caracterizadas por portadoras moduladas linearmente em frequência são utilizadas como sinais de transmissão, são extraídos de (3-39) e (3-26). Os valores teóricos, relativos à detecção destes mesmos alvos, referentes às razões sinal-ruído associadas à entrada do detector, quando as formas de onda propostas neste trabalho, caracterizadas por portadoras moduladas em frequência faixa larga por um sinal modulador caracterizado por um processo estocástico são utilizadas como sinais de transmissão, são extraídos de (5-26).

Estes valores são apresentados na Tabela 6.15, onde a linha LFM refere-se aos valores relativos à modulação linear em frequência e a linha RFM refere-se aos valores relativos à modulação aleatória em frequência. Os valores medidos através do simulador desenvolvido são apresentados na Tabela 6.16.

Tabela 6.15: Valores teóricos de razão sinal-ruído [dB] associadas à entrada do detector - Cenário 4.

Sinal Tx	Alvo 1	Alvo 2	Alvo 3
LFM	18.53	17.51	20.40
RFM	18.99	17.97	20.86

Tabela 6.16: Valores medidos de razão sinal-ruído [dB] associadas à entrada do detector - Cenário 4.

Sinal Tx	Alvo 1	Alvo 2	Alvo 3	Alvo Falso
LFM	16.33	18.38	18.57	18,53
RFM	18.72	18.06	21.50	0

As formas de onda referentes às saídas do integrador de ambos os sistemas em estudo são apresentadas nas figuras 6.21 a 6.24. Conforme exposto na Tabela 6.1, foram considerados $n_p = 200$ sinais integrados.

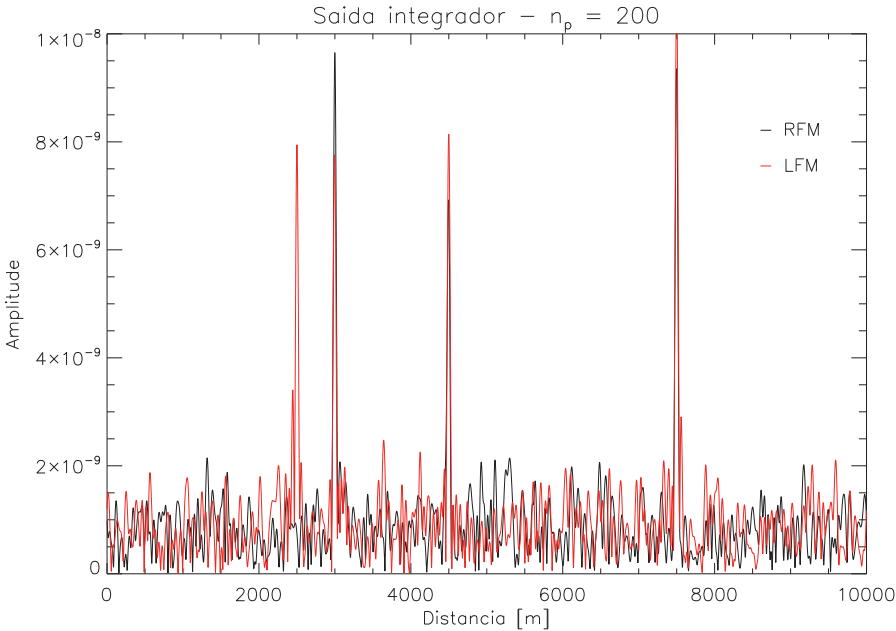


Figura 6.21: Cenário 4: Saída da integração de pulsos, $n_p = 200$.

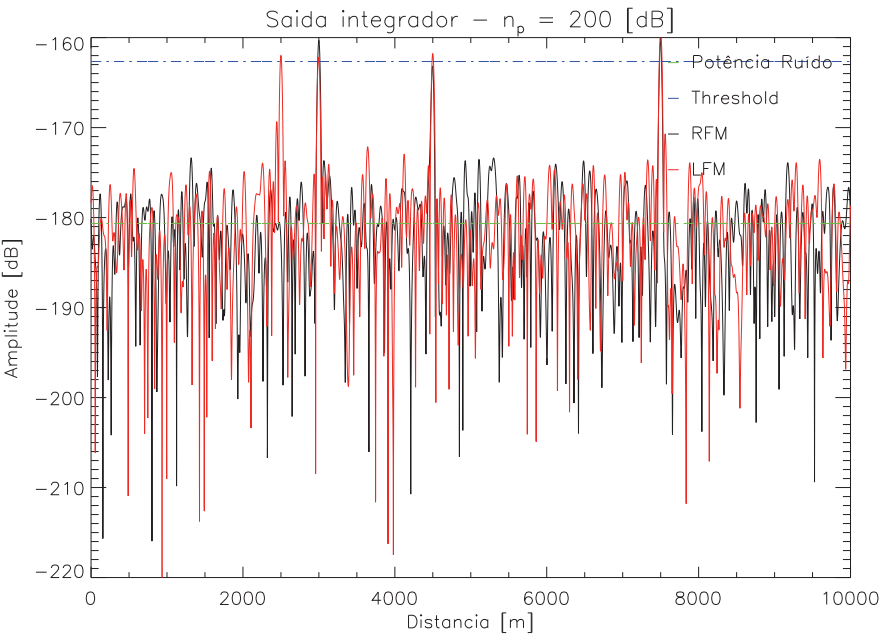


Figura 6.22: Cenário 4: Saída da integração de pulsos [dB], $n_p = 200$.

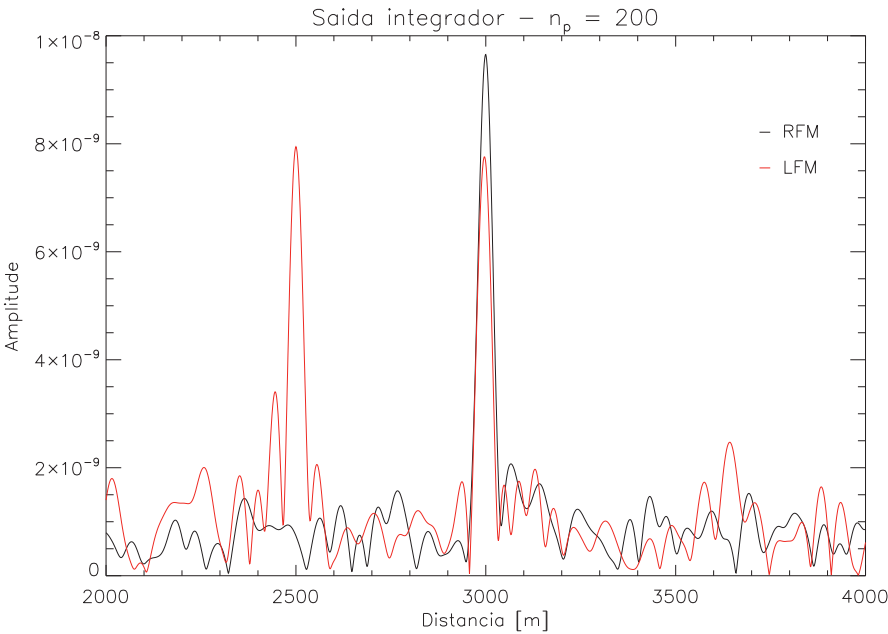


Figura 6.23: Cenário 4: Saída da integração de pulsos, $n_p = 200$.

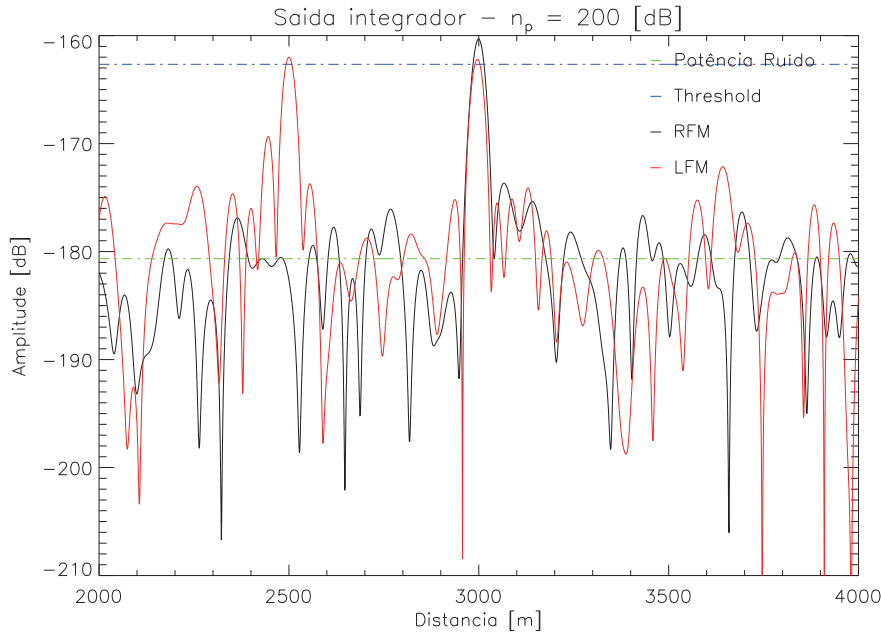


Figura 6.24: Cenário 4: Saída da integração de pulsos [dB], $n_p = 200$.

Observa-se a partir das figuras 6.21, 6.22, 6.23 e 6.24 que no sistema que emprega a forma de onda determinística um alvo falso aparece a uma distância $R = 2500,0\text{m}$, com potência suficiente para ser detectado, o que não ocorre no sistema que emprega a forma de onda proposta. Tal resultado está de acordo com o derivado no Capítulo 5, a partir do qual se conclui que o sistema que emprega a forma de onda proposta neste trabalho não apresenta, em situação alguma, ambiguidade em distância, enquanto que o sistema clássico não só apresenta este problema, como não possui nenhum registro na literatura de métodos simples e eficientes para sua solução.

6.6

Cenário 5

Neste cenário, é tecido um comparativo entre um sistema que emprega a forma de onda proposta como sinal de transmissão e um sistema que emprega uma forma de onda determinística modulada linearmente em frequência e faz uso da técnica de janelamento da réplica do sinal de transmissão previamente à compressão de pulsos, conforme descrito no Capítulo 5. O alvo em análise é o mesmo considerado no Cenário 1, cujas características são descritas na Tab 6.3.

Os valores medidos relativos a este alvo, referente à razão sinal-ruído na associada à entrada do detector são apresentadas na Tabela 6.17.

Tabela 6.17: Valores medidos de razão sinal-ruído [dB] associadas à entrada do detector - Cenário 7.

Sinal Tx	Alvo 1
LFM	35,42
RFM	39,82

Comparando com os valores medidos por ocasião da análise do Cenário 1, apresentados na Tabela 6.6, observa-se que a razão sinal-ruído associada à entrada do detector do sistema que emprega forma de onda determinística, caracterizada por uma portadora modulada linearmente em frequência juntamente com janelamento é 3dB menor que do sistema que emprega a mesma forma de onda porém não emprega janelamento.

As formas de onda referentes às saídas do integrador de ambos os sistemas em estudo são apresentadas nas figuras 6.25 a 6.27. Conforme exposto na Tabela 6.1, foram considerados $n_p = 200$ sinais integrados.

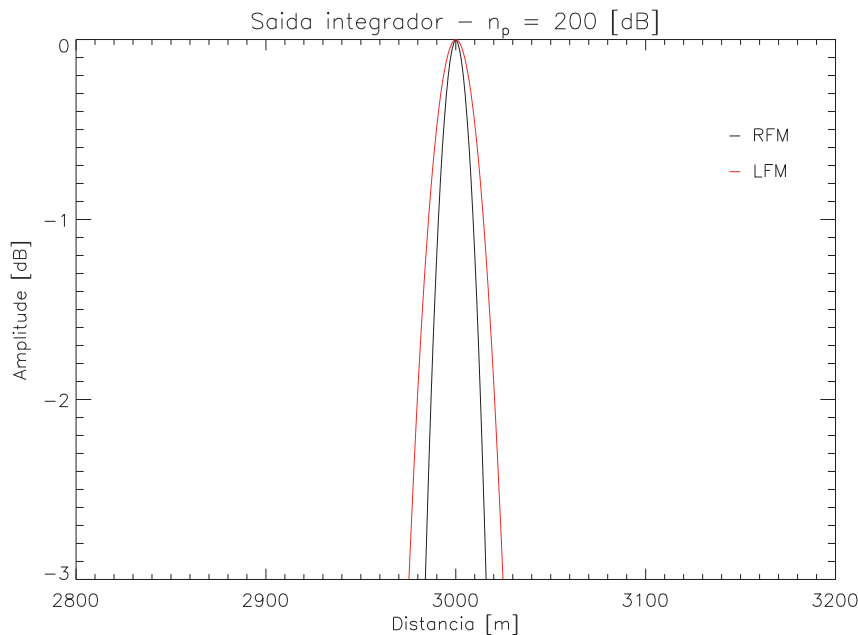


Figura 6.25: Cenário 4: Medida da resolução em distância com base na saída da integração de pulsos [dB], $n_p = 200$.

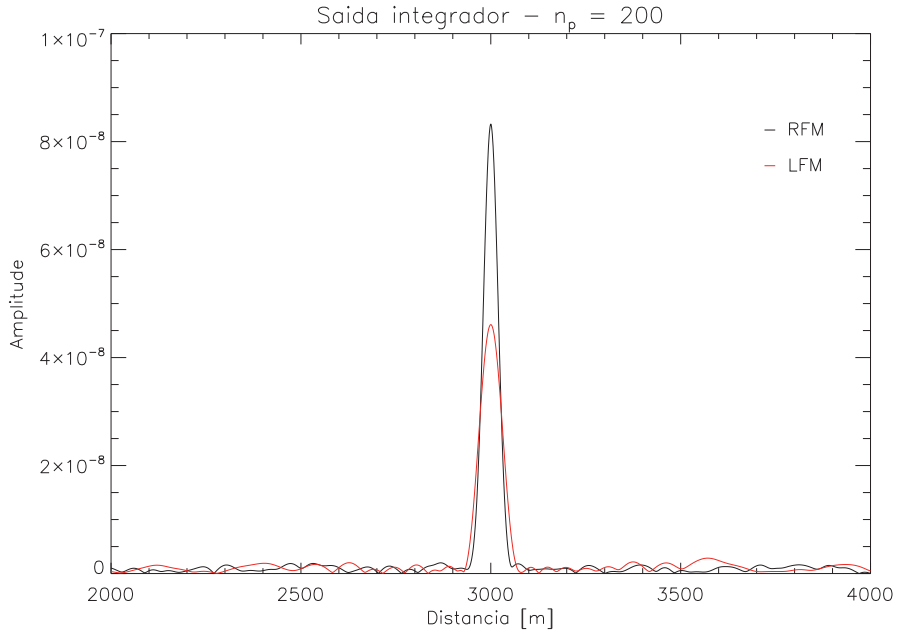


Figura 6.26: Cenário 5: Saída da integração de pulsos, $n_p = 200$.

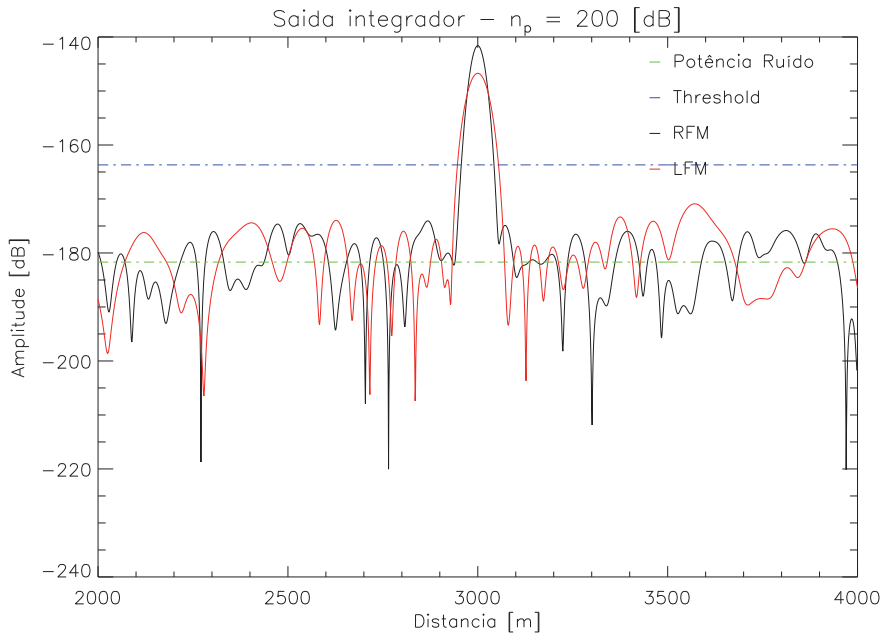


Figura 6.27: Cenário 5: Saída da integração de pulsos [dB], $n_p = 200$.

Observa-se, da Figura 6.12, a importância de a função autocorrelação do sinal de transmissão apresentar baixos índices de lóbulos secundários. Para o sinal determinístico, modulado linearmente em frequência, a saída do integrador é uma função $\text{sinc}(\tau)$, a qual apresenta lóbulos secundários espaçados de $\Delta\tau_{LS} = \frac{1}{B_s}$, sendo que o valor do primeiro lóbulo secundário é apenas 13,2dB menor que o valor do lóbulo principal [09]. Desta forma, observa-se que, se o alvo apresenta elevada potência recebida, os lóbulos laterais do sinal de entrada no detector apresentarão

níveis acima do limiar de detecção, sendo detectados como alvos, ocasionando, então, em falsos alarmes.

A saída do integrador do sistema que utiliza o sinal proposto modulado em frequência faixa larga, por sua vez, tende para uma função gaussiana, que não apresenta lóbulos laterais, ou seja, os níveis dos lóbulos laterais da saída do bloco são mínimos. Desta forma, observa-se que, ainda que o alvo apresente elevada potência recebida, os lóbulos laterais do sinal de entrada no detector não apresentarão níveis acima do limiar de detecção, ou apresentarão com uma incidência muito baixa, não provocando falsos alarmes.

Observa-se a partir das figuras 6.26 e 6.27 que, conforme apresentado na Tabela 6.17, a potência do sinal de entrada do detector, no instante T_0 , no sistema que emprega forma de onda determinística juntamente com a técnica de janelamento, é aproximadamente 3dB menor que o valor obtido sem janelamento, este último igual ao obtido com a forma de onda proposta. Observa-se, ainda, a partir da Fig 6.25, que a largura de 3dB da saída do integrador do sistema determinístico com janelamento é maior que o valor sem janelamento, ou seja, esta técnica provoca um alargamento da saída da compressão de pulsos, comprometendo a resolução em distância do sistema. A resolução em distância medida foi $R_{\tau_{3dB}} = 52,04 \text{ m}$, maior que obtido sem o uso do janelamento, esta última aproximadamente igual à obtida com o uso da forma de onda proposta como sinal de transmissão.

Destaca-se, por fim, que a relação pico-lóbulo lateral da saída do integrador do sistema que emprega a forma de onda proposta é maior que a alcançada no sistema determinístico com janelamento, ou seja, os níveis dos lóbulos laterais são menores. Desta forma, o sistema proposto supera o sistema determinístico, que emprega técnica de janelamento, em todos os critérios de desempenho estabelecidos.