

# Relatório 4c: Otimização do Código Mach2D - Verificação

Jonas Joacir Radtke

9 de dezembro de 2012

## 1 Objetivo Geral

Verificação da solução numérica obtida pelo código Mach2D com esquema CDS-2. Para tanto, foi utilizado o código sem efeito  $\Delta t$  e otimizado pelo Diego na etapa 3. Como critério de parada foi estabelecido que o resíduo deve permanecer abaixo da tolerância ( $10^{-15}$ ) por no mínimo 100 iterações consecutivas.

## 2 Caracterização do Computador e do Compilador

Tabela 1: Configuração dos computadores utilizados nas simulações numéricas.

Hardware	Processador	Intel(R) Core(TM) i5-2310
	Frequência [GHz]	2,90
	Arquitetura [bits]	64
	Memória RAM [GB]	8,0
Software	Sistema operacional	Linux
	Descrição	Ubuntu 12.04 LTS
	Kernel	3.2.0-23-generic
	Compilador	GFortran
	Versão	4.6.3

### 3 Dados de Entrada Fixos no Mach2D

Tabela 2: Parâmetros utilizados no arquivo de entrada de dados do Mach2D.

Descrição	Variável	Valor
Kind of grid (1=uniform; 2=Geometric Progression, 3=power law)	<i>kg</i>	1
Coordinate system (1=cylindrical; else cartesian)	<i>coord</i>	1
Perfect gas constant [ $J/(kg \cdot K)$ ]	<i>Rg</i>	286.9
Specific heat ratio (Cpo/Cvo in the chamber)	<i>gamma</i>	1.4
Stagnation pressure in the chamber [ $Pa$ ]	<i>po</i>	1.0E+06
Stagnation temperature in the chamber [ $K$ ]	<i>T0</i>	300
Atmospheric pressure at the sea level [ $Pa$ ]	<i>pr</i>	101325
Gravitational acceleration at the sea level [ $m/s^2$ ]	<i>go</i>	9.80665
Viscosity model (0=Euler; 1=Navier-Stokes)	<i>modvis</i>	0
Constant of the UDS/CDS mixing scheme	$\beta$	1
Turbulence model option (0=laminar; 1=Baldwin-Lomax)	<i>modtur</i>	0
Boundary condition (0=adiabatic; 1=prescribed temperature)	<i>ccTw</i>	0
Parada com base no valor do resíduo	<i>tolerance</i>	1.0E-15
Maximum number of interactions for the pressure correction	<i>imax</i>	5
Maximum number of interactions for the solver method for u, v and T	<i>nitm<sub>u</sub></i>	2
Maximum number of interactions for the solver method for p	<i>nitm<sub>p</sub></i>	2
Upload backup data and continue computation (0=no; 1=yes)	<i>reload</i>	0
Frequency of saving backup data	<i>wbkp</i>	50000
Frequency of printing in the listing file	<i>wlf</i>	1
Open result files (1=no; 0=yes)	<i>sem_a</i>	1
Visualize the plot (0=yes; 1=no)	<i>sem_g</i>	1
Frequency of writing data for graphics	<i>w_g</i>	1
Write the fields (1=yes; 0=no)	<i>w_cam</i>	1

### 4 Resultados com $RA = 4$

Tabela 3: Tempo de CPU para as diferentes malhas consideradas para a tubeira de razão de expansão igual a 4.

Simulation	$n_x$	$n_y$	$\Delta t$	$it$	$t_{cpu}$
CdsR040004	6	6	5.0E-05	5097	2.480000E-01
CdsR040008	10	10	5.0E-05	2111	2.140000E-01
CdsR040016	18	18	5.0E-05	1988	6.060000E-01
CdsR040032	34	34	5.0E-05	1717	1.795000E+00
CdsR040064	66	66	5.0E-05	1530	6.009000E+00
CdsR040128	130	130	5.0E-05	2118	3.802700E+01
CdsR040256	258	258	2.0E-05	2841	2.488930E+02
CdsR040512	514	514	1.0E-05	4865	2.175971E+03
CdsR041024	1026	1026	5.0E-06	9178	1.337961E+04
CdsR042048	2050	2050	2.0E-06	44002	2.688630E+05

Tabela 4: Solução numérica do coeficiente de descarga ( $C_d$ ) e do coeficiente de eficiência ( $F_d^*$ ) para as diferentes malhas consideradas para a tubeira de razão de expansão igual a 4.

Simulation	$n_x$	$n_y$	$h$	$C_d$	$F_d^*$
CdsR040004	6	6	2.50000000E-01	1.03514254334164E+00	1.07630720373346E+00
CdsR040008	10	10	1.25000000E-01	1.00695975013039E+00	1.00886327874877E+00
CdsR040016	18	18	6.25000000E-02	1.00009506643660E+00	9.95589125859115E-01
CdsR040032	34	34	3.12500000E-02	9.99717842264992E-01	9.93495645178052E-01
CdsR040064	66	66	1.56250000E-02	9.99825857059741E-01	9.93179859745562E-01
CdsR040128	130	130	7.81250000E-03	9.99897841250545E-01	9.93147283114157E-01
CdsR040256	258	258	3.90625000E-03	9.99928737127040E-01	9.93151423605646E-01
CdsR040512	514	514	1.95312500E-03	9.99940910751801E-01	9.93156579009530E-01
CdsR041024	1026	1026	9.76562500E-04	9.99945629836571E-01	9.93159430334606E-01
CdsR042048	2050	2050	4.88281250E-04	9.99947458907774E-01	9.93160759852630E-01

Tabela 5: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para o coeficiente de descarga ( $C_d$ ).

$n_x$	$n_y$	$h$	$\phi$	$p_U$	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
4	4	0.25000000	1.03514254E + 00	não se aplica	não se aplica	não se aplica
8	8	0.12500000	1.00695975E + 00	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	16	0.06250000	1.00009507E + 00	2.03755	-2.21050943E - 03	6.63152830E - 03
32	32	0.03125000	9.99717842E - 01	4.18570	-2.19343296E - 05	6.58029889E - 05
64	64	0.01562500	9.99825857E - 01	---	---	---
128	128	0.00781250	9.99897841E - 01	0.58548	1.43814512E - 04	4.31443536E - 04
256	256	0.00390625	9.99928737E - 01	1.22027	2.32317923E - 05	6.96953769E - 05
512	512	0.00195313	9.99940911E - 01	1.34366	7.91556176E - 06	2.37466853E - 05
1024	1024	0.00097656	9.99945630E - 01	1.36718	2.98740916E - 06	8.96222748E - 06
2048	2048	0.00048828	9.99947459E - 01	1.36740	1.15760753E - 06	3.47282259E - 06

Tabela 6: Solução numérica, ordem aparente e estimativas para a eficiência do empuxo dinâmico ( $F_d^*$ ).

$n_x$	$n_y$	$h$	$\phi$	$p_U$	$U_{ri}(\phi, p_U)$	$U_{GCI}(\phi, p_U)$
4	4	0.25000000	1.07630720E + 00	não se aplica	não se aplica	não se aplica
8	8	0.12500000	1.00886328E + 00	não se aplica	não se aplica	não se aplica
16	16	0.06250000	9.95589126E - 01	2.34507	-3.25279447E - 03	9.75838340E - 03
32	32	0.03125000	9.93495645E - 01	2.66464	-3.91985498E - 04	1.17595649E - 03
64	64	0.01562500	9.93179860E - 01	2.72889	-5.60953512E - 05	1.68286054E - 04
128	128	0.00781250	9.93147283E - 01	3.27704	-3.74718903E - 06	1.12415671E - 05
256	256	0.00390625	9.93151424E - 01	---	---	---
512	512	0.00195313	9.93156579E - 01	---	---	---
1024	1024	0.00097656	9.93159430E - 01	0.85445	3.52854887E - 06	1.05856466E - 05
2048	2048	0.00048828	9.93160760E - 01	1.10073	1.16152582E - 06	3.48457745E - 06

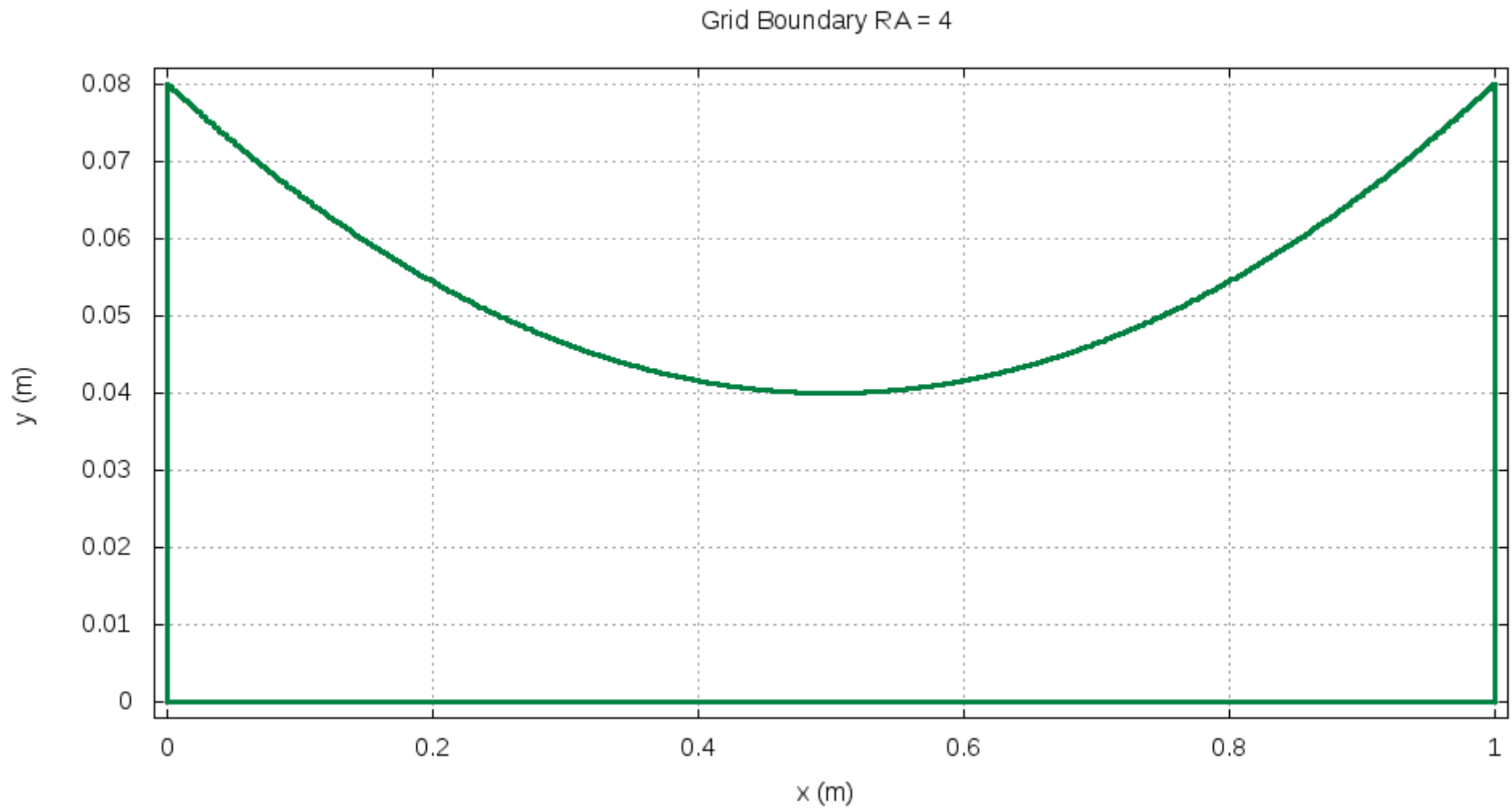
## 5 Geometrias e Malhas

A geometria da tubeira é definida pela seguinte equação:

$$y = 0,16x^2 + 0,04 \quad (\text{em metros}) \quad (1)$$

O perfil da parede norte da tubeira, definida pela equação acima, é transladado ao longo do eixo  $x$  para que a entrada da tubeira fique sobre o eixo  $y$  ( $x = 0$ ). O comprimento da tubeira é 1 metro.

O perfil da tubeira é apresentado na figura (1). As figuras (2)-(6) apresentam as malhas geradas para a tubeira de razão de expansão igual a 4 para diferentes valores de  $NX$  e  $NY$ .



Sat Dec 08 15:54:40 2012

Figura 1: Geometria das tubeiras parabólicas com  $RA = 4$ .

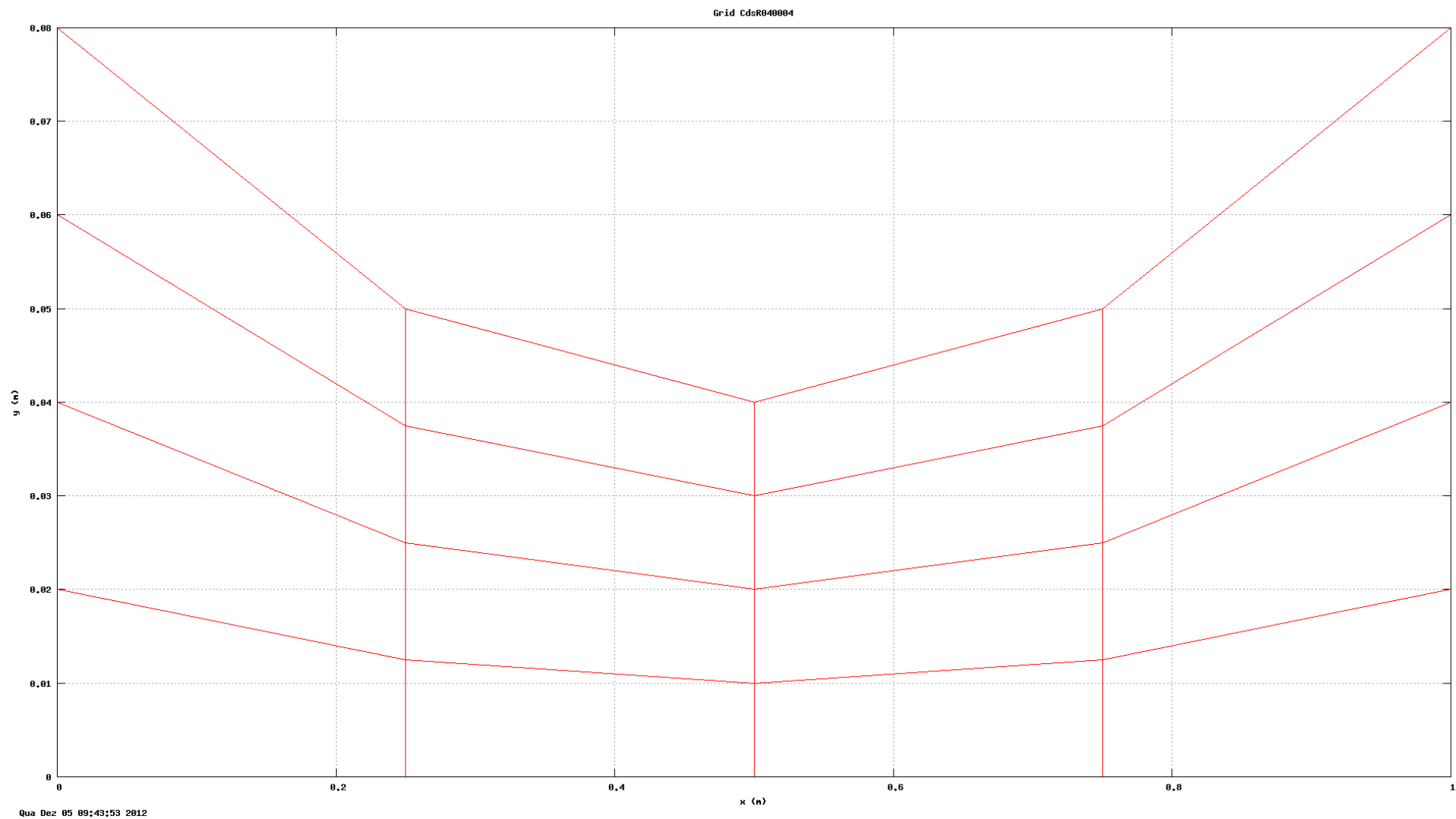


Figura 2: Malha 4x4 da tubeira parabólica de  $RA = 4$ .

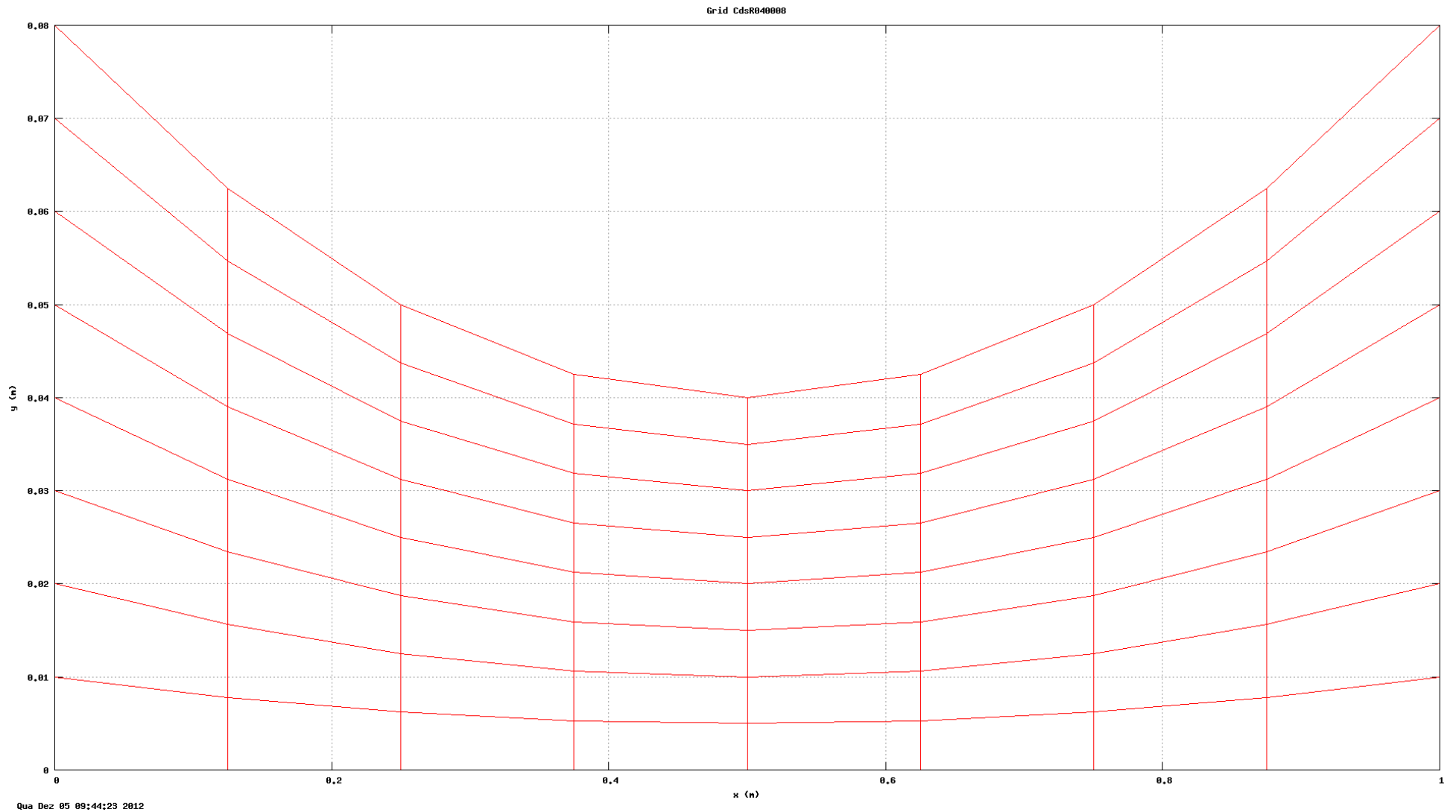


Figura 3: Malha 8x8 da tubeira parabólica de  $RA = 4$ .

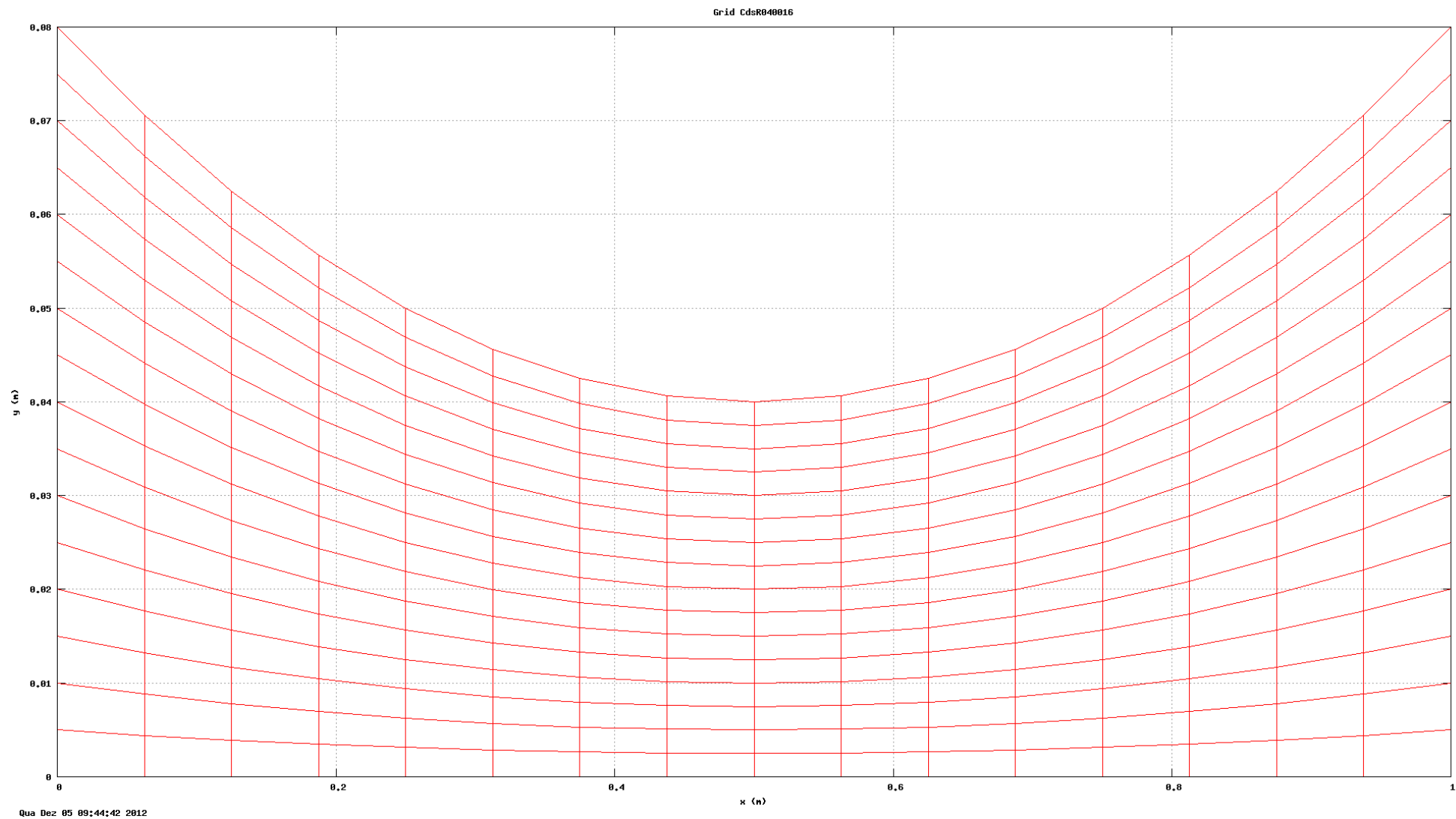


Figura 4: Malha 16x16 da tubeira parabólica de  $RA = 4$ .



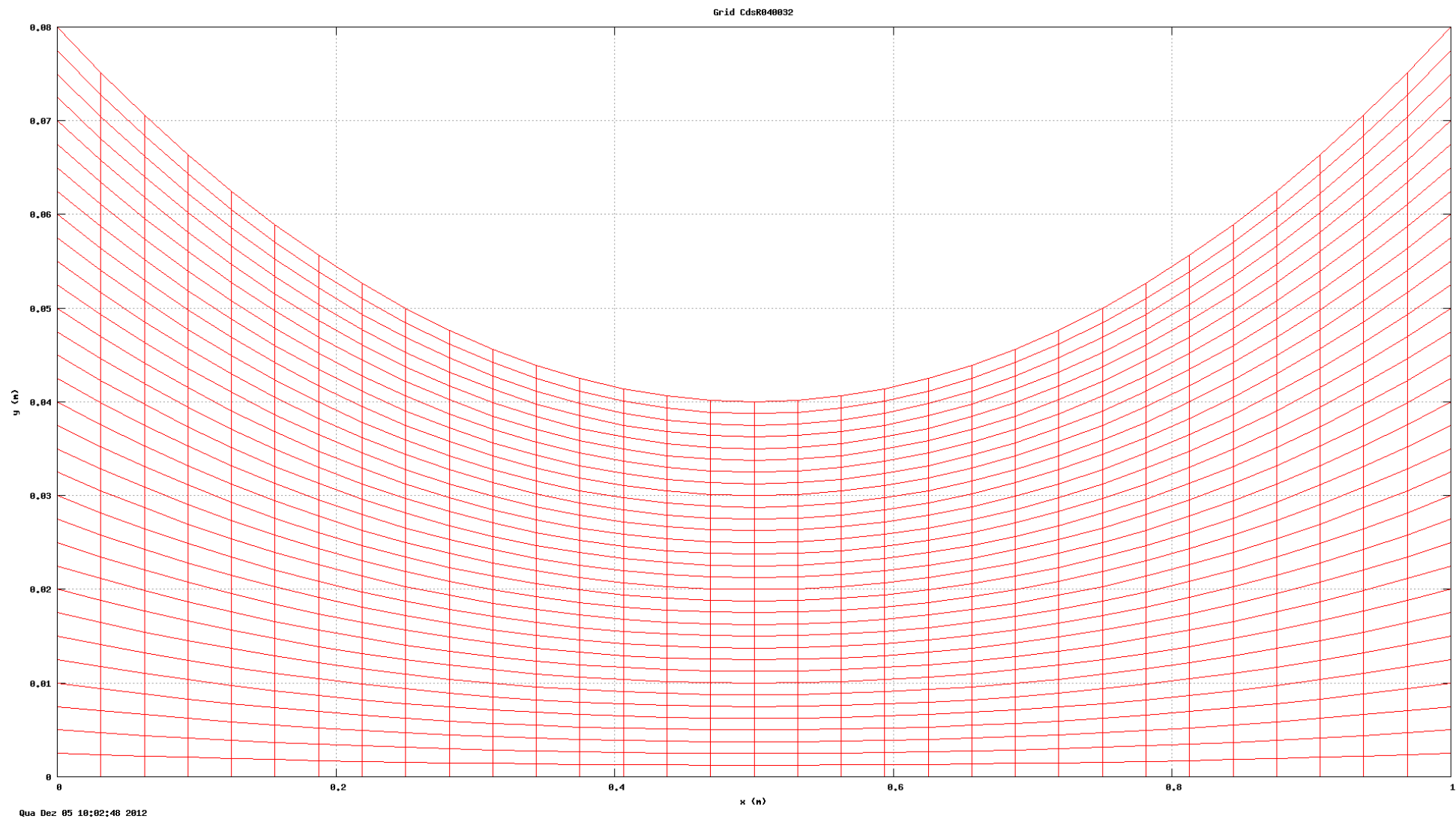


Figura 5: Malha 32x32 da tubeira parabólica de  $RA = 4$ .

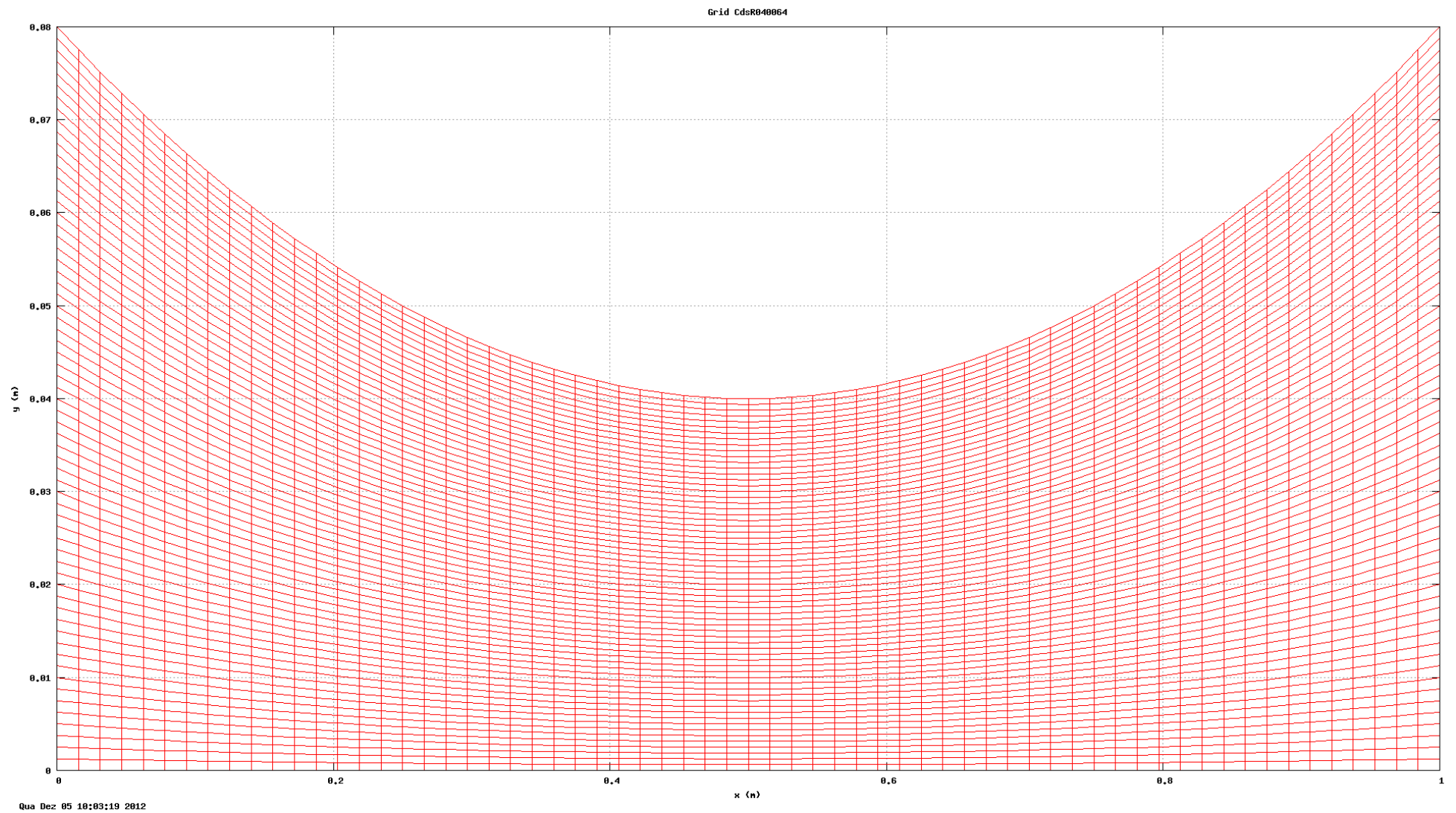


Figura 6: Malha 64x64 da tubeira parabólica de  $RA = 4$ .