

## 7 EXPERIMENTOS REALIZADOS

Os experimentos foram propostos para investigar aspectos da representação digital de superfícies por meio de grades retangulares regulares, e a generalização por meio de transformação de simplificação controlada por procedimentos da Teoria Matemática da Comunicação. Dentro de cada experimento foram realizados alguns testes para verificar a proposição do experimento. Assim:

- a) No primeiro experimento buscou-se investigar o comportamento da TMC aplicada a grades regulares retangulares em presença de variação da tolerância para os desníveis dos quais é função o valor de similaridade atribuído a um par de seções. Foram utilizadas as grades retangulares regulares totais e foram calculadas as variáveis entropia, probabilidades condicionais, equivocação e informação útil. O valor da tolerância variou dentro do limite *200m* até *1m*. Nestes testes não foi aplicado o processo de remoção progressiva, portanto, os números de seções inicial e final são sempre os mesmos para cada um dos testes. Neste experimento também foi avaliada a diferença na atuação dos critérios de cálculo da similaridade, um que considera a soma dos desníveis e outro que considera apenas o número de desníveis menores ou iguais à tolerância;
- b) No segundo experimento buscou-se investigar a influência da orientação da grade retangular sobre a similaridade e informação útil. As grades retangulares regulares foram rotacionadas e testadas para diferentes valores de tolerância (*10m*, *20m*, *40m*, *60m* e *80m*). Neste experimento o processo de remoção progressiva é aplicado;
- c) No terceiro experimento buscou-se investigar a consequência da aplicação do método da remoção progressiva de seções verticais paralelas do terreno sobre a informação útil para grades retangulares regulares que representam relevo suave e grades retangulares regulares que representam relevo acidentado, além de considerar diferentes resoluções para os dados; e

- d) Com o quarto experimento investiga-se o comportamento do método da remoção progressiva controlado por tolerância na variação da frequência de declividade em classes de declividade. São realizados testes com todas as grades retangulares regulares com as resoluções de 100m a 1000m, e também com as grades retangulares derivadas por quadrantes das grades que representam a região total. Os valores de tolerância para os testes são obtidos da estatística de declividades. A tolerância para variação na frequência das classes de declividades foi considerada como 3% para relevo suave e 5% para relevo acidentado. Observou-se a taxa de remoção de seções para as iterações do processo de remoção progressiva e os resultados gráficos em termos de representação da superfície e em termos das curvas de nível derivadas desta superfície.

#### 7.1 GRADES RETANGULARES REGULARES COM VARIAÇÃO DA TOLERÂNCIA EM DESNÍVEL

Neste experimento os dados utilizados são as grades retangulares regulares totais, isto é, aquelas grades que recobrem toda a região digitalizada. Os elementos variáveis para este conjunto de testes são a tolerância para os desníveis e a forma de calcular o valor da similaridade para cada par de seções comparadas. O cálculo da similaridade foi realizado considerando dois modos de uso da informação de desnível entre os pontos homólogos. O primeiro faz uso da expressão que considera o somatório dos desníveis menores do que a tolerância dividido pela soma de todos os desníveis úteis do par de seções (Eq. 5.3), e o segundo faz uso do número de desníveis menores do que a tolerância dividido pelo número total de desníveis úteis do par de seções (Eq. 5.2). Cada grade retangular regular é processada com valores de tolerância diferentes e decrescentes (*200m, 175m, 150m, 125m, 100m, 75m, 50m, 30m, 10m, 1m*).

O resultado do processamento da grade retangular regular de resolução *100m* é apresentado na Tabela 7.1, e os resultados dos processamentos das grades de resolução *500m* e *1000m* são apresentados nas Tabelas 7.2 e 7.3 respectivamente. Os processamentos das grades com as resoluções de *200, 150, 250* e *750m* apresentam o mesmo comportamento que os resultados apresentados nas tabelas a seguir.

TABELA 7.1 RESULTADOS DO PROCESSAMENTO DA GRADE RETANGULAR REGULAR DE RESOLUÇÃO 100M E SIMILARIDADE CALCULADA COM SOMA DE DESNÍVEIS

Colun	unz	zeros	nunz	comprim	tol	Hx	Hy	HYX	R
219	937	34159	12865	5600024.910	200	7.77479	13.11053	10.31866	2.79187
219	798	35297	11866	5600024.910	175	7.77479	13.07106	9.99824	3.07281
219	671	36563	10727	5600024.910	150	7.77479	13.01584	9.59820	3.41764
219	551	37792	9618	5600024.910	125	7.77479	12.94864	9.21083	3.73781
219	453	39254	8254	5600024.910	100	7.77479	12.84337	8.71972	4.12365
219	340	41135	6486	5600024.910	75	7.77479	12.64937	7.93950	4.70987
219	254	43150	4557	5600024.910	50	7.77479	12.22614	6.70294	5.52320
219	221	45139	2601	5600024.910	30	7.77479	11.31422	4.87614	6.43807
219	219	47261	481	5600024.910	10	7.77479	8.86782	1.43525	7.43257
219	219	47742	0	5600024.910	1	7.77479	7.77479	0.00000	7.77479

TABELA 7.2 RESULTADOS DO PROCESSAMENTO DA GRADE RETANGULAR REGULAR DE RESOLUÇÃO 500M E SIMILARIDADE CALCULADA COM SOMA DE DESNÍVEIS

Colun	unz	zeros	nunz	comprim	tol	Hx	Hy	HYX	R
48	64	1668	572	1276375.680	200	5.58496	8.23648	5.59184	2.64463
48	59	1711	534	1276375.680	175	5.58496	8.15249	5.32762	2.82487
48	52	1758	494	1276375.680	150	5.58496	8.03481	5.04114	2.99367
48	52	1840	412	1276375.680	125	5.58496	7.84617	4.57203	3.27414
48	49	1902	353	1276375.680	100	5.58496	7.62087	4.11399	3.50687
48	48	1967	289	1276375.680	75	5.58496	7.29769	3.48248	3.81522
48	48	2059	197	1276375.680	50	5.58496	6.79994	2.51736	4.28258
48	48	2158	98	1276375.680	30	5.58496	6.19212	1.27576	4.91636
48	48	2248	8	1276375.680	10	5.58496	5.63291	0.10502	5.52789
48	48	2256	0	1276375.680	1	5.58496	5.58496	0.00000	5.58496

TABELA 7.3 RESULTADOS DO PROCESSAMENTO DA GRADE RETANGULAR REGULAR DE RESOLUÇÃO 1000M E SIMILARIDADE CALCULADA COM SOMA DE DESNÍVEIS

Colun	unz	zeros	nunz	comprim	tol	Hx	Hy	HYX	R
25	26	452	147	677308.500	200	4.64386	6.17061	3.78965	2.38096
25	26	461	138	677308.500	175	4.64386	6.06470	3.56568	2.49902
25	25	479	121	677308.500	150	4.64386	5.94068	3.20272	2.73796
25	25	490	110	677308.500	125	4.64386	5.80618	2.90464	2.90154
25	25	506	94	677308.500	100	4.64386	5.64046	2.53185	3.10861
25	25	528	72	677308.500	75	4.64386	5.40802	1.96680	3.44122
25	25	556	44	677308.500	50	4.64386	5.09560	1.19099	3.90461
25	25	582	18	677308.500	30	4.64386	4.81813	0.47815	4.33998
25	25	600	0	677308.500	10	4.64386	4.64386	0.00000	4.64386
25	25	600	0	677308.500	1	4.64386	4.64386	0.00000	4.64386

Estes testes foram realizados para verificar e mostrar a aplicabilidade da Teoria Matemática da Comunicação. Segundo a TMC espera-se a ocorrência de muitas similaridades entre as seções verticais paralelas do terreno quando são usadas altas tolerâncias. Isso ocorre para os três casos mostrados nas tabelas citadas acima como pode-se observar nas colunas *unz* e *nunz*. Inicialmente os valores associados a estas colunas são altos porque a tolerância (*tol*) tem valor *200m*. À medida que o valor da

tolerância diminui ( $175, 150, \dots, 1m$ ), a ocorrência de valores de similaridade iguais a  $1$  e diferentes de  $0$ , e diferentes de  $1$ , também diminui. O número de valores de similaridade iguais a zero cresce à medida que a tolerância decresce porque para valores de tolerância cada vez mais rígidos espera-se a redução da ocorrência de similaridades. Para estes dados, quando a tolerância atinge o valor  $1,0m$  ocorrem apenas similaridades com valor  $1,0$  em número igual ao número de seções, porque as seções são obrigatoriamente similares a si próprias no grau máximo de similaridade.

O comportamento da ocorrência de similaridades tem relação direta com os valores de entropia  $H(Y)$  do conjunto avaliado pela função de similaridade, com os valores da equivocação  $H(Y|X)$  e da informação útil  $R$ . Quanto maior for o número de similaridades, maiores serão os valores de equivocação e de informação útil. Para os dados da Tab. 7.3, (resolução  $1000m$ ), os casos extremos ocorrem quando a tolerância assume os valores  $200m$  e  $1m$ . Para tolerância de  $200m$  a equivocação atinge o valor aproximado de  $H(Y|X)=3,8$ , a informação útil o valor  $R=2,4$ . Para a tolerância de  $1m$  a equivocação é igual a zero e a informação útil resulta em valor igual ao valor da entropia do conjunto de dados, isto é,  $R=4,6$ . Isso mostra que em presença de valores altos de tolerância, a ocorrência de similaridades é maior e vice-versa. Os valores de tolerância de  $1m$  e de  $10m$  produziram o mesmo efeito sobre os dados da grade, isto é, segundo estes valores de tolerância não houve um único par de seções adjacentes de toda a grade que apresentasse valor de similaridade diferente de zero.

Para os dados apresentados nas Tabelas 7.2 e 7.3, o comportamento da entropia, equivocação e informação útil é análogo ao comportamento apresentado pelos dados na Tab. 7.1. As diferenças entre estes dados está no número de seções. O número de seções verticais paralelas do terreno tem consequência sobre a magnitude dos valores de entropia, equivocação e informação útil, de modo que, um número maior de seções tem um valor de entropia  $H(X)$  maior do que um número menor de seções. A diferença na resolução das grades acarreta maior ou menor detecção de similaridades para os mesmos valores de tolerância. Para a resolução de  $100m$  ocorre a detecção de maior número de similaridade entre pares de seções verticais paralelas do que para a

resolução de  $1000m$ , utilizando o mesmo valor de tolerância. Isso pode ser observado nas primeiras duas linhas de qualquer uma das tabelas mostradas acima.

A partir de determinados valores de tolerância o cálculo da similaridade passa a resultar em similaridades nulas entre os pares de seções. Este valor de tolerância foi de  $1m$ ,  $1m$  e  $10m$  respectivamente para as grades de resolução  $100m$ ,  $500m$  e  $1000m$ .

As curvas de valores de entropia após a detecção de entropias  $H(Y)$ , equivocação  $H(Y|X)$  e informação útil  $R$  são mostrados para os testes com as resoluções  $100m$ ,  $500m$  e  $1000m$  nas figuras 7.1, 7.2 e 7.3. No eixo das abcissas estão valores de tolerância, em metros, dos processamentos que correspondem em ordem inversa aos dados apresentados na Tabela 7.1, e limitados à tolerância aproximada de  $180m$  para a Figura 7.1. No eixo das ordenadas estão os valores da entropia, equivocação e informação útil.

Na Figura 7.1 observa-se que a entropia  $H(Y)$  alcança um patamar estável a partir de um valor de tolerância alto,  $70m$ . A informação útil  $R(X)$  decresce com o aumento do valor da tolerância, e a equivocação  $H(Y|X)$  tem comportamento inverso da informação útil.

FIGURA 7.1 CURVAS DE ENTROPIA  $H(Y)$ , EQUIVOCAÇÃO  $H(Y|X)$  E INFORMAÇÃO ÚTIL  $R$  PARA GRADE DE RESOLUÇÃO  $100m$ , COM SOMA DE DESNÍVEIS

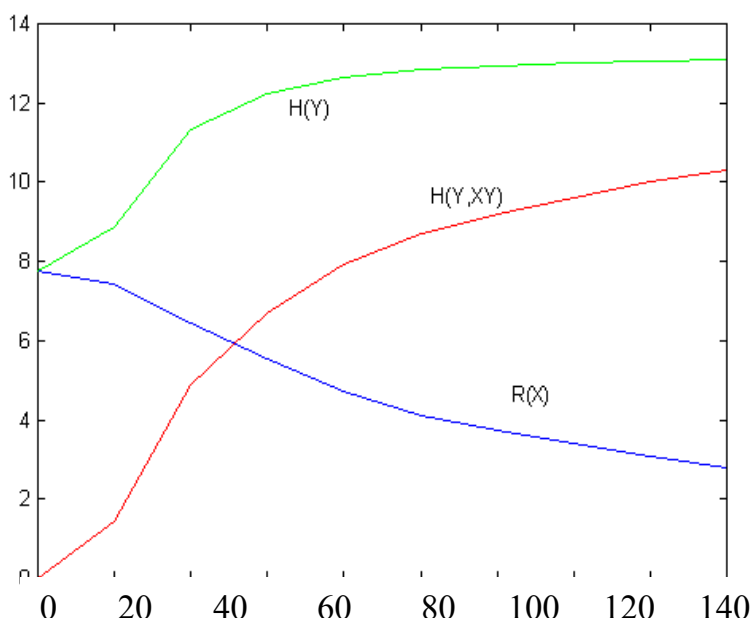


FIGURA 7.2 - CURVAS DE ENTROPIA  $H(Y)$ , EQUIVOCAÇÃO  $H(Y|X)$  E INFORMAÇÃO ÚTIL  $R$  PARA GRADE DE RESOLUÇÃO 500M, COM SOMA DE DESNÍVEIS

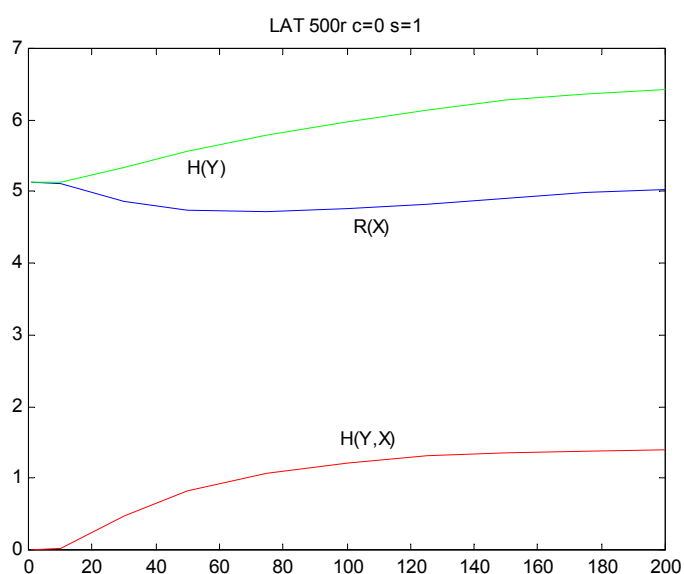
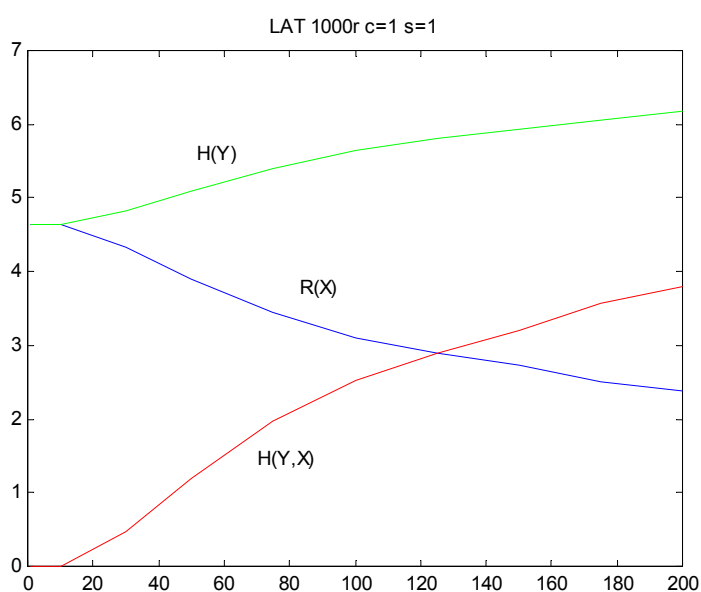


FIGURA 7.3 - CURVAS DE ENTROPIA  $H(Y)$ , EQUIVOCAÇÃO  $H(Y|X)$  E INFORMAÇÃO ÚTIL  $R$  PARA GRADE DE RESOLUÇÃO 1000M, COM SOMA DE DESNÍVEIS



Nas tabelas de números 7.4, 7.5 e 7.6 estão apresentados os resultados dos processamentos das mesmas grades (100m, 500m e 750m), porém, nestes testes a similaridade é calculada usando o critério expresso na Eq. 5.2. Segundo esta expressão, a similaridade entre cada par de seções verticais paralelas do terreno é dada

pelo número total de desníveis menores do que a tolerância dividido pelo número total de pontos homólogos úteis do par de seções.

TABELA 7.4 RESULTADOS DO PROCESSAMENTO DA GRADE RETANGULAR REGULAR DE RESOLUÇÃO 100M E SIMILARIDADE CALCULADA COM NÚMERO DE DESNÍVEIS

Colun	unz	zeros	nunz	comprim	tol	Hx	Hy	HYX	R
219	937	29669	17355	5600024.910	200	7.77479	13.20860	11.77697	1.43163
219	798	29927	17236	5600024.910	175	7.77479	13.20488	11.72768	1.47720
219	671	30360	16930	5600024.910	150	7.77479	13.19956	11.64832	1.55123
219	551	30834	16576	5600024.910	125	7.77479	13.19060	11.56315	1.62745
219	453	31336	16172	5600024.910	100	7.77479	13.17728	11.46660	1.71068
219	340	32343	15278	5600024.910	75	7.77479	13.14681	11.24414	1.90267
219	254	35028	12679	5600024.910	50	7.77479	13.07667	10.70667	2.37001
219	221	36639	11101	5600024.910	30	7.77479	12.92460	10.08744	2.83716
219	219	42028	5714	5600024.910	10	7.77479	12.22634	7.55894	4.66740
219	219	47057	685	5600024.910	1	7.77479	9.53120	2.23746	7.29373

TABELA 7.5 RESULTADOS DO PROCESSAMENTO DA GRADE RETANGULAR REGULAR DE RESOLUÇÃO 500M E SIMILARIDADE CALCULADA COM NÚMERO DE DESNÍVEIS

Colun	unz	zeros	nunz	comprim	tol	Hx	Hy	HYX	R
48	64	1428	812	1276375.680	200	5.58496	8.58291	7.19154	1.39136
48	59	1441	804	1276375.680	175	5.58496	8.56998	7.14044	1.42954
48	52	1478	774	1276375.680	150	5.58496	8.54738	7.00968	1.53770
48	52	1499	753	1276375.680	125	5.58496	8.51993	6.92598	1.59395
48	49	1525	730	1276375.680	100	5.58496	8.48323	6.81103	1.67220
48	48	1555	701	1276375.680	75	5.58496	8.42808	6.65843	1.76965
48	48	1685	571	1276375.680	50	5.58496	8.28096	6.08425	2.19671
48	48	1751	505	1276375.680	30	5.58496	8.03286	5.52272	2.51014
48	48	2010	246	1276375.680	10	5.58496	7.13874	3.21718	3.92156
48	48	2239	17	1276375.680	1	5.58496	5.74340	0.30031	5.44310

TABELA 7.6 RESULTADOS DO PROCESSAMENTO DA GRADE RETANGULAR REGULAR DE RESOLUÇÃO 1000M E SIMILARIDADE CALCULADA COM NÚMERO DE DESNÍVEIS

Colun	unz	zeros	nunz	comprim	tol	Hx	Hy	HYX	R
25	26	389	210	677308.500	200	4.64386	6.60025	5.22840	1.37184
25	26	390	209	677308.500	175	4.64386	6.58468	5.20475	1.37993
25	25	404	196	677308.500	150	4.64386	6.55083	5.02753	1.52330
25	25	407	193	677308.500	125	4.64386	6.52300	4.96459	1.55840
25	25	411	189	677308.500	100	4.64386	6.48357	4.87611	1.60746
25	25	422	178	677308.500	75	4.64386	6.41562	4.67131	1.74431
25	25	462	138	677308.500	50	4.64386	6.23674	4.04428	2.19246
25	25	474	126	677308.500	30	4.64386	6.03477	3.60850	2.42627
25	25	537	63	677308.500	10	4.64386	5.40692	1.93299	3.47393
25	25	597	3	677308.500	1	4.64386	4.68143	0.09614	4.58529

Este modo de realizar o cálculo da similaridade é mais brando do que o critério que utiliza o somatório dos desníveis que são menores do que o valor da tolerância dividido pelo somatório de todos os desníveis. Para o caso da grade de resolução

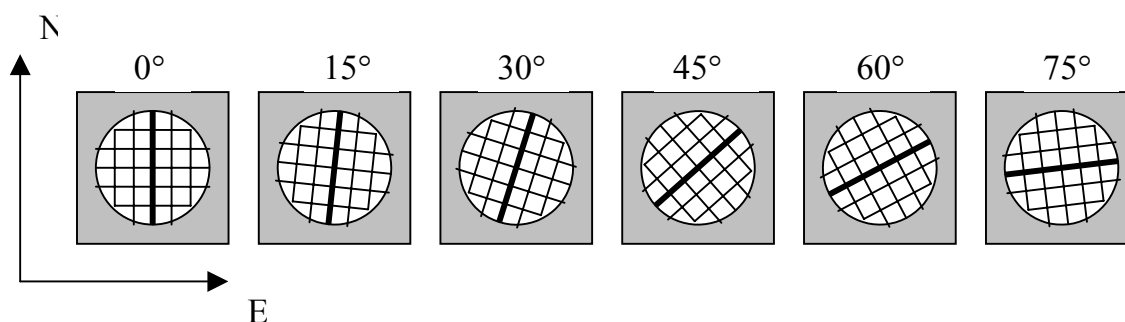
100m, mesmo com o valor de tolerância extremamente baixo de 1m, ainda são detectadas similaridades e o valor de equivocação  $H(Y|X)$  é significativo (Tab. 7.4). Este cálculo da similaridade é pouco sensível à variação da tolerância visto que o número de similaridades com valor entre zero e 1,0 é alto e parecido nos testes em que a tolerância varia entre 200m e 50m, para os três testes mostrados (Tab. 7.4, 7.5 e 7.6).

Os valores de equivocação são altos para a maioria das resoluções o que implica em baixos valores para a informação útil. A informação útil só sofre aumento significativo quando a tolerância tem valor 1m, e mesmo assim não atinge o valor da entropia  $H(X)$  inicial como ocorre com os testes em que o modo de cálculo da similaridade usa a soma dos desníveis. Este cálculo não se mostrou eficiente na avaliação da similaridade de seções verticais paralelas do terreno pela avaliação dos desníveis entre os pontos homólogos destas seções.

## 7.2 EXPERIMENTOS COM VARIAÇÃO NA ORIENTAÇÃO DAS SEÇÕES VERTICAIS

Neste experimento são processados os dados organizados em seções que são oblíquas aos eixos coordenados, isto é, formam ângulos com as direções dos eixos coordenados. Este dados são compostos pelas grades com orientação  $\theta = \{15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ\}$ , (Fig. 7.4). Os dados tridimensionais das grades geradas pela aplicação de um ângulo de rotação foram recortados de modo a obter uma região com limite aproximadamente circular para contornar o problema acarretado pela diferença em comprimento das seções resultantes da rotação. Assim, o somatório dos comprimentos das seções é aproximadamente o mesmo e permite realizar comparações entre grades com diferentes orientações, independentemente do valor da rotação aplicada à grade. O recorte das regiões de limite circular foi realizado a partir da determinação de um centro geométrico da região formada pela aplicação da rotação e a utilização do valor de 10.000m para o raio. Também foi produzida uma grade com contorno circular para os dados com rotação  $0^\circ$ , para ser usada como referência para as grades afetadas de rotação.

FIGURA 7.4 GRADES RETANGULARES REGULARES AFETADAS DE ROTAÇÃO DE 15°, 30°, 45°, 60° E 75° E COM CONTORNO CIRCULAR



O cálculo das similaridades para os testes com as regiões circulares foi feito apenas com a soma dos desníveis. O método da remoção progressiva das seções similares foi aplicado nos testes com as grades retangulares circulares afetadas de rotação. As similaridades são calculadas para as seções normais e para as seções transversas. São denominadas normais aquelas seções formadas pelos pontos que têm coluna constante nas matrizes de dados, e são denominadas transversas as seções formadas pelos pontos que têm linha constante nas mesmas matrizes. Inicialmente, aplica-se o método da remoção progressiva às seções normais o que resulta num conjunto de números que correspondem às seções que permanecem. Quando não houver mais seções a remover, isto é, após a estabilização do número de seções normais removidas, o método da remoção progressiva é aplicado às seções transversas. Do mesmo modo que ocorreu para as seções normais, quando ocorrer a estabilização do número de seções transversas que permanecem o processamento termina.

A aplicação das rotações a uma grade retangular regular produz 6 grades retangulares regulares circulares derivadas. Como são utilizadas 7 resoluções obtém-se 42 grades retangulares regulares circulares derivadas. Cada uma destas grades é processada iterativamente usando o método da remoção progressiva com variação apenas da tolerância para o desnível. Os valores de tolerância para os desníveis são de *10m*, *20m*, *40m*, *60m* e *80m*.

Os experimentos com os dados organizados em grades afetadas de rotação e com limite circular foram realizados para investigar a relação da orientação da grade com a informação útil. A interferência da variação da orientação das seções verticais

paralelas do terreno será analisada a partir da velocidade com que o critério de similaridade detecta pares de seções similares.

Na Tabela 7.7 estão organizados os números de seções removidas na primeira iteração dos processamentos de todas as grades retangulares regulares circulares, para tolerância 10m, considerando apenas as seções normais. Para as grades com resoluções menores verifica-se uma redução na remoção das seções. Nesta tabela estão realçados os números de seções removidas para as orientações de  $30^\circ$  e  $45^\circ$ , de todos os testes, porque foi neste intervalo que ocorreram as maiores similaridades e portanto foram removidas mais seções. Nestes testes observa-se que ocorre maior remoção de seções verticais paralelas quando o ângulo de rotação se aproxima do intervalo  $30^\circ$  a  $45^\circ$ .

TABELA 7.7 NÚMERO DE SEÇÕES VERTICAIS NORMAIS REMOVIDAS PARA TODAS AS GRADES COM ROTAÇÃO PARA TOLERÂNCIA 10M

Res \ Rot	0°	15°	30°	45°	60°	75°
100m	17	31	<b>38</b>	<b>40</b>	38	22
150m	3	13	<b>19</b>	<b>23</b>	15	5
200m	2	5	<b>10</b>	<b>13</b>	7	2
250m	1	3	<b>7</b>	<b>10</b>	6	2
500m	0	1	<b>2</b>	<b>1</b>	1	0
750m	0	0	<b>1</b>	0	0	0
1000m	0	0	<b>1</b>	0	0	0

Quando o valor de tolerância de  $20m$  é aplicado a todas as grades retangulares regulares com contorno circular ainda é possível detectar a influência da orientação da grade (Tab. 7.8). Exceto para a grade retangular regular circular com resolução de  $100m$ , que apresenta altos valores de remoção, para aquelas grades orientadas segundo os ângulos de  $30^\circ$  e  $45^\circ$  a remoção de seções é maior que para as outras seções o que reforça o que foi dito para os processamentos em que o valor da tolerância foi de  $10m$ .

Quando o valor da tolerância aumenta para  $60m$  o comportamento da similaridade determinada para todas as grades retangulares regulares circulares passa a ser o mesmo (Tab. 7.9). Para todos estes testes foram detectadas similaridades para a maior parte dos pares de seções avaliadas. Para as grades com maior resolução, o número de seções removidas varia pouco com a variação da orientação das grades e

não as diferencia. No entanto, para resoluções menores é possível perceber algum relacionamento da orientação da grade com a ocorrência de similaridade e com a remoção de seções verticais do terreno, é o caso das grades com resolução de *500m* e *1000m*. Este comportamento se verifica quando os valores de tolerância aumentam pois um aumento no valor da tolerância implica em aumento na ocorrência de similaridades.

TABELA 7.8 - NÚMERO DE SEÇÕES VERTICAIS NORMAIS REMOVIDAS PARA TODAS AS GRADES COM ROTAÇÃO PARA TOLERÂNCIA 20M

Res ↓ Rot →	0°	15°	30°	45°	60°	75°
100m	68	61	<b>61</b>	<b>69</b>	66	82
150m	24	27	<b>28</b>	<b>34</b>	28	29
200m	10	15	<b>17</b>	<b>23</b>	18	18
250m	10	13	<b>16</b>	<b>17</b>	16	11
500m	1	4	<b>5</b>	<b>6</b>	6	3
750m	0	1	<b>2</b>	<b>4</b>	3	1
1000m	0	0	<b>2</b>	<b>2</b>	1	0

TABELA 7.9 - NÚMERO DE SEÇÕES VERTICAIS NORMAIS REMOVIDAS PARA TODAS AS GRADES COM ROTAÇÃO PARA TOLERÂNCIA 60M

Res \ Rot	0°	15°	30°	45°	60°	75°
100m	91	93	91	93	93	93
150m	58	61	57	61	59	57
200m	43	43	40	42	43	44
250m	36	38	34	34	36	34
500m	13	12	11	13	11	12
750m	4	5	6	8	6	7
1000m	2	4	5	4	4	3

Uma análise dos dados apresentados nas tabelas 7.7 a 7.9 mostra que a ocorrência de similaridades é mais alta para a primeira iteração dos processamentos em que os valores de tolerância são de *10m* e *20m* para as grades retangulares regulares circulares com orientação entre  $30^\circ$  e  $45^\circ$ . Para resoluções maiores e para maiores valores de tolerância, o critério de detecção ou avaliação de similaridades não permite associar a remoção de seções à orientação destas seções. No entanto, para as menores resoluções, como *750m* e *1000m*, ainda pode-se perceber que ocorre mais remoção de seções para as orientações em torno de  $30^\circ$  e  $45^\circ$ .

Maior remoção de seções para as orientações próximas do intervalo de rotações entre  $30^\circ$  e  $45^\circ$  significa presença de maior número de seções similares, embora a superfície representada seja a mesma. Pode-se concluir que devem existir orientações para as quais sejam detectadas mais similaridades, o que significa que neste caso há excesso de dados usados na representação da superfície.

### 7.3 EXPERIMENTOS COM REMOÇÃO PROGRESSIVA

Para a realização destes testes foram utilizados os dados das regiões totais com as resoluções de  $100m$ ,  $150m$ ,  $200m$ ,  $250m$ ,  $500m$ ,  $750m$  e  $1000m$ , e os dados das sub-regiões ou quadrantes  $NE$ ,  $NO$ ,  $SE$  e  $SO$ . As tolerâncias utilizadas tiveram os valores  $10m$ ,  $20m$ ,  $40m$ ,  $60m$  e  $80m$ . Para estes testes, o valor da similaridade é calculado com base na soma dos desníveis menores do que a tolerância (Eq. 5.3). Os testes com os dados referentes às grades retangulares totais são apresentados e avaliados separadamente. Inicialmente são apresentados e analisados os testes com as grades totais, isto é, aquelas grades que representam toda a região.

#### 7.3.1 Experimentos com Grades Retangulares Regulares Totais

Nestes processamentos, o processo de remoção progressiva é aplicado aos dados correspondentes à toda a região, isto é, compreendem os dados da parte plana a Noroeste e a Sudeste, e da parte bastante acidentada na direção Sudoeste-Nordeste. Para estes testes são avaliados os números de seções verticais paralelas do terreno que são removidas, o número de iterações até haver convergência, e o comportamento dos valores de equivocação  $H(Y|X)$  e informação útil  $R$  para cada valor de tolerância utilizado. Estes valores foram extraídos das respostas produzidas pelos programas de cálculo da TMC.

O número de seções removidas durante o processo de cálculo da TMC para cada valor de tolerância aumenta com o aumento da tolerância. Para as grades retangulares de resolução menor, apenas os valores de tolerância maiores acarretam remoção de seções. A partir da resolução de  $500m$  não são removidas seções para as tolerâncias de  $10m$  e  $20m$ , com exceção do número de colunas removidas para a grade de resolução de  $500m$  (Tab. 7.10). Este comportamento da remoção de seções verticais

paralelas do terreno é esperado quando aplicado a grades retangulares regulares que tem diferentes resoluções porém representam a mesma região de terreno, a menos que a região representada fosse muito próxima de um plano. O valor de tolerância que proporciona a maior remoção de seções é  $80m$ . Para este valor de tolerância observa-se que todas as grades ficam reduzidas a um número de linhas e colunas baixo e aproximadamente igual (Tab. 7.11). Para as grades retangulares regulares cujo número original de linhas e colunas é alto, isso pode significar uma simplificação excessiva da forma da superfície.

TABELA 7.10 - NÚMERO DE SEÇÕES REMOVIDAS (LINHAS E COLUNAS ) PARA OS TESTES E COM TODAS AS REGIÕES TOTAIS COM VARIAÇÃO DA TOLERÂNCIA

Tol \ Res	100m		150m		200m		250m		500m		750m		1000m	
10m	8	24	0	6	0	4	0	3	0	0	0	0	0	0
20m	33	104	50	46	19	25	8	14	0	2	0	0	0	0
30m	186	158	106	83	68	48	46	32	8	7	1	2	0	1
40m	208	174	125	103	89	66	65	51	20	12	8	6	1	3
60m	222	198	144	123	106	87	82	72	35	25	20	12	8	7
80m	231	202	152	130	111	87	89	79	42	34	28	19	16	13

TABELA 7.11 - NÚMERO DE FINAL DE LINHAS E COLUNAS PARA O TESTE COM TODAS AS REGIÕES TOTAIS COM VARIAÇÃO DA TOLERÂNCIA

Tol \ Res	100m	150m	200m	250m	500m	750m	1000m
0m	243x219	163x147	124x111	101x93	53x48	38x35	27x25
10m	235x195	163x141	24x107	101x90	53x48	38x35	27x25
20m	110x115	113x101	105x86	93x79	53x46	38x35	27x25
30m	57x61	57x64	56x63	55x61	45x41	37x33	27x24
40m	35x45	38x44	35x45	36x42	33x36	30x29	26x22
60m	19x22	19x24	18x24	19x21	18x23	18x23	19x18
80m	12x17	11x17	13x14	12x14	11x14	10x16	11x12

O número de iterações para os testes com as grades totais e com tolerância crescente (Tab. 7.12) mostra que para maiores resoluções ocorre maior número de iterações. Isso porque nas grades retangulares regulares com resoluções maiores, há um número maior, de seções mais próximas e mais propensas a ser similares. Para o caso de baixos valores de tolerância, são detectadas poucas similaridades e o número de seções remanescentes se estabiliza rapidamente. Já para o caso de altas tolerâncias maior número de seções são consideradas similares entre si com maior afastamento

entre elas, do que para baixas tolerâncias. Este fato conduz a um maior número de iterações e a uma redução no número de seções remanescentes. Os valores de interação iguais a 2 indicam que para a primeira iteração são removidas todas as seções similares possíveis de ser encontradas com aquele valor de tolerância e a segunda iteração não detecta similaridades entre os pares de seções remanescentes.

TABELA 7.12 - NÚMERO DE ITERAÇÕES PARA OS TESTE COM TODAS AS REGIÕES TOTAIS COM VARIAÇÃO DE TOLERÂNCIAS

Tol \ Res	100m		150m		200m		250m		500m		750m		1000m	
10m	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
20m	3	5	3	4	3	4	2	3	2	2	2	2	2	2
30m	5	4	4	5	4	5	4	4	3	4	2	3	2	2
40m	6	6	4	5	5	5	4	5	4	4	4	5	2	3
60m	7	7	6	7	7	6	7	7	6	5	6	5	3	4
80m	8	9	8	6	7	9	7	8	7	6	5	5	6	5

O comportamento da equivocação  $H(Y|X)$ , pelos valores inicial e final resultante da última iteração para as seções verticais do terreno paralelas ao eixo Y, é mostrado na Tabela. 7.13. Para baixos valores de tolerância ocorrem baixos valores de equivocação. A equivocação mostra a existência de maior ou menor número de similaridades entre todos os pares de seções verticais paralelas do terreno. A definição de um valor baixo de tolerância implica em maior restrição à ocorrência de similaridades. Quando a tolerância assume o valor  $10m$ , os valores de equivocação para a primeira e para a última iterações são próximos, pois quando há pouca similaridade há pouca equivocação. Para os testes com as grades de resolução  $750m$  e  $1000m$ , segundo a tolerância de  $10m$  nenhuma similaridade resultou diferente de zero, o que equivale a equivocação igual a zero. Quando a tolerância assume o valor  $80m$ , a equivocação resulta em valores altos no início do processo iterativo de remoção progressiva. Ao longo do processo a equivocação vai sendo reduzida pela remoção de seções que são similares e com isso a possibilidade de haver pares de seções similares diminui, visto que a distância entre as seções aumenta. Há mais possibilidade de um par de seções mais próximas ser mais similar, do que tem um par de seções mais distantes. Quanto maior o valor da tolerância mais comparações entre pares de seções verticais paralelas do terreno são realizadas, mais seções similares são detectadas e

maior é a diferença entre o valor de equivocação para a primeira e para a última iteração.

TABELA 7.13 - EQUIVOCAÇÃO  $H(Y|X)$  PARA AS SEÇÕES NORMAIS DE TODAS AS GRADES TOTAIS E COM VARIAÇÃO DA TOLERÂNCIA

Tol \ Res	100m		150m		200m		250m		500m		750m		1000m	
10m	0,86	0,54	0,42	0,29	0,19	0,11	0,18	0,12	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
20m	2,58	1,02	1,76	0,82	1,15	0,52	0,91	0,47	0,26	0,13	0,11	0,11	0,07	0,07
30m	3,88	0,93	2,87	0,97	2,20	0,93	1,93	0,84	0,79	0,46	0,44	0,31	0,25	0,18
40m	4,92	0,97	3,84	0,95	3,14	0,97	2,77	0,95	1,20	0,62	0,76	0,43	0,59	0,36
60m	6,35	0,94	5,20	0,99	4,41	0,89	4,01	0,96	2,23	0,82	1,50	0,63	1,00	0,48
80m	7,30	1,07	6,10	0,95	5,29	0,98	4,78	0,97	3,05	0,96	2,12	0,84	1,53	0,68

A informação útil  $R$  tem comportamento inverso ao comportamento da equivocação, isto é, quando a equivocação é alta a informação útil é baixa. Para tolerâncias baixas ocorre alta informação útil (Tab.7.14). Quando a equivocação é igual a zero, como no caso dos testes com tolerância  $10m$  nas resoluções  $750m$  e  $1000m$ , a informação útil é máxima, e quanto maior for a equivocação menor será a informação útil. Para os testes em que a informação útil varia pouco entre o seu valor inicial e o seu valor final ocorrem poucas iterações e são detectadas poucas similaridades.

TABELA 7.14 - INFORMAÇÃO ÚTIL  $R$  PARA OS TESTES COM AS COLUNAS DE TODAS AS GRADES RETANGULARES TOTAIS E COM VARIAÇÃO DA TOLERÂNCIA

Tol \ Res	100m		150m		200m		250m		500m		750m		1000m	
10m	7,68	7,53	7,10	7,07	6,74	6,91	6,47	6,45	5,58	5,58	5,13	5,13	4,64	4,64
20m	7,48	6,65	6,82	6,42	6,47	6,26	6,26	6,14	5,47	5,46	5,08	5,08	4,60	4,60
30m	7,18	5,59	6,58	5,67	6,19	5,64	5,93	5,60	5,23	5,14	4,90	4,88	4,50	4,48
40m	6,77	5,10	6,25	5,05	5,87	5,10	5,63	4,97	5,06	4,86	4,74	4,62	4,30	4,24
60m	5,97	3,93	5,65	4,06	5,37	4,10	5,16	3,84	4,61	4,07	4,39	4,16	4,09	3,88
80m	5,32	3,36	5,12	3,50	4,94	3,18	4,80	3,17	4,22	3,18	4,10	3,47	3,80	3,10

Os valores de informação útil decrescem para os testes de qualquer resolução com o aumento do valor da tolerância. Isso acontece porque com o aumento do valor da tolerância, o número de similaridades detectadas também aumenta, o que resulta em prejuízo da informação útil. Para os testes em que a informação útil assume valores baixos, ao final do processo iterativo ocorre uma redução do número de linhas e

colunas de tal ordem que descaracteriza a superfície e torna-a mais suave e representada por regiões planas.

A análise do comportamento do critério de similaridade, e do procedimento determinante da permanência ou remoção de alguma seção, não pode ser feito apenas usando a informação útil. Para que seja possível explicar este comportamento é necessário que se combine o número de seções removidas, ou o número de seções remanescentes, com valores de equivocação e informação útil.

Pela observação dos valores de informação útil  $R$  da Tab. 7.14, pode-se dizer que a aplicação do valor de tolerância de  $30m$  para a grade de resolução  $100m$  conduz à grade retangular irregular que tem resolução  $500m$ . O valor de tolerância  $30m$  revela valores de similaridade entre pares de seções verticais paralelas do terreno que, quando removidas, resultam em valor de informação útil igual àquela produzida para a grade de resolução  $500m$  avaliada com tolerância  $10m$ . Pode-se dizer que a aplicação do processo de remoção progressiva proporcionou a remoção das seções presentes na resolução  $100m$  que são excessivas para uma representação a uma resolução de  $500m$ . Essa redução de seções ocorre mediante a avaliação da similaridade entre as seções e não pela remoção de seções pares ou ímpares (Fig. 7.5, 7.6 e 7.7).

Nestas figuras pode-se observar a falta de padrão das linhas e colunas suprimidas. O comportamento das seções suprimidas é característico de cada região, isto é, a remoção das seções verticais paralelas depende do relevo da região. As partes da grade em que há mais linhas ocorreram mais dissimilaridades, e nas partes onde há menos linhas ocorreram mais similaridades. Normalmente as partes mais similares são mais planas e as partes mais dissimilares são mais acidentadas, visto que a função de similaridade está baseada em desnível entre pontos homólogos.

As grades das Figura 7.5, Figura 7.6 e Figura 7.7 foram representadas com o mesmo tamanho para que seja possível comparar suas diferenças em resolução, e para que seja possível perceber que o padrão de remoção de seções verticais paralelas do terreno é semelhante porque a superfície representada é a mesma. O número de linhas e de colunas usadas nas representações decresce com a redução da resolução. Para a primeira grade com resolução  $200m$ , o número de linhas e colunas inicial é de

124x111, e ao final do processo de remoção permaneceram 56 linhas e 63 colunas. Houve a remoção de 68 linhas (55%) e 48 colunas (43%). O número de linhas e colunas removidas para a grade regular retangular com resolução de  $500m$  é menor proporcionalmente à resolução do que para a grade com resolução  $200m$ . Para este teste foram removidas 8 linhas (15%) e 7 colunas (14%). O menor número de seções verticais paralelas do terreno para uma mesma região implica em maior afastamento entre estas seções e tende a torná-las mais dissimilares.

FIGURA 7.5 – MALHA DE LINHAS E COLUNAS QUE PERMANECEM APÓS A APLICAÇÃO DO PROCESSO DE REMOÇÃO PROGRESSIVA A UMA MALHA DE RESOLUÇÃO  $200M$  E TOLERÂNCIA  $30M$

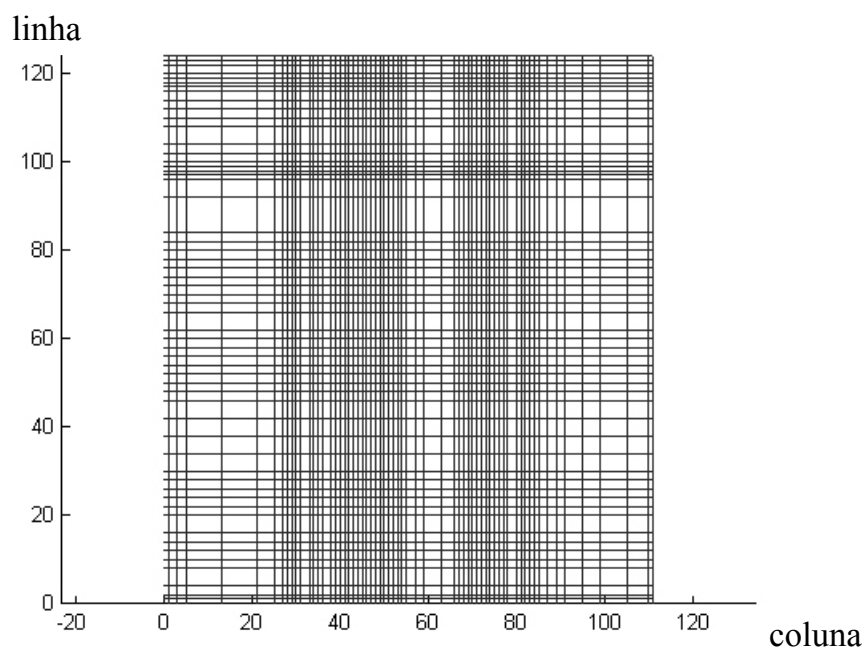


FIGURA 7.6 – MALHA DE LINHAS E COLUNAS QUE PERMANECEM APÓS A APLICAÇÃO DO PROCESSO DE REMOÇÃO PROGRESSIVA A UMA MALHA DE RESOLUÇÃO 250M E TOLERÂNCIA 10M

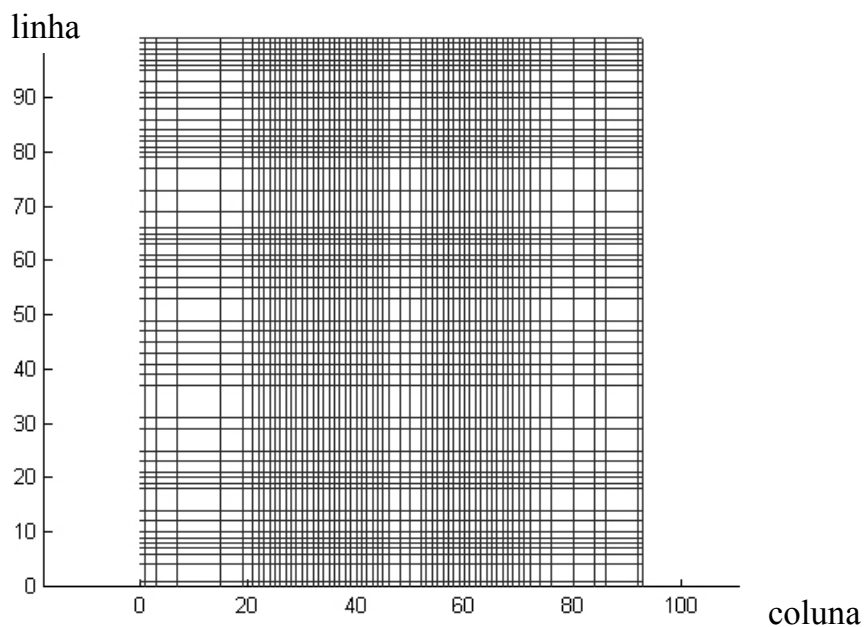
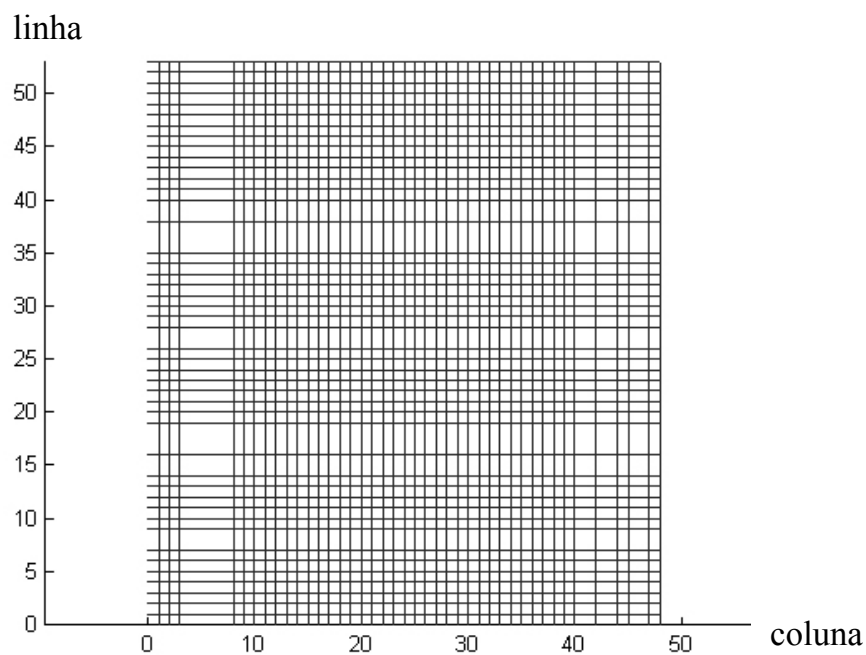


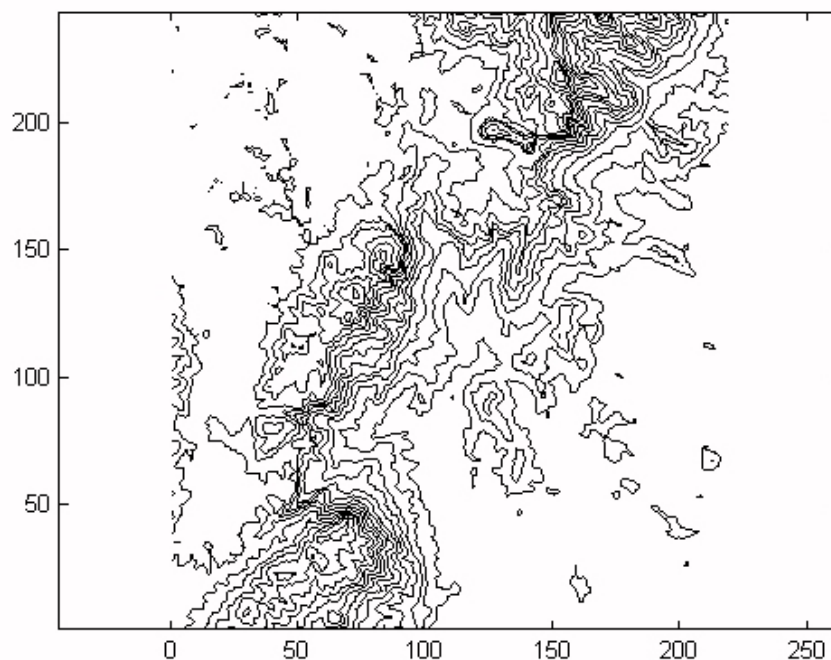
FIGURA 7.7 – MALHA DE LINHAS E COLUNAS QUE PERMANECEM APÓS A APLICAÇÃO DO PROCESSO DE REMOÇÃO PROGRESSIVA A UMA MALHA DE RESOLUÇÃO 500M E TOLERÂNCIA 30M



A aplicação do método de remoção progressiva de seções verticais paralelas do terreno pode manter o caráter da superfície ou pode descaracterizá-la. Para valores de

tolerância muito altos deve ocorrer a remoção de maior número de seções e, como conseqüência, a superfície sofre maior suavização e eventualmente pode sofrer descaracterização pela supressão de divisores d'água ou pela geração de planos horizontais ou inclinados irreais. Para valores de tolerância menores a remoção de seções verticais paralelas do terreno é menor e tende a manter o caráter original da superfície. O caso extremo de manutenção do caráter da superfície ocorre quando a tolerância é zero e como conseqüência, a superfície não sofre redução de seções.

FIGURA 7.8 - CURVAS DE NÍVEL DERIVADAS DA GRADE RETANGULAR REGULAR COM RESOLUÇÃO DE 100M



Nas Figuras 7.8 e 7.9 estão apresentadas as curvas de nível derivadas da grade retangular regular de resolução  $100m$  com intervalo vertical de  $100m$  e  $200m$  respectivamente. A derivação das curvas de nível foi realizada com a função *contour* disponível e programável no ambiente Matlab. Estas duas figuras apresentam as configurações de curvas de nível que são usadas como referência para a discussão acerca da derivação das curvas a partir das grades retangulares irregulares produzidas pela aplicação do processo de remoção progressiva. Nestas duas figuras é possível perceber que a região representada pode ser caracterizada como composta por duas

partes de relevo suave e uma região alongada na direção *SO-NE* que apresenta maior variação em altitude.

FIGURA 7.9 - CURVAS DE NÍVEL DERIVADAS DA GRADE RETANGULAR REGULAR DE RESOLUÇÃO 100M COM INTERVALO DE 200M

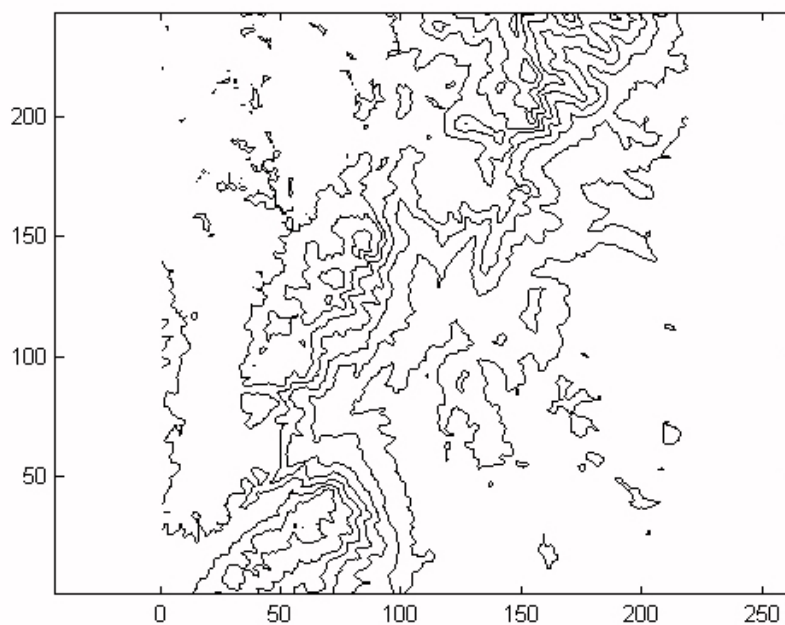


FIGURA 7.10 - CURVAS DE NÍVEL DERIVADAS DA GRADE RETANGULAR DE RESOLUÇÃO 200M COM INTERVALO DE 100M E TOLERÂNCIA 30M

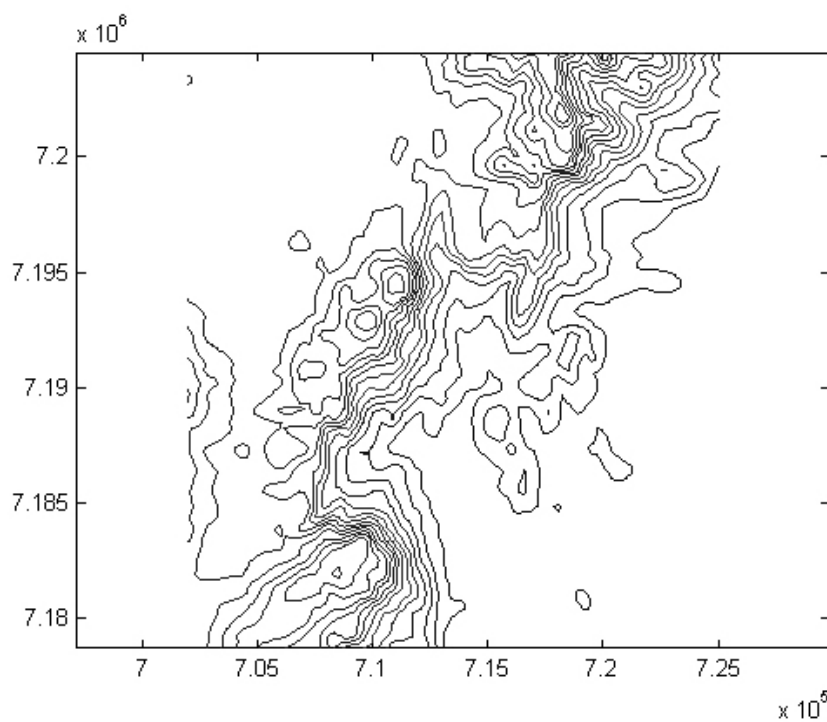
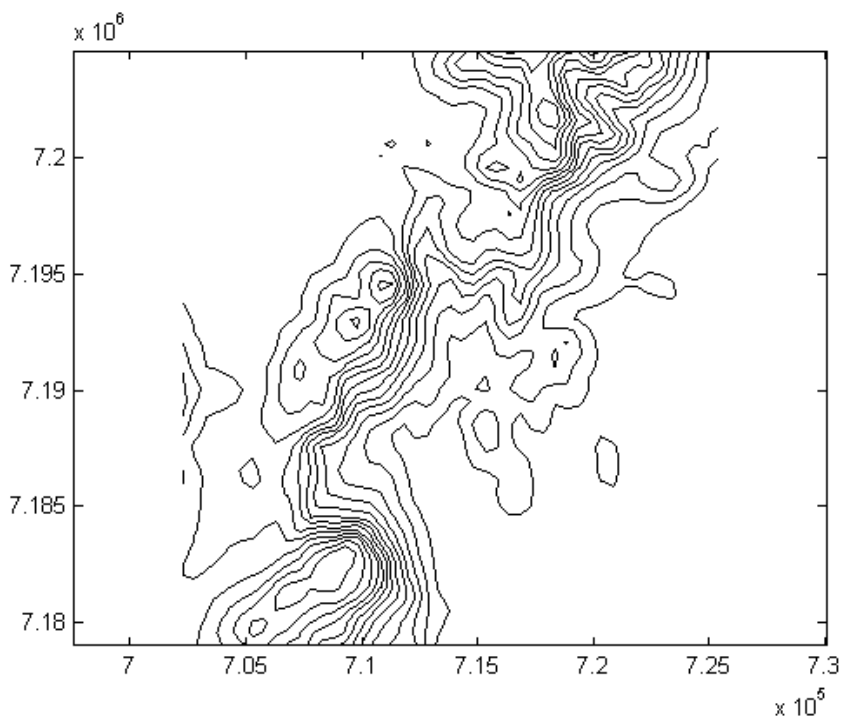


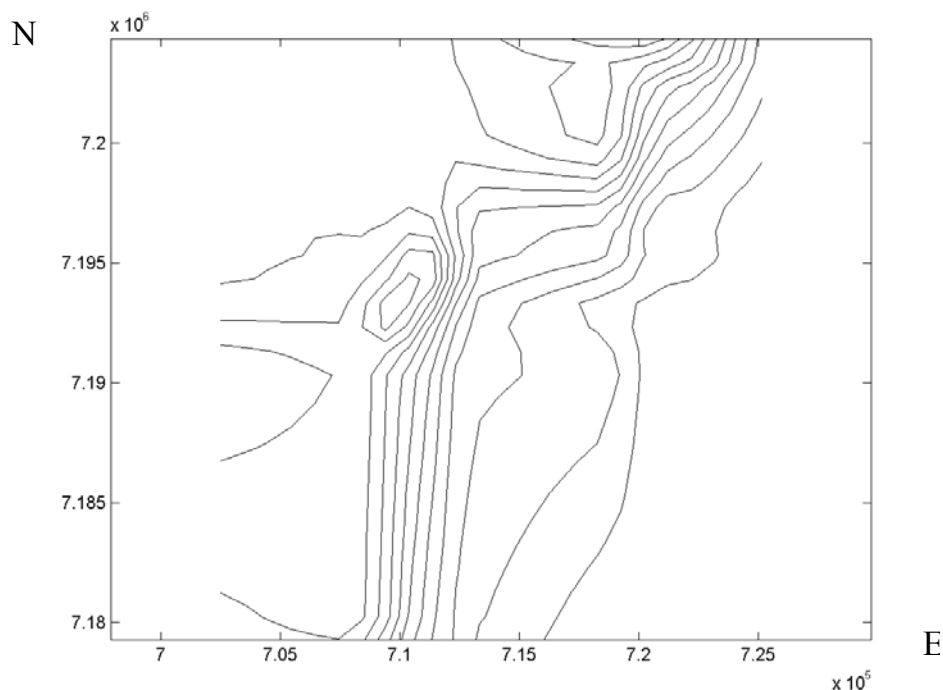
FIGURA 7.11 - CURVAS DE NÍVEL DERIVADAS DA GRADE RETANGULAR DE RESOLUÇÃO 500M COM INTERVALO DE 100M E TOLERÂNCIA 30M



A comparação visual das curvas apresentadas nas figuras 7.10 e 7.11 permite dizer que as curvas derivadas das grades retangulares irregulares mantêm o caráter da superfície, ou seja, nestas representações há semelhança com as curvas derivadas da grade retangular regular de resolução 100m. As duas regiões planas a NO e a SO continuam a existir, porém sofreram suavização e na região mais acidentada continua possível distinguir as três elevações mais proeminentes, como na representação derivada dos dados na resolução 100m. De modo geral, a superfície foi suavizada e suas curvas de nível também são mais suaves e menos detalhadas.

A derivação de curvas de nível a partir dos dados da grade de resolução 1000m e com tolerância 80m produz uma representação deteriorada porque, com o critério de tolerância 80m, ocorrem mais seções similares do que com um valor de tolerância 20m ou 10m (Fig. 7.12). Nesta figura não se pode identificar as três elevações mais proeminentes.

FIGURA 7.12 - CURVAS DE NÍVEL DERIVADAS DA GRADE RETANGULAR DE RESOLUÇÃO  $1000M$  COM INTERVALO DE  $100M$  E TOLERÂNCIA  $80M$



A representação da superfície permite avaliar os resultados da remoção das seções verticais paralelas do terreno (Fig. 7.13 a 7.21). Nas Figuras 7.13 a 7.15 são mostradas as representações das grades retangulares regulares originais nas resoluções  $250m$ ,  $500m$  e  $1000m$  para que se possa avaliar a diferença em resolução. As grades retangulares regulares com resolução maior do que  $250m$  não foram apresentadas porque são muito densas e resultam em imagens mais escuras que impossibilitam a sua visualização. Pode-se observar nestas três grades que quanto maior for a resolução maior será o detalhamento da representação da superfície. Menor detalhamento na representação de uma superfície implica em maior suavidade, isto é, dentre duas grades retangulares regulares que representam a mesma região, a grade de menor resolução será mais suave porque tem menor sensibilidade a variações do terreno.

Todas as grades retangulares representadas nas figuras 7.16 a 7.21 são regulares, embora após a aplicação do processo de remoção progressiva sejam produzidas grades retangulares irregulares. A utilização de funções de visualização de superfícies representadas no modo de grade, no ambiente MatLab, requer uma distribuição regular de pontos. A geração de uma grade retangular irregular reduz o número de pontos e

resulta inapropriada para utilização das funções de visualização da MatLab. Para poder visualizar a grade retangular resultante do processo de remoção progressiva é necessário transformar a grade retangular irregular em uma grade regular. A produção de uma grade retangular regular ocorre pela interpolação linear dos pontos de uma grade retangular regular formada pelas posições dos pontos médios da grade original. No início do processamento da grade retangular regular é realizada a interpolação linear de uma grade retangular média e ao final a mesma grade horizontal média é interpolada a partir dos dados da grade afetada de remoção progressiva.

FIGURA 7.13 – SUPERFÍCIE COM RESOLUÇÃO 250M ORIGINAL

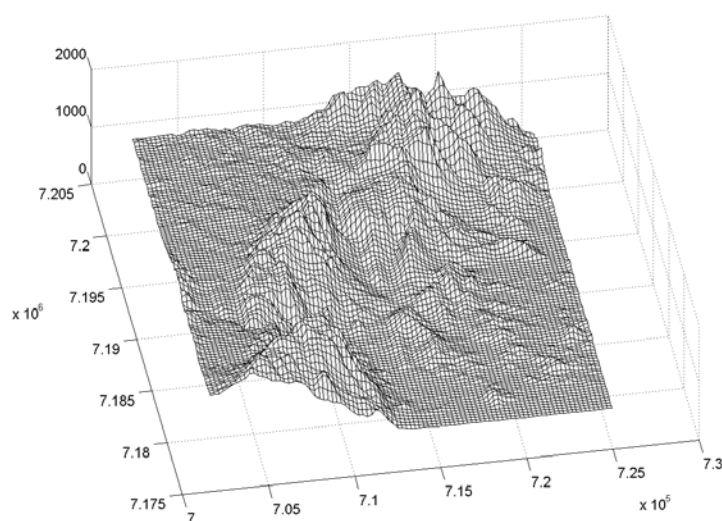


FIGURA 7.14 – SUPERFÍCIE COM RESOLUÇÃO 500M ORIGINAL

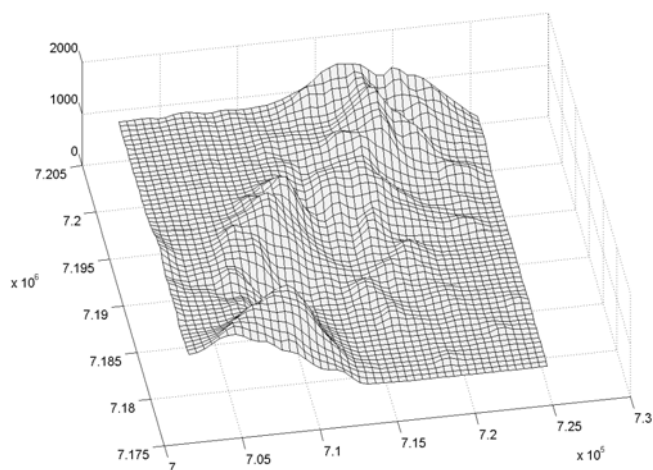
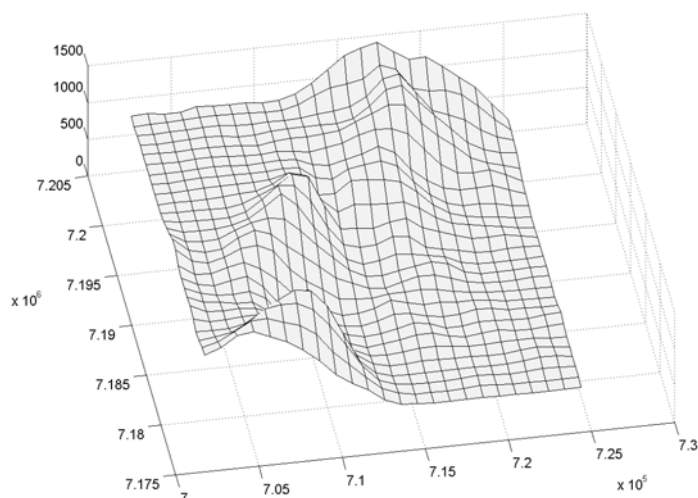


FIGURA 7.15 – SUPERFÍCIE COM RESOLUÇÃO 1000M ORIGINAL



As representações gráficas da superfície apresentadas nas figuras 7.16 a 7.19 preservam as principais características da superfície. Apesar de haver redução de seções normais e transversas, o caráter da superfície foi preservado, e não se detectam planos horizontais ou inclinados artificiais nestas representações. Para a resolução de 30m aplicada à grade de resolução de 1000m, houve a remoção de uma seção normal e portanto a Figura 7.19 é igual à Figura 7.15. Para a representação da superfície com resolução de 250m com tolerância de 30m (Fig. 7.16), a remoção de seções normais (colunas da matriz) foi de 45% e de seções transversas (linhas da matriz) foi de 35% . Para a grade retangular regular de resolução 500m (Fig. 7.17), a remoção de seções normais foi de 15% e de seções transversas também foi de 15%. A redução na porcentagem de seções removidas ocorre porque a resolução de 500m representa a metade da resolução de 250m e com isso as seções verticais paralelas do terreno são mais afastadas, e é provável que sejam menos similares. A influência do afastamento das seções sobre a detecção de similaridades fica mais evidente para a grade retangular regular de resolução 1000m (Fig. 7.19), em que apenas um par de seções foi considerado similar.

FIGURA 7.16 – SUPERFÍCIE COM RESOLUÇÃO 250M E TOLERÂNCIA 30M

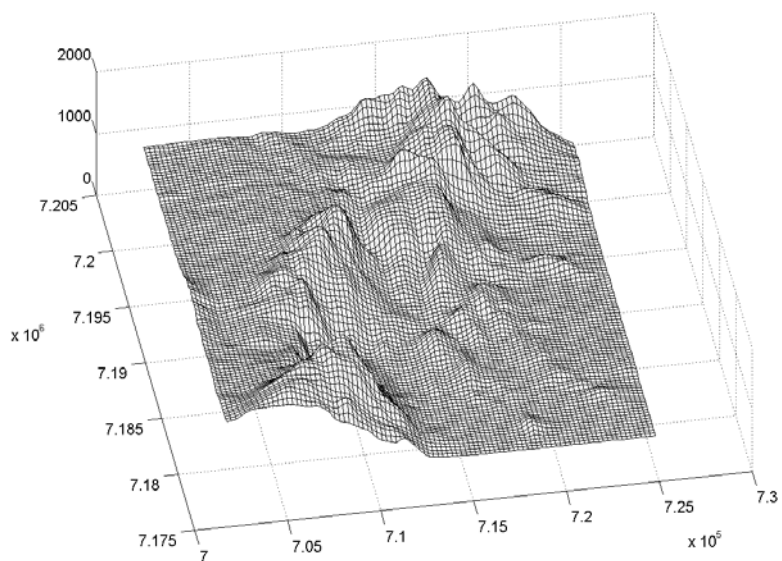
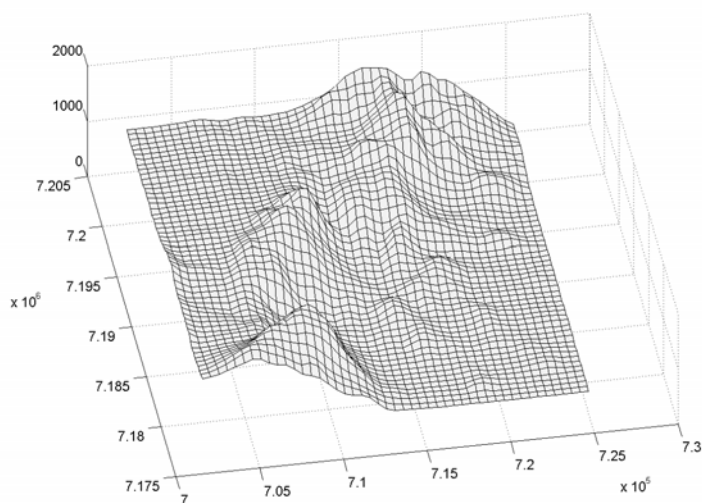


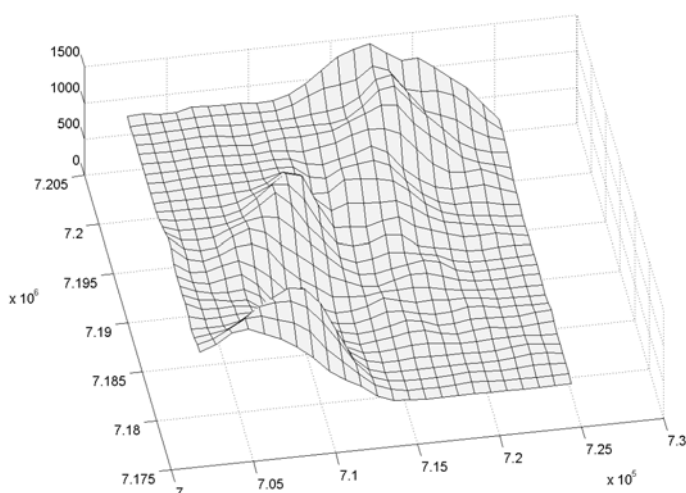
FIGURA 7.17 – SUPERFÍCIE COM RESOLUÇÃO 500M E TOLERÂNCIA 30M



Um valor de tolerância de 80m resulta na ocorrência de mais similaridades entre pares de seções verticais paralelas do terreno. Maior ocorrência de similaridades acarreta maior remoção de seções. A remoção de seções verticais paralelas do terreno usando o valor de tolerância 80m provoca a deterioração da superfície, porque são removidas seções que garantem a forma da superfície. A utilização da grade retangular irregular resultante da aplicação do processo de remoção progressiva leva a uma

representação deteriorada da superfície. A aplicação de valores de tolerância maiores do que  $80m$  levará a superfície ainda mais deteriorada. A deterioração da representação da superfície atingirá o seu maior grau quando toda a região for reduzida aos quatro pontos que definem os seus limites.

FIGURA 7.18 – SUPERFÍCIE COM RESOLUÇÃO  $1000M$  E TOLERÂNCIA  $30M$



A aplicação do processo de remoção progressiva, com tolerância  $80m$  à grade retangular regular de resolução  $250m$ , produz tanto simplificação quanto modificação da superfície. A região sudeste foi transformada num plano quase horizontal. Na região sudoeste surgiu um novo divisor d'água com orientação Norte-Sul. A região noroeste e parte da região sudeste também foram aplanadas. A maior parte das grandes declividades foi reduzida, e surgiram padrões de seções que se repetiram nas direções dos eixos cartesianos, a superfície como um todo é suavizada. Para as grades retangulares com resolução de  $500m$  e  $1000m$ , os efeitos da aplicação do valor de tolerância de  $80m$  produziu o mesmo efeito. As grades finais apresentaram as mesmas características, isto é, para estas duas grades as regiões planas têm os mesmos limites, os pontos de maior altitude são os mesmos, porém, as resoluções finais são diferentes.

FIGURA 7.19 – SUPERFÍCIE COM RESOLUÇÃO 250M E TOLERÂNCIA 80M

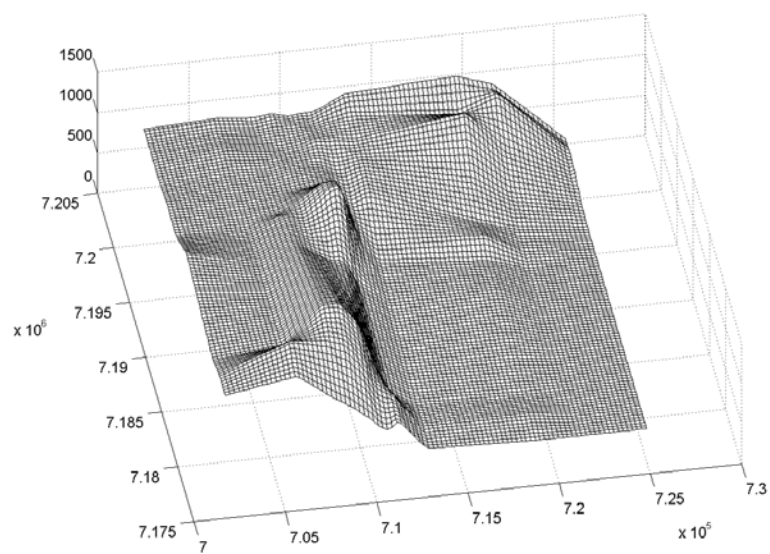


FIGURA 7.20 – SUPERFÍCIE COM RESOLUÇÃO 500M E TOLERÂNCIA 80M

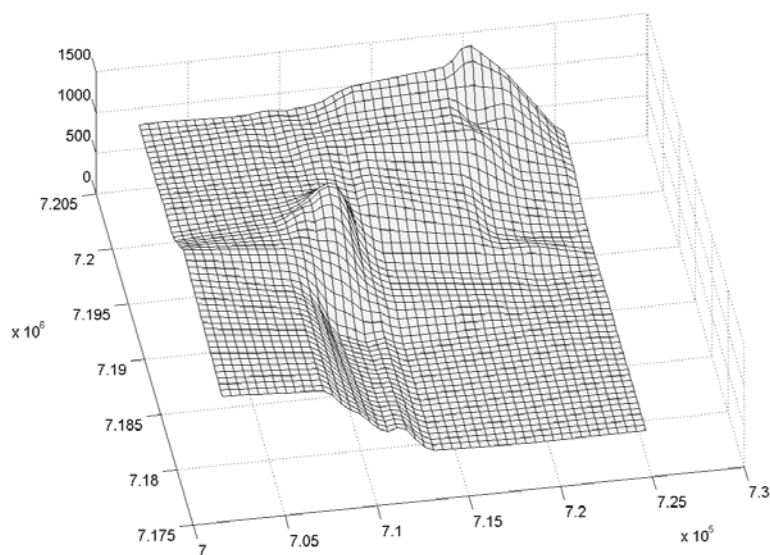
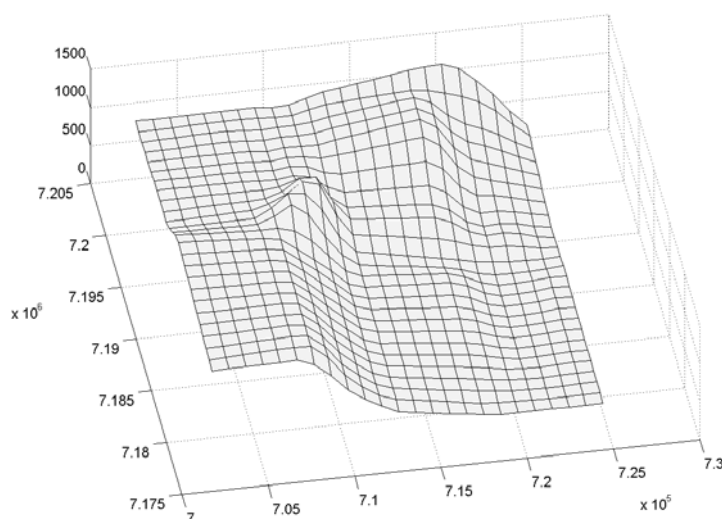


FIGURA 7.21 - SUPERFÍCIE COM RESOLUÇÃO 1000M E TOLERÂNCIA 80M



### 7.3.2 Experimentos com Grades Retangulares Regulares Derivadas *NE*, *NO*, *SE* e *SO*

As grades retangulares derivadas foram produzidas para todas as grades totais. Com a subdivisão das regiões totais buscou-se avaliar a influência da variação de altitudes em regiões mais homogêneas em termos de terreno mais suave ou terreno mais acidentado. Os quadrantes *NO* e *SE* são mais suaves pois são, respectivamente, regiões de planalto com altitude média de  $900m$  e a planície com baixas altitudes. As regiões dos quadrantes *NE* e *SO* são mais acidentadas porque representam uma parte da Serra do Mar, e têm altitudes que variam entre os baixos valores da planície até os valores correspondentes aos pontos mais altos da serra.

Os testes com o quadrante *NE* (Tab. 7.15) mostram que a remoção de seções verticais paralelas do terreno tem início para a tolerância de  $20m$  para a grade de resolução  $100m$ . São removidas mais linhas e colunas das grades de resolução  $100m$  e  $150m$  para baixas tolerâncias ( $10m$  a  $30m$ ) porque estas grades têm seções mais próximas e portanto mais prováveis de serem similares entre si do que seções mais afastadas, como é o caso das resoluções de  $500m$  a  $1000m$  que para os mesmos valores de tolerância praticamente não apresentam remoção de seções. O mesmo ocorre para as resoluções de  $200$  e  $250m$  testadas com a tolerância de  $60m$ . Assim como ocorre para as grades totais, a remoção de seções verticais paralelas do terreno é menor para resoluções menores e um mesmo valor de tolerância. Os valores realçados na Tabela

7.15 representam baixa remoção de linhas e colunas, visto que mostram os números de linhas e colunas que permaneceram após a aplicação do processo de remoção progressiva, ou que tiveram apenas uma seção removida.

TABELA 7.15 - NÚMERO FINAL DE LINHAS E COLUNAS DO QUADRANTE *NE* APÓS A APLICAÇÃO DO PROCESSO DE REMOÇÃO PROGRESSIVA

Tol. \ Res.	100m		150m		200m		250m		500m		750m		1000m	
0m	123	110	82	74	63	56	50	47	27	24	19	18	14	13
10m	118	110	81	74	63	56	50	47	27	24	19	18	14	13
20m	91	77	73	68	59	56	46	47	27	24	19	18	14	13
30m	57	54	56	48	52	44	43	38	25	24	19	18	13	13
40m	40	35	40	36	40	37	32	32	23	22	19	17	13	13
60m	26	20	23	18	26	20	19	20	17	18	15	13	12	12
80m	13	14	13	15	15	15	11	14	12	12	11	12	10	11

Os testes com os dados do quadrante *SO* (Tab. 7.16) têm comportamento semelhante aos dados do quadrante *NE*. Ambas as regiões são acidentadas porque são representativas da Serra do Mar. A diferença entre os dois quadrantes está no número de seções removidas, para o quadrante *SO* a superfície se degenera mais do que para o quadrante *NE*. Isso pode ser detectado por comparação do número de linhas e colunas removidas a cada valor de tolerância, e pelo número final de linhas e colunas para a tolerância de *80m*. Para os valores realçados, o comportamento para este quadrante também é o mesmo observado no quadrante *NE*.

TABELA 7.16 - NÚMERO FINAL DE LINHAS E COLUNAS DO QUADRANTE *SO* APÓS A APLICAÇÃO DO PROCESSO DE REMOÇÃO PROGRESSIVA

Tol. \ Res.	100m		150m		200m		250m		500m		750m		1000m	
0m	122	109	82	74	64	57	51	47	27	24	19	18	14	13
10m	121	100	82	72	64	57	51	47	27	24	19	18	14	13
20m	76	75	72	62	62	52	50	43	27	24	19	18	14	13
30m	49	48	46	50	47	47	40	39	26	23	18	18	14	13
40m	34	36	34	37	30	39	26	34	24	21	18	17	14	13
60m	18	22	19	24	19	23	19	23	18	19	17	15	13	11
80m	8	18	9	16	14	17	11	16	14	17	11	13	12	11

Os testes com os dados dos quadrantes *NO* e *SE* também apresentam o mesmo comportamento (Tab. 7.17 e 7.18). Nestes testes a remoção ocorre em maior intensidade para valores de tolerância menores. Isso está de acordo com o tipo de superfície que está representada. Para superfícies menos acidentadas, a ocorrência de similaridades é maior e como consequência a remoção de seções é mais drástica. As

regiões *NO* e *SE* são mais planas do que os quadrantes *NE* e *SO*. Para o caso do quadrante *SE*, os testes com tolerância de *60m* e *80m* não foram realizados porque estes resultariam em alta taxa de remoção de seções, e proporcionariam resultados semelhantes aos resultados dos testes com valor de tolerância para desnível de *40m*. Para o caso da grade de resolução *100m*, do quadrante *SE*, foram removidas ou excluídas *73* das *122* colunas e *54* das *109* colunas para o menor valor de tolerância. Para o mesmo valor de tolerância aplicado ao quadrante *NO*, a remoção foi de *48* linhas e *40* colunas. Para as resoluções menores, de *500m* a *1000m*, a remoção de seções é menos drástica porque o número de seções é menor, e estas têm um afastamento maior. Para a tolerância de *80m*, todas as grades foram reduzidas a valores de linhas e colunas muito próximos, o que indica que, para este valor de tolerância todas as superfícies originais são reduzidas a uma mesma superfície mais aplanada.

TABELA 7.17 - NÚMERO FINAL DE LINHAS E COLUNAS DO QUADRANTE *NO* APÓS A APLICAÇÃO DO PROCESSO DE REMOÇÃO PROGRESSIVA

Tol. \ Res.	100m		150m		200m		250m		500m		750m		1000m	
0m	123	109	82	74	63	56	51	47	27	24	19	18	14	13
10m	75	69	68	53	59	43	50	38	27	23	19	18	14	13
20m	22	34	25	30	20	24	24	23	16	14	14	12	11	11
30m	12	19	11	22	10	17	11	18	11	11	10	9	10	8
40m	9	14	7	13	8	14	10	14	11	8	9	8	8	7
60m	8	6	7	7	6	7	7	7	6	6	8	5	7	5
80m	5	4	5	5	5	6	7	6	6	5	6	5	6	4

TABELA 7.18 - NÚMERO FINAL DE LINHAS E COLUNAS DO QUADRANTE *SE* APÓS A APLICAÇÃO DO PROCESSO DE REMOÇÃO PROGRESSIVA

Tol. \ Res.	100m		150m		200m		250m		500m		750m		1000m	
0m	122	109	82	74	64	57	51	47	27	24	19	18	14	13
10m	49	55	46	50	41	38	34	29	20	22	14	16	<b>13</b>	<b>13</b>
20m	11	20	13	22	12	21	15	22	12	15	12	12	10	12
30m	10	12	8	13	8	9	6	3	6	4	8	5	7	12
40m	5	3	7	3	7	3	5	3	5	3	6	4	5	10
60m	-	-	5	3	5	3	5	3	5	3	5	4	5	4
80m	-	-	5	3	5	3	4	3	4	3	4	4	4	4

Da comparação dos valores realçados com negrito das Tabelas 7.18 e 7.17 conclui-se que a remoção de seções nos quadrantes *NO* e *SE* ocorre de forma mais

acelerada, e que estes quadrantes são mais sensíveis a baixos valores de tolerância em virtude de serem regiões mais planas. Nestes quadrantes, qualquer dos valores de tolerância aplicados resulta em remoção de seções, exceto para a resolução de  $1000m$  em que, para o valor de tolerância de  $10m$ , não resultou em remoção, isso só ocorreu a partir do valor de tolerância de  $20m$ .

O número de iterações observados nos testes das diferentes sub-regiões permite diferenciá-las. Para os testes realizados com os dados dos quadrantes *NE* e *SO* (Tab. 7.19 e 7.20), os números de iterações é menor do que o número de iterações para os testes com os dados dos quadrantes *SE* e *NO* (7.21 e 7.22). Em todas estas tabelas, o número mínimo de duas iterações está realçado.

TABELA 7.19 - NÚMERO DE ITERAÇÕES PARA OS TESTES DAS SEÇÕES NORMAIS E TRANSVERSAS DO QUADRANTE NE COM REMOÇÃO PROGRESSIVA

TOL. \ RES.	100NE		150NE		200NE		250NE		500NE		750NE		1000NE	
10m	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
20m	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
30m	4	3	4	4	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2
40m	6	4	4	5	5	4	4	3	3	2	2	2	2	2
60m	5	6	6	5	4	4	5	4	5	3	2	3	2	2
80m	6	6	6	5	5	4	6	4	5	4	4	3	3	2

TABELA 7.20 – NÚMERO DE ITERAÇÕES PARA OS TESTES DAS SEÇÕES NORMAIS E TRANSPOSTAS COM REMOÇÃO PROGRESSIVA DO QUADRANTE SO

TOL. \ RES.	100SO		150SO		200SO		250SO		500SO		750SO		1000SO	
10m	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
20m	3	4	2	3	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2
30m	4	5	3	4	3	3	4	3	2	2	2	2	2	2
40m	4	5	3	4	4	4	6	3	2	3	2	2	2	2
60m	6	5	5	5	5	4	5	4	4	3	3	3	2	3
80m	10	5	8	6	5	6	8	5	5	3	3	3	3	3

TABELA 7.21 - NÚMERO DE ITERAÇÕES PARA OS TESTES DAS SEÇÕES NORMAIS E TRANSPOSTAS COM REMOÇÃO PROGRESSIVA DO QUADRANTE SE

TOL. \ RES.	100SE		150SE		200SE		250SE		500SE		750SE		1000SE	
10m	9	9	8	5	5	8	9	11	6	2	6	3	2	2
20m	7	8	6	7	6	6	6	5	5	5	4	4	3	2
30m	6	7	6	6	6	7	6	8	5	10	4	7	4	2
40m	7	9	6	8	6	8	6	7	5	7	4	6	4	3
60m	--	--	7	8	6	7	6	7	5	6	4	5	4	5
80m	--	--	7	8	6	7	7	7	6	6	5	5	5	5

TABELA 7.22 – NÚMERO DE ITERAÇÕES PARA OS TESTES DAS SEÇÕES NORMAIS E TRANSPOSTAS E COM REMOÇÃO PROGRESSIVA DO QUADRANTE *NO*

TOL. \ RES.	100NO		150NO		200NO		250NO		500NO		750NO		1000NO	
10m	5	4	3	4	2	4	2	3	2	2	2	2	2	2
20m	8	9	5	7	6	7	5	8	3	7	4	5	4	2
30m	7	7	6	8	6	6	6	6	5	5	4	5	3	4
40m	7	8	7	9	6	6	5	6	4	6	4	5	3	4
60m	6	9	7	9	6	7	6	9	6	6	4	5	4	5
80m	8	9	7	8	7	7	6	7	4	7	5	5	5	6

Para os testes com os dados dos quadrantes *SE* e *NO* percebe-se maior número de iterações do que para os testes com os dados dos quadrantes *NE* e *SO*. Tal como nos dados sobre o número final de seções após a aplicação do processo de remoção progressiva, pode-se dizer que a ocorrência de maior número de iterações se deve ao relevo menos acidentado dos quadrantes *SE* e *NO*. Em alguns testes ocorrem números de iterações menores para tolerâncias maiores. Isso se deve ao maior número de seções removidas nas primeiras iterações do processo, quando o valor da tolerância é maior e, como consequência, resta um número menor de seções para ser removidas nas iterações seguintes e o processo termina. Para os quadrantes *NE* e *SO*, o número de iterações é crescente com o crescimento do valor da tolerância, porque estes quadrantes têm o relevo mais acidentado.

Em geral, a equivocação  $H(Y|X)$  tem valor inicial diferente do valor final quando o processo de remoção progressiva é aplicado. Quando o valor inicial é nulo, isto é, quando não forem detectadas similaridades entre os pares de seções, o valor final também será nulo. A equivocação decresce porque, com o processo de remoção progressiva, aquelas seções verticais paralelas do terreno que são similares, e portanto que concorrem para o aumento do valor da equivocação, são removidas e na iteração seguinte as seções similares são em menor número e provocam um valor de equivocação menor. O valor de equivocação deve sempre diminuir quando o processo de remoção progressiva é aplicado. Para o quadrante *NE*, os valores de equivocação são menores do que para as outras três (*NO*, *SE*, *SO*), porque este é o mais acidentado. Os valores de equivocação muito baixos, e os valores nulos observados nas grades retangulares, com resoluções menores do que *200m* se devem à baixa ou nula ocorrência de similaridades nestas grades para baixos valores de tolerância de *10m*,

20m e até 30m. Disso depende-se que para terrenos mais acidentados é necessário um maior número de seções para representar a superfície.

TABELA 7.23 – VALOR DE EQUIVOCAÇÃO INICIAL E FINAL DAS COLUNAS PARA OS TESTES COM O QUADRANTE NE COM REMOÇÃO PROGRESSIVA

TOL. \ RES.	100NE		150NE		200NE		250NE		500NE		750NE		1000NE	
10m	0,41	0,41	0,05	0,05	0,01	0,01	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20m	1,62	0,95	0,88	0,74	0,42	0,42	0,43	0,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30m	2,59	1,06	1,78	0,96	1,15	0,72	1,01	0,91	0,08	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00
40m	3,45	0,99	2,49	1,03	1,85	1,02	1,68	0,92	0,49	0,38	0,12	0,09	0,09	0,09
60m	4,81	1,02	3,82	0,96	2,93	0,95	2,82	1,07	1,23	0,76	0,84	0,48	0,48	0,35
80m	5,84	0,99	4,75	0,97	3,92	1,03	3,72	1,04	1,99	0,93	1,45	0,85	0,85	0,59

O quadrante *SO* é semelhante ao quadrante *NE* e apresenta comportamento de equivocação semelhante a este (Tab. 7.24). A ocorrência de valores de equivocação iguais a zero é menor do que para o quadrante *NE*. Os valores nulos de equivocação ocorrem para as resoluções menores do que 500m, para as tolerâncias de 10m e 20m, para esta última a equivocação é nula apenas para a resolução mais baixa.

TABELA 7.24 - VALOR DE EQUIVOCAÇÃO INICIAL E FINAL DAS COLUNAS PARA OS TESTES COM O QUADRANTE *SO* COM REMOÇÃO PROGRESSIVA

TOL. \ RES.	100SO		150SO		200SO		250SO		500SO		750SO		1000SO	
10m	0,57	0,34	0,25	0,21	0,13	0,13	0,09	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20m	1,87	0,97	1,05	0,57	0,62	0,35	0,53	0,32	0,16	0,16	0,04	0,04	0,00	0,00
30m	2,86	1,02	1,95	1,01	1,41	0,83	1,03	0,55	0,29	0,20	0,09	0,09	0,07	0,07
40m	3,60	1,04	2,62	1,05	1,96	1,01	1,71	0,86	0,58	0,24	0,29	0,16	0,08	0,08
60m	4,74	0,98	3,67	1,00	2,98	1,01	2,62	1,06	1,18	0,62	0,69	0,32	0,42	0,07
80m	5,59	1,08	4,45	1,02	3,71	1,09	3,27	0,98	1,84	0,99	1,20	0,69	0,73	0,34

Os valores de equivocação para os quadrantes *SE* e *NO* (Tab. 7.25 e 7.26) apresentam o mesmo comportamento. São maiores, comparativamente aos valores de equivocação observados para os quadrantes *NE* e *SO*, porque para terreno mais suave há maior possibilidade de se encontrar pares de seções similares, que é o caso destes quadrantes. Para estes dois quadrantes, não ocorrem valores nulos de equivocação, apenas ocorrem valores baixos para resoluções baixas quando são usados baixos valores de tolerância. Os valores finais de equivocação são ligeiramente maiores para estes quadrantes se comparados aos dois outros quadrantes.

TABELA 7.25 - VALOR DE EQUIVOCAÇÃO INICIAL E FINAL DAS COLUNAS PARA OS TESTES COM O QUADRANTE *SE* COM REMOÇÃO PROGRESSIVA

TOL. \ RES.	100SE		150SE		200SE		250SE		500SE		750SE		1000SE	
10m	2,17	0,88	1,42	0,61	1,00	0,37	0,94	0,24	0,48	0,22	0,20	0,07	0,14	0,14
20m	4,82	0,98	3,78	0,99	3,27	0,96	2,84	1,00	1,46	0,36	0,96	0,38	0,59	0,40
30m	6,40	1,01	5,30	1,07	4,54	0,87	4,13	1,05	2,54	1,10	1,87	0,57	0,91	0,64
40m	7,85	1,09	6,54	1,14	5,92	1,07	5,80	1,10	3,86	1,14	3,33	0,95	1,26	0,61
60m	--	--	8,80	1,24	7,91	1,24	7,41	1,24	5,48	1,21	4,71	1,18	3,00	0,93
80m	--	--	9,25	1,31	8,48	1,28	7,94	1,31	5,94	1,27	5,17	1,68	3,87	1,34

TABELA 7.26 - VALOR DE EQUIVOCAÇÃO INICIAL E FINAL DAS COLUNAS PARA OS TESTES COM O QUADRANTE *NO* COM REMOÇÃO PROGRESSIVA

TOL. \ RES.	100NO		150NO		200NO		250NO		500NO		750NO		1000NO	
10m	2,08	0,54	1,34	0,32	1,02	0,30	0,77	0,20	0,29	0,20	0,13	0,13	0,06	0,06
20m	4,73	0,97	3,67	0,62	3,07	0,48	2,45	0,35	1,47	0,28	0,96	0,08	0,68	0,23
30m	6,07	0,99	5,01	1,01	4,56	0,80	3,54	0,55	2,44	0,33	1,85	0,27	1,17	0,34
40m	6,87	1,00	5,78	0,93	5,27	0,99	4,36	0,93	2,93	0,42	2,30	0,33	1,71	0,31
60m	8,17	1,04	6,96	0,91	6,57	0,84	5,38	1,08	4,11	0,50	3,13	0,39	2,20	0,17
80m	8,68	0,97	7,53	1,04	6,96	1,05	6,04	1,03	4,51	0,95	3,62	0,71	2,67	0,23

A informação útil  $R$  está diretamente ligada aos valores de equivocação. Os valores de informação útil inicial e final são apresentados para todas os quadrantes nas Tabelas 7.27 a 7.30. Para os quadrantes *NE* e *SO*, os valores de informação útil são maiores do que para os quadrantes *SE* e *NO*. A existência de altos valores de equivocação implica baixos valores de informação útil e vice-versa. Quando a equivocação é nula, os valores de informação útil inicial e final são iguais entre si e iguais ao valor da entropia do conjunto original  $H(X)$ , isso significa que não ocorre um problema na comunicação dos dados segundo o ponto de vista expresso na função de similaridade usada para avaliar os dados. Neste caso, nenhum par de seções foi considerado similar. Os valores de informação útil são menores para os quadrantes *SE* e *NO* porque o processo de remoção progressiva atua mais em regiões mais planas, de modo que o número final de seções é mais baixo do que para regiões mais acidentadas.

A informação útil decresce drasticamente com o aumento do valor de tolerância para o quadrante *SE* (Tab. 7.29). Enquanto o valor de informação útil final resulta maior do que 3 para os quadrantes *NE* e *SO*, e para parte dos testes com o quadrante *NO*, para o quadrante *SE* o valor de informação útil é menor do que 1,0 para a maioria

dos testes com valor de tolerância maior do que 30m. Neste quadrante, os valores inicial e final de informação útil para altas tolerâncias é afetado pela alta taxa de remoção de seções.

TABELA 7.27 - VALOR DA INFORMAÇÃO ÚTIL INICIAL E FINAL DAS COLUNAS PARA OS TESTES COM O QUADRANTE NE COM REMOÇÃO PROGRESSIVA

TOL. \ RES.	100NE		150NE		200NE		250NE		500NE		750NE		1000NE	
10m	6,66	6,66	6,19	6,19	5,80	5,80	5,55	5,55	4,58	4,58	4,17	4,17	3,70	3,70
20m	6,51	5,47	5,94	5,85	5,63	5,63	5,36	5,36	4,58	4,58	4,17	4,17	3,70	3,70
30m	6,35	5,41	5,73	5,20	5,39	5,14	5,10	4,95	4,54	4,54	4,17	4,17	3,70	3,70
40m	6,10	4,68	5,52	4,72	5,16	4,76	4,90	4,56	4,30	4,23	4,08	4,05	3,64	3,64
60m	5,40	3,76	4,95	3,60	4,76	3,77	4,43	3,73	3,91	3,70	3,65	3,45	3,38	3,34
80m	4,70	3,17	4,43	3,32	4,26	3,27	3,96	3,15	3,49	2,93	3,28	3,06	3,15	3,04

TABELA 7.28 - VALOR DA INFORMAÇÃO ÚTIL INICIAL E FINAL DAS COLUNAS PARA OS TESTES COM O QUADRANTE SO COM REMOÇÃO PROGRESSIVA

TOL. \ RES.	100SO		150SO		200SO		250SO		500SO		750SO		1000SO	
10m	6,63	6,55	6,12	6,10	5,77	5,77	5,51	5,51	4,58	4,58	4,17	4,17	3,70	3,70
20m	6,36	5,95	5,86	5,75	5,60	5,56	5,34	5,29	4,49	4,49	4,14	4,14	3,70	3,70
30m	6,18	5,21	5,63	5,27	5,31	5,22	5,16	5,04	4,43	4,41	4,11	4,11	3,65	3,65
40m	5,98	4,73	5,46	4,77	5,14	4,86	4,87	4,70	4,24	4,24	3,98	3,98	3,64	3,64
60m	5,45	3,95	5,09	4,08	4,80	3,99	4,55	3,98	3,93	3,87	3,74	3,69	3,41	3,41
80m	4,90	3,55	4,70	3,39	4,50	3,46	4,28	3,40	3,58	4,79	3,45	3,23	3,19	3,21

TABELA 7.29 - VALOR DA INFORMAÇÃO ÚTIL INICIAL E FINAL DAS COLUNAS PARA OS TESTES COM O QUADRANTE SE COM REMOÇÃO PROGRESSIVA

TOL. \ RES.	100SE		150SE		200SE		250SE		500SE		750SE		1000SE	
10m	6,15	5,44	5,68	5,38	5,41	5,07	5,11	4,72	4,29	4,32	4,04	3,96	3,60	3,60
20m	4,97	3,76	4,60	3,91	4,29	3,84	4,12	3,89	3,71	3,66	3,56	3,31	3,30	3,30
30m	4,03	2,91	3,78	3,01	3,63	2,53	3,44	0,49	3,04	0,96	2,96	1,80	3,10	3,16
40m	2,91	0,45	2,94	0,40	2,72	0,47	2,25	0,43	2,13	0,42	1,88	1,11	2,87	2,80
60m	--	--	1,03	0,28	1,12	0,28	2,04	0,28	0,92	0,33	0,85	0,88	1,55	1,12
80m	--	--	0,64	0,20	0,63	0,24	0,59	0,20	0,58	0,26	0,51	0,39	0,85	0,72

TABELA 7.30 - VALOR DA INFORMAÇÃO ÚTIL INICIAL E FINAL DAS COLUNAS PARA OS TESTES COM O QUADRANTE NO COM REMOÇÃO PROGRESSIVA

TOL. \ RES.	100NO		150NO		200NO		250NO		500NO		750NO		1000NO	
10m	6,12	5,91	5,72	5,59	5,39	5,28	5,21	5,14	4,43	4,40	4,10	4,10	3,66	3,66
20m	4,77	4,63	4,48	4,58	4,28	4,30	4,31	4,31	3,70	3,72	3,56	3,53	3,23	3,29
30m	4,06	3,70	3,77	3,91	3,39	3,57	3,69	3,84	3,08	3,22	2,96	2,95	2,89	2,73
40m	3,58	3,16	3,35	3,09	3,00	3,17	3,24	3,20	2,80	2,66	2,70	2,74	2,50	2,56
60m	2,61	1,73	2,55	2,09	2,09	1,88	2,60	1,96	1,94	2,16	2,06	1,98	2,15	2,16
80m	2,21	1,08	2,12	1,41	1,84	1,05	2,13	1,72	1,65	1,47	1,71	1,68	1,77	1,78

A visualização de um subconjunto dos dados das representações dos quadrantes derivados das grades retangulares totais originais, e derivados por processamento com o método da remoção progressiva está apresentada nas figuras de 7.22 a 7.33. Nas figuras 7.22, 7.25, 7.28 e 7.31 são mostradas as superfícies dos quadrantes *NE* e *SE*, e suas curvas de nível derivadas, para as grades antes de sofrer o processamento e aplicação do processo de remoção progressiva. As curvas de nível representadas não têm o seu valor da altitude associado, porque o propósito da análise das curvas de nível é perceber alguma variação em suas representações com a variação no número de seções verticais paralelas do terreno que são usadas na sua derivação. O intervalo vertical entre as curvas de nível é de *100m*.

Nas Figuras 7.22 a 7.24 estão as representações do quadrantes *NE* de resolução *100m*. A superfície original e as curvas de nível dela derivadas são apresentadas na Fig. 7.22a e b. A representação das curvas de nível derivadas das superfícies, submetidas ao processo de remoção progressiva com tolerâncias de *10m*, teve como remoção média 4% de seções normais e seções transversas (Fig. 7.24a e b). Para a tolerância de *30m* houve remoção de aproximadamente 46% de seções transversas e 50% de seções normais. O número de seções removidas no teste com tolerância de *10m* é baixo porque a superfície é acidentada. A remoção de seções quando o valor de tolerância é de *30m* foi mais significativa e resultou numa “baixa” suavização da superfície representada (Fig. 7.24a). A aparência geral das curvas de nível derivadas da grade final processada com tolerância *30m* (Fig. 7.24b) é a mesma das curvas derivadas dos dados originais (Fig. 7.22b).

Para o teste realizado com a grade retangular regular de resolução *250m* do quadrante *NE*, com valor de tolerância de *10m*, não houve remoção de seções porque não foram encontradas similaridades entre os pares de seções. Os testes com a grade regular retangular de resolução *250m* do quadrante *NE*, com valores de tolerância de *30m* e *40m* (Fig. 7.25 a 7.27) mostram que o processo de remoção progressiva aplanar a superfície (Fig. 7.26a e 7.27a), e como consequência gera curvas de nível mais suaves (Fig. 7.26b e 7.27b). As curvas de nível derivadas por processamentos do quadrante

*NE* com as resoluções de *10m* e *40m* proporcionaram redução de dados, porém mantém o caráter da superfície.

Para o caso de uma superfície mais aplanada, como aquela presente no quadrante *SE*, os baixos valores de tolerância resultam em altas porcentagens de remoção de seções. Nas Figuras 7.28 a 7.30 estão representadas as grades e as respectivas curvas de nível derivadas, para a resolução de *100m*, e nas Figuras 7.31 a 7.33 para a resolução de *250m*. Para ambas as resoluções os valores de tolerância são *10m* e *30m*. Pode-se perceber que mesmo para o valor de tolerância de *10m*, aplicado a uma grade de resolução de *100m*, produz um padrão artificial de superfície paralelo às orientações das seções normais e transversas (Fig. 7.29a). A aplicação do valor de tolerância de *30m* à grade de resolução *100m* resulta em maior simplificação de formas da superfície, e mantém suavizadas as regiões mais altas (Fig. 7.30a). A não representação das curvas de nível de zero metros trouxe, para regiões homogêneas de baixas altitudes a simplificação de superfícies, o inconveniente a ocorrências de vazios como pode ser visto nas Figuras 7.29b e 7.30b. O resultado da aplicação do valor de tolerância de *10m* à grade retangular regular de *250m* produz resultado semelhante àquele observado na grade de resolução *100m*. Para a grade de resolução *250m* também são produzidas formas de relevo artificial paralelas às direções das seções, no entanto as curvas de nível não permitem visualizar o efeito devido ao intervalo vertical escolhido (Fig. 7.32a e b). O caso mais extremo pode ser observado para a grade de resolução *250m* para a qual o valor de tolerância de *30m* foi usado (Fig. 7.33). Neste teste o processo de remoção progressiva proporcionou a remoção de 94% de seções normais e de 92% de seções transversas. A deterioração da superfície produziu uma encosta suave (Fig. 7.33a) de modo que apenas um segmento de uma única curva de nível pode ser derivado para o intervalo vertical de *100m* (Fig. 7.33b).

FIGURA 7.22 – GRADE RETANGULAR DE RESOLUÇÃO 100M QUADRANTE NE ORIGINAL

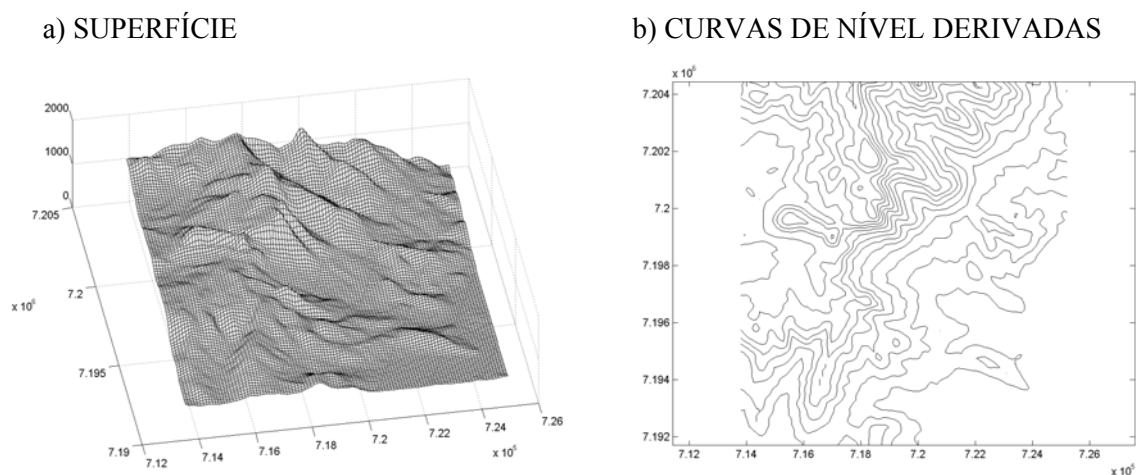


FIGURA 7.23 – GRADE RETANGULAR DE RESOLUÇÃO 100M QUADRANTE NE TOLERÂNCIA 10M

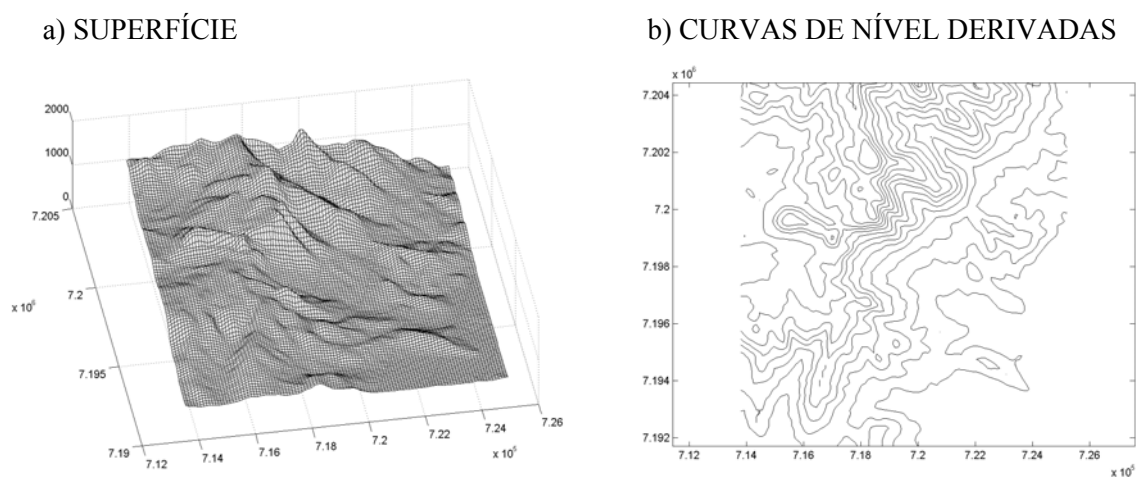


FIGURA 7.24 – GRADE RETANGULAR DE RESOLUÇÃO 100M QUADRANTE NE TOLERÂNCIA 30M

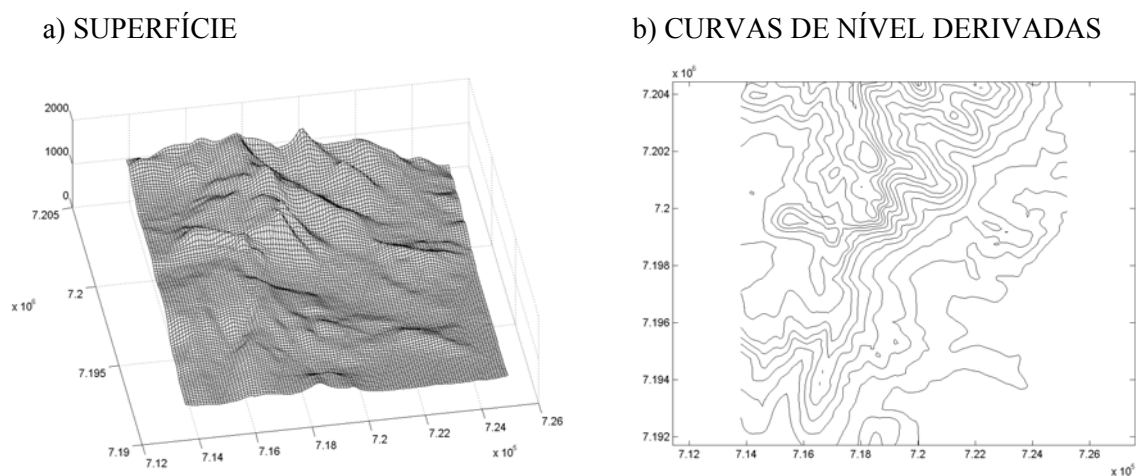


FIGURA 7.25 – GRADE RETANGULAR DE RESOLUÇÃO 250M QUADRANTE NE ORIGINAL

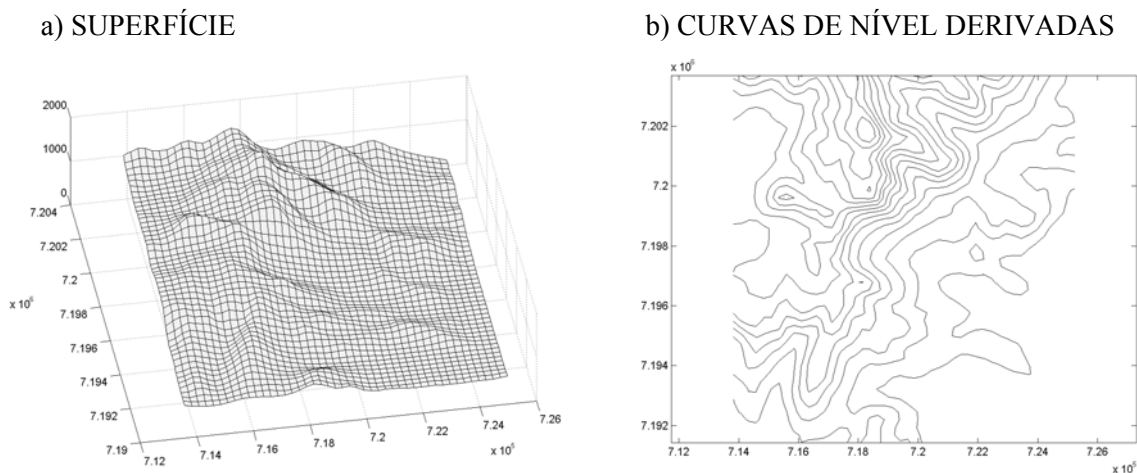


FIGURA 7.26 – GRADE RETANGULAR DE RESOLUÇÃO 250M QUADRANTE NE TOLERÂNCIA 30M

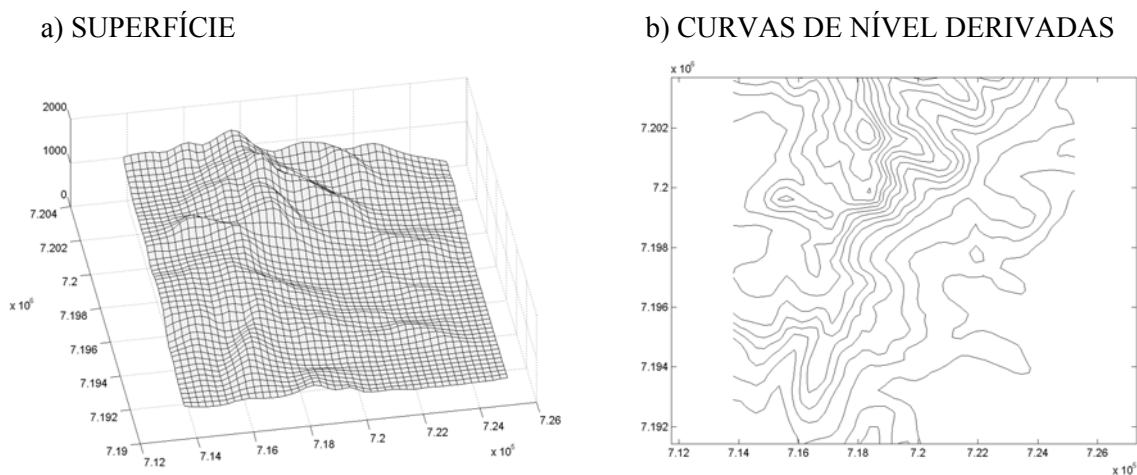


FIGURA 7.27 GRADE RETANGULAR DE RESOLUÇÃO 250M QUADRANTE NE TOLERÂNCIA 40M



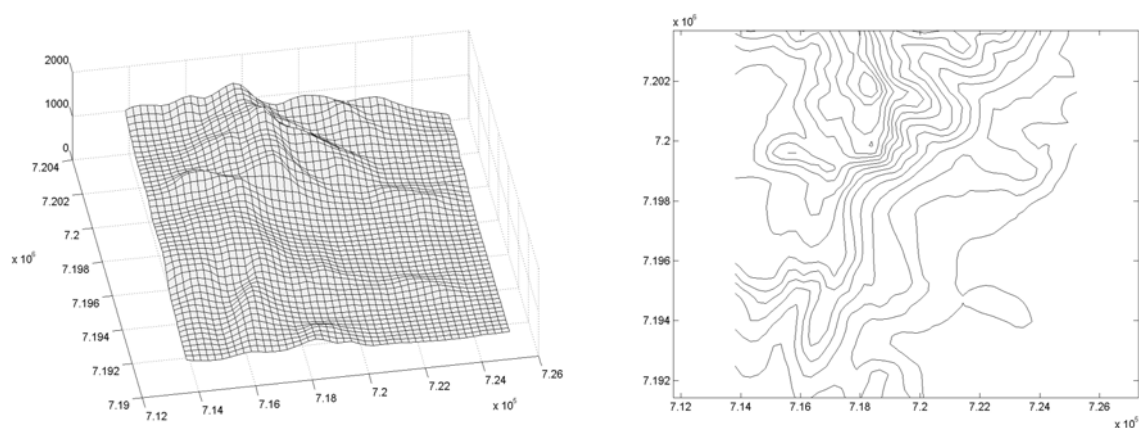


FIGURA 7.28 – GRADE RETANGULAR DE RESOLUÇÃO  $100M$  QUADRANTE  $SE$  ORIGINAL

a) SUPERFÍCIE

b) CURVAS DE NÍVEL DERIVADAS

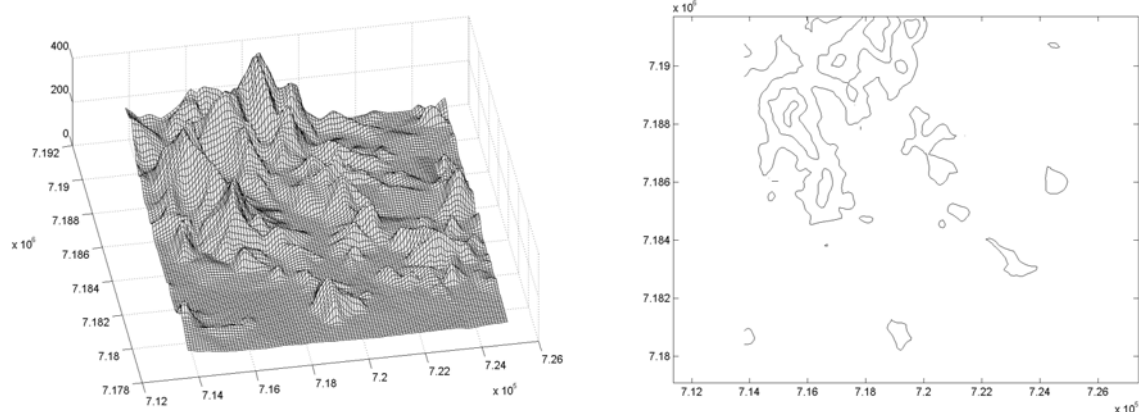


FIGURA 7.29 – GRADE RETANGULAR DE RESOLUÇÃO  $100M$  QUADRANTE  $SE$  TOLERÂNCIA  $10M$

a) SUPERFÍCIE

b) CURVAS DE NÍVEL DERIVADAS

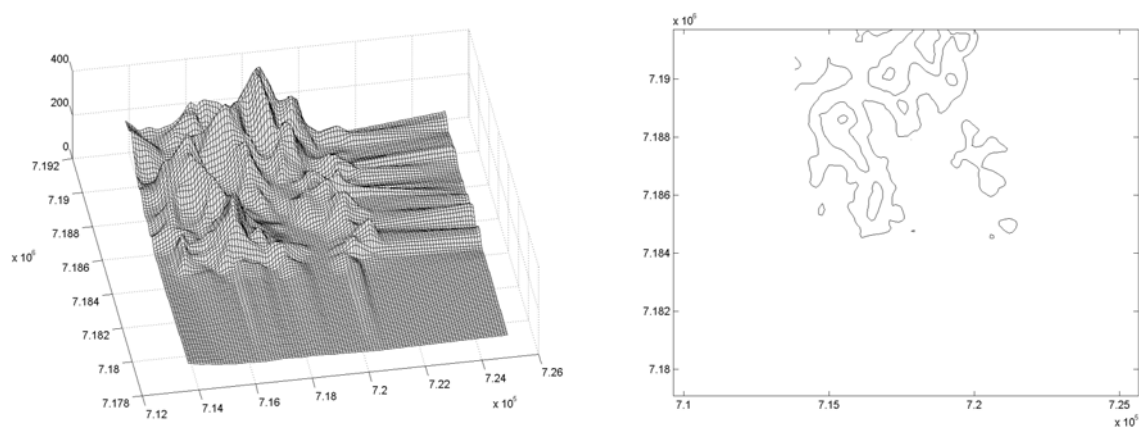


FIGURA 7.30 – GRADE RETANGULAR DE RESOLUÇÃO  $100M$  QUADRANTE  $SE$  TOLERÂNCIA  $30M$

A) SUPERFÍCIE

B) CURVAS DE NÍVEL DERIVADAS

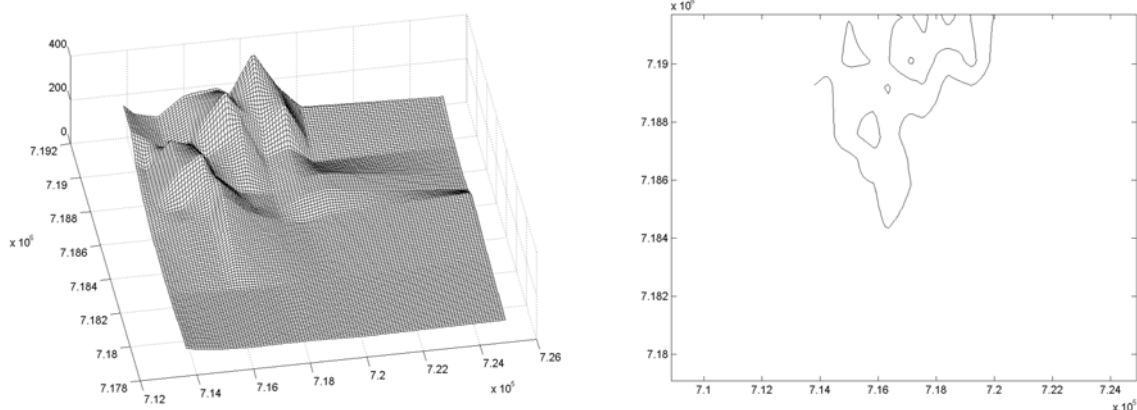


FIGURA 7.31 – GRADE RETANGULAR DE RESOLUÇÃO 250M QUADRANTE SE ORIGINAL

a) SUPERFÍCIE

b) CURVAS DE NÍVEL DERIVADAS

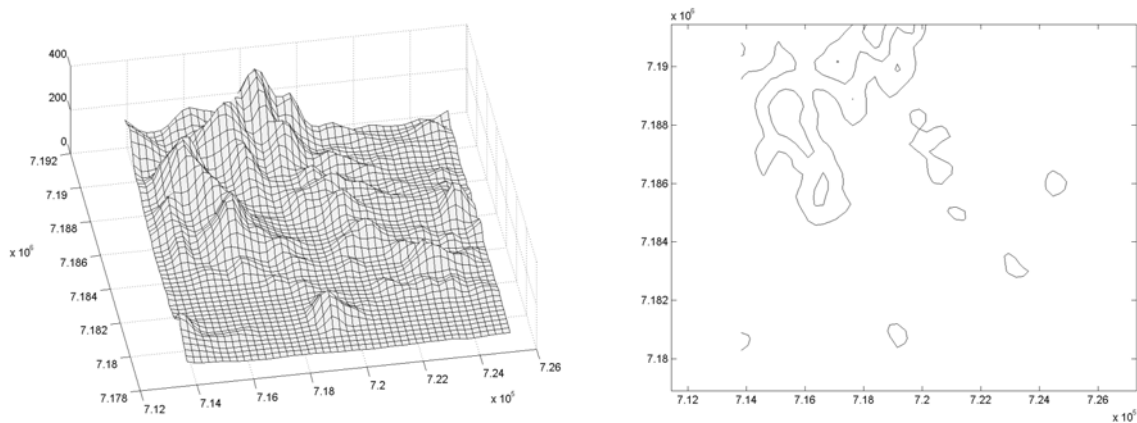


FIGURA 7.32 – GRADE RETANGULAR DE RESOLUÇÃO 250M QUADRANTE SE TOLERÂNCIA 10M

a) SUPERFÍCIE

b) CURVAS DE NÍVEL DERIVADAS

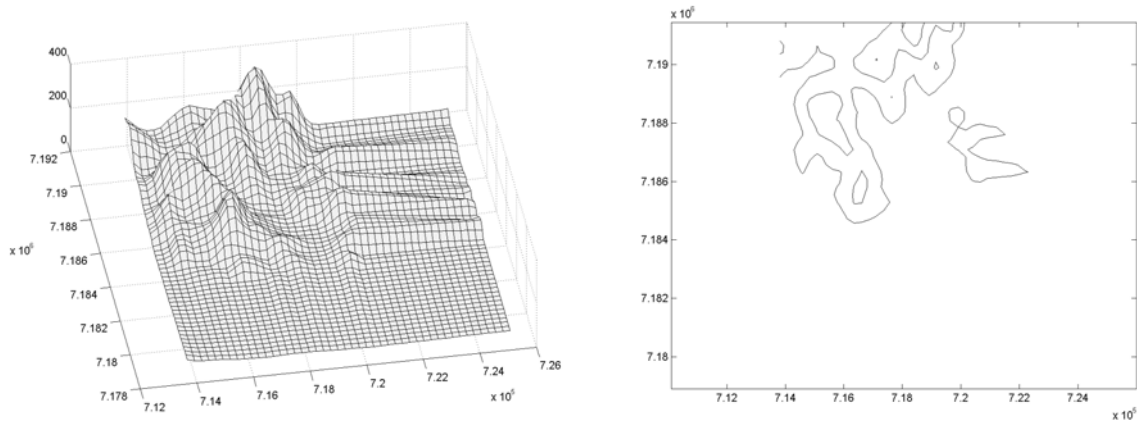
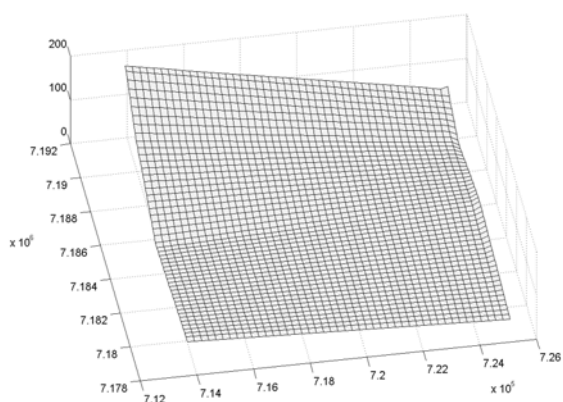
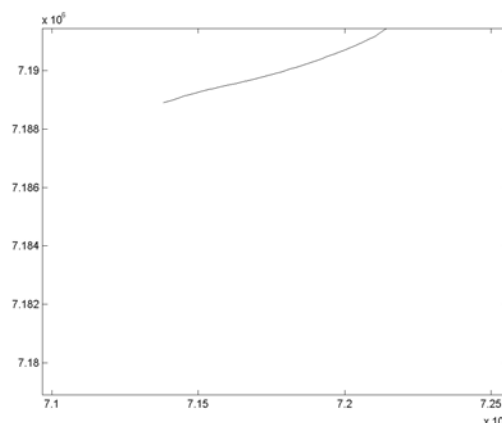


FIGURA 7.33 – GRADE RETANGULAR DE RESOLUÇÃO 250M QUADRANTE SE TOLERÂNCIA 30M

a) SUPERFÍCIE



b) CURVAS DE NÍVEL DERIVADAS



A divisão das regiões totais em quadrantes que têm o relevo semelhante possibilitou realizar a verificação do relacionamento entre a topografia e o valor de tolerância. Pode-se concluir que, dependendo do valor da tolerância, a aplicação do processo de remoção progressiva pode provocar uma redução de seções tal que apenas as seções muito afastadas, e por isso mais dissimilares, permaneçam e tornem a superfície muito simplificada. Do ponto de vista de generalização, algumas vezes poderá ser necessário aplicar valores de tolerância mais altos para produzir uma grande suavização.

A aplicação do processo de remoção progressiva proporciona a remoção de seções verticais paralelas do terreno após a determinação dos valores de similaridade de pares de seções verticais e com a consideração apresentada no Capítulo 5, item 5.6, que determina o modo como as seções consideradas similares são removidas. As superfícies resultantes do processo de remoção progressiva dos testes realizados no Item 7.3.2 foram geradas a partir das seções normais e transversas remanescentes do processo iterativo realizado de forma independente para as seções normais e para as seções transversas. Isto quer dizer que somente após haver convergência do processo de remoção progressiva aplicado às seções normais é que o mesmo processo foi aplicado às seções transversas. O critério determinante do final de processo é a ausência de pares de seções verticais paralelas do terreno que sejam similares entre si.

Quando se aplica o processo de remoção progressiva às seções normais e às seções transversas isoladamente, tendo como critério de convergência o número de

seções removidas na última iteração, não se pode controlar o montante de simplificação aplicada à superfície pela remoção de seções. O controle da simplificação que afeta a superfície pode ser possível pela avaliação da declividade das faces da grade retangular, cada vez que o processo de remoção progressiva é aplicado às seções normais e às seções transversas.

#### 7.4 EXPERIMENTOS COM GRADES RETANGULARES REGULARES TOTAIS E REMOÇÃO PROGRESSIVA COM CONTROLE DE DECLIVIDADE

A declividade de cada face da superfície é calculada e distribuída em classes cujo número é determinado de acordo com a regra de Sturges usando os dados da grade retangular regular, isto é, usando dos dados de grade retangular regular antes da aplicação da TMC.

O valor da tolerância para o desnível que é usado na função de similaridade foi derivado do valor de declividade média da superfície. A declividade de cada uma das faces da superfície, seja ela determinada por uma grade retangular regular ou irregular, é calculada usando o procedimento apresentado no Apêndice C. Os valores de declividade de uma representação de superfície por meio de uma grade retangular diminuem com a aplicação do processo de remoção progressiva (Tab. 7.31). Nesta tabela, que corresponde ao processamento dos dados da grade retangular de resolução  $250m$  e tolerância de  $43m$  para altitudes e  $5\%$  para declividades, as colunas indicam a frequência da declividade para o número de classes definida pela regra de Sturges. Cada coluna da tabela representa uma iteração em que o processo de remoção progressiva é aplicado. Os valores de frequência de declividades variam em cada classe para diferentes iterações porque a representação da superfície é modificada a cada iteração. A primeira classe de declividades apresenta a frequência das declividades mais baixas encontradas na grade e a última classe apresenta as declividades mais altas. Para as frequências de declividades apresentadas nesta tabela a variação mais significativa ocorre para a classe 3 que perde valores de declividade, enquanto a classe 1 sofre aumento de frequência. A redução da frequência das classes de maiores declividades e o aumento da frequência de classes de menores declividades indica que a declividade média da superfície diminuiu.

TABELA 7.31 – VARIAÇÃO DA FREQUÊNCIA DAS DECLIVIDADES PARA PROCESSO ITERATIVO DE REMOÇÃO PROGRESSIVA

Classes decliv.	Valor inicial	Iteração 1	Iteração 2
1	40.26	40.96	41.14
2	22.17	20.53	21.35
3	15.00	14.72	13.40
⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮
12	0.11	0.21	0.32
13	0.04	0.14	0.18
14	0.04	0.11	0.21

Percebe-se que os valores de frequência de declividade variam com o número de iterações e crescem para as primeiras classes porque estas representam as menores declividades. Como consequência, ocorre um efeito de suavização da representação da superfície.

#### 7.4.1 Testes com Dados do Quadrante *NE*

As grades retangulares regulares de resoluções *100m*, *200m*, *250m*, *500m*, *750m* e *1000m* foram utilizadas para os testes do quadrante *NE* (Tab. 7.32). Os valores de tolerância derivados dos valores da declividade média da superfície, para cada resolução, são crescentes, embora a declividade média seja decrescente. Isso ocorre porque a superfície representada por meio das grades retangulares é a mesma, e uma redução de resolução tende a suavizar a sua representação. O valor da tolerância da variação da declividade para as classes de declividade foi de 5% e proporcionou um máximo de 3 iterações para a grade retangular regular de resolução *250m*.

TABELA 7.32 – DADOS RELATIVOS AOS TESTES DO QUADRANTES *NE* COM REMOÇÃO PROGRESSIVA E CONTROLE DE SUAVIZAÇÃO POR VARIAÇÃO DE DECLIVIDADE

Resolução e quad.	Tolerâncias		N. it.	Porcent. de remoção		Declividade média da superfície para as iterações	Número de faces	
	$\Delta h$	Dec.		It. inicial	It. final		Inicial	Final
100NE	30m	5%	1	42 40	42 40	28% 33%	13298	4543
200NE	50m	5%	2	41 37	49 48	26% 29%	3410	1390
250NE	56m	5%	3	40 40	58 53	24% 25% 27% 27%	2254	857
500NE	100m	5%	2	33 37	56 50	21% 22% 20%	598	205
750NE	127m	5%	1	42 39	42 39	18% 17%	306	97
1000NE	147m	5%	1	36 38	36 38	16% 13%	156	53

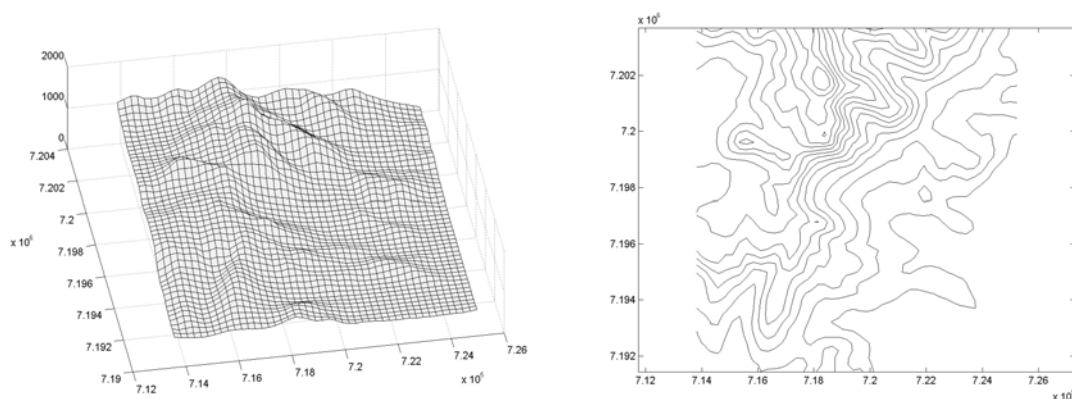
Os valores de tolerância derivados dos valores de declividade média das respectivas resoluções proporcionam uma remoção média de seções acima de 33% para a primeira iteração do processo de remoção progressiva. Para todos os processamentos realizados, na primeira iteração sempre ocorre a máxima remoção percentual e para as iterações seguintes o percentual de remoção é sempre mais baixo. Para a iteração final as porcentagens de remoção variam, mas não são superiores a 58%. O maior número de iterações ocorreu para os dados da grade retangular de resolução *250m*, e neste teste também ocorreu a maior remoção percentual. Poderia se esperar que os valores de declividade média diminuíssem com a remoção de seções verticais paralelas do terreno, no entanto para os testes com os dados do quadrante *NE*, com as resoluções de *100m*, *200m* e *250m*, os valores aumentaram e mostram que havia dados redundantes, ou seja, a ocorrência de muitos valores de declividade parecidos resultaram num deslocamento da média para um valor menor. Para as grades de resolução menor do que *250m*, o comportamento da declividade muda e decresce com o número de iterações. Para os testes com as grades retangulares regulares do quadrante *NE* a porcentagem do número de faces final para todos os testes varia entre 31% e 41%, o que se pode considerar como um comportamento homogêneo.

A análise das representações gráficas das grades retangulares iniciais e finais, dos testes com as grades retangulares regulares de resolução *250m* e *500m*, permite concluir que a última iteração para estes testes deterioraram a representação da superfície. Nas Figuras 7.34a e 7.34b estão as representações da superfície original e as curvas de nível derivadas desta grade retangular de resolução *250m* do quadrante *NE*.

FIGURA 7.34 – REPRESENTAÇÕES DA SUPERFÍCIE ORIGINAL E DAS CURVAS DE NÍVEL PARA A RESOLUÇÃO DE 250M DO QUADRANTE *NE*

a) SUPERFÍCIE

b) CURVAS DE NÍVEL

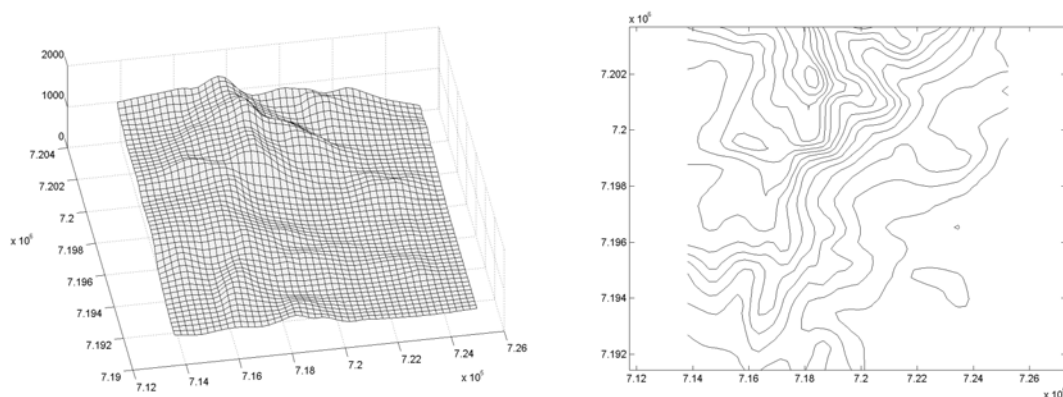


O padrão de superfície e de curvas de nível derivadas fica preservado para a iteração 2, como se apresenta nas Figuras 7.35a e 7.35b, apesar da superfície estar mais suave em relação à superfície original (Fig. 7.34a). A superfície representada na Figura 7.35a foi reconstituída a partir da grade retangular irregular constituída de pelo menos 40% a menos de seções verticais paralelas do terreno. As curvas de nível derivadas desta superfície reconstituída apresentam a mesma característica das curvas derivadas da superfície original.

FIGURA 7.35 – REPRESENTAÇÕES DA SUPERFÍCIE E DAS CURVAS DE NÍVEL PARA A RESOLUÇÃO DE 250M DO QUADRANTE NE ITERAÇÃO 2

a) SUPERFÍCIE

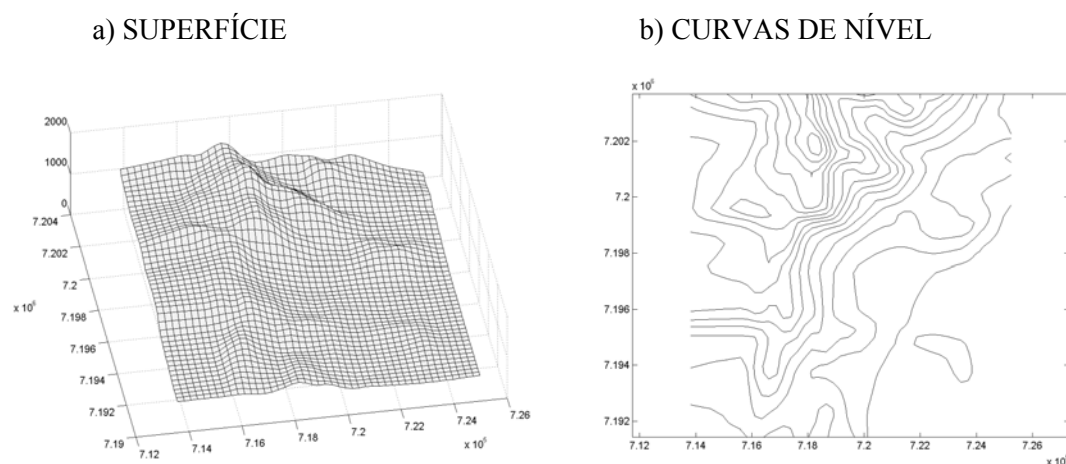
b) CURVAS DE NÍVEL



Na Figura 7.36 estão representadas a superfície reconstituída de uma grade retangular irregular reduzida em aproximadamente 58% de seções verticais paralelas ao eixo  $Y$  e 53% de seções verticais paralelas ao eixo  $X$ . Pode-se perceber que ocorrem planos inclinados artificiais e que se constituem numa deterioração da superfície. O

mesmo pode-se dizer das curvas de nível derivadas da superfície reconstituída e apresentadas na Fig. 7.36b. Nestas curvas de nível aparecem declives inexistentes na superfície original em consequência da simplificação da superfície pela aplicação da remoção progressiva. Estes declives podem ser observados na porção sudeste da superfície representada nesta figura. A perda de detalhe atinge um nível que prejudica a representação da superfície e a derivação de curvas de nível.

FIGURA 7.36 – REPRESENTAÇÕES DA SUPERFÍCIE E DAS CURVAS DE NÍVEL PARA A RESOLUÇÃO DE 250M DO QUADRANTE NE ITERAÇÃO 2



#### 7.4.2 Testes com Dados do Quadrante SE

Para este quadrante foram realizados os mesmos testes que para o quadrante *NE*. Os valores de tolerância para os desníveis a serem usados no modelo de similaridade foram determinados do mesmo modo que nos testes realizados com os dados do quadrante *NE*, isto é, também foram derivados do valor de declividade média do quadrante. Como a região do quadrante *SE* tem relevo mais suave comparativamente à região do quadrante *NE*, as declividades médias para as grades de

diferentes resoluções também são progressivamente menores. Como consequência, os valores de tolerância para os desníveis também são menores.

Os dados apresentados na Tabela 7.33 correspondem aos testes realizados para este quadrante com o processo da remoção progressiva, e com controle de suavização da superfície por meio da variação da frequência das classes de declividade. O valor de tolerância para declividade utilizado foi de 3% para a maioria dos testes.

Para estes testes, a variação em declividade admitida para qualquer classe de declividade foi de 3% porque a superfície é mais plana, e um maior valor de tolerância para esta grandeza pode levar a uma simplificação excessiva e prejudicial aos dados. Os números de iterações encontrados nestes testes é menor do que aquele encontrado nos testes do quadrante NE, e a porcentagem de remoção de seções para a primeira iteração e para a última iteração também são menores.

TABELA 7.33 – DADOS RELATIVOS AOS TESTES DO QUADRANTES SE COM REMOÇÃO PROGRESSIVA E CONTROLE DE SUAUIZAÇÃO POR VARIAÇÃO DE DECLIVIDADE

Resolução e quad.	Tolerâncias		N. it.	Porcent. de remoção		Declividade média da superfície para as iterações	Número de faces	
	$\Delta h$	Dec.		It. inicial	It. Final		Inicial	Final
100SE	9m	3%	1	35 28	35 28	10% 11%	13068	5995
200SE	12m	3%	2	28 21	28 21	9% 9%	3528	1977
250SE	16m	3%	1	39 28	39 28	8% 9%	2300	986
500SE	30m	3%	2	44 25	67 42	6% 6% 4%	598	216
750SE	36m	3%	1	37 33	37 33	5% 5%	306	117
1000SE	47m	3%	1	29 31	29 31	5% 6%	156	63

Em todos os testes com os dados do quadrante SE, o processo iterativo foi terminado porque foi detectada uma variação de mais de 3% em uma ou mais classes de frequência de declividade. A frequência da declividade tem comportamento variável ao longo dos testes com diferentes resoluções para o mesmo quadrante (Tab. 7.34). Os valores de frequência de declividades são apresentados para os dados originais na coluna *Orig.* e para cada iteração nas colunas *it. i*. Diferentes grades retangulares para a mesma região (quadrante SE), isto é, grades com resoluções diferentes têm diferentes números de faces e números de classes. Para as grades retangulares de maior resolução a frequência da declividade diminui para as baixas declividades com a remoção das seções, como se pode observar na classe 1 dos testes



FIGURA 7.37 – SUPERFÍCIE ORIGINAL DO QUADRANTE SE E CURVAS DE NÍVEL DERIVADAS PARA A RESOLUÇÃO 100M

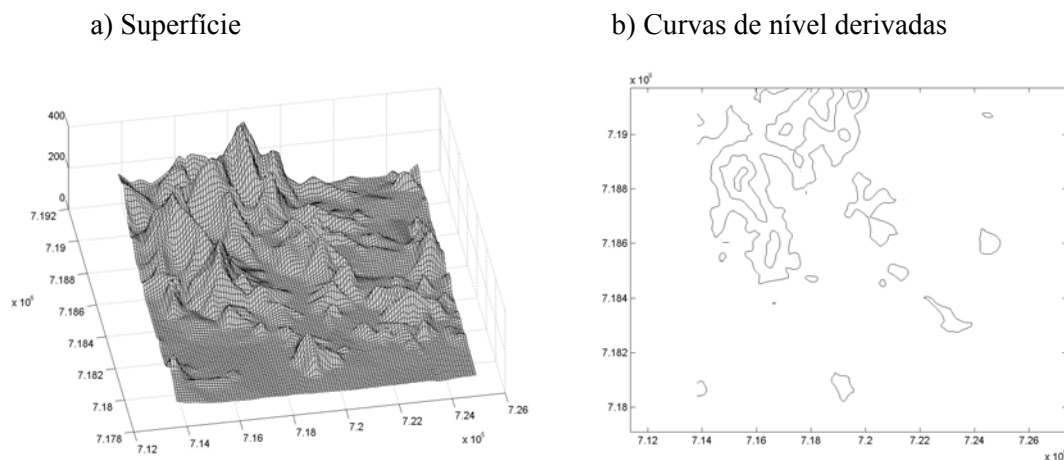
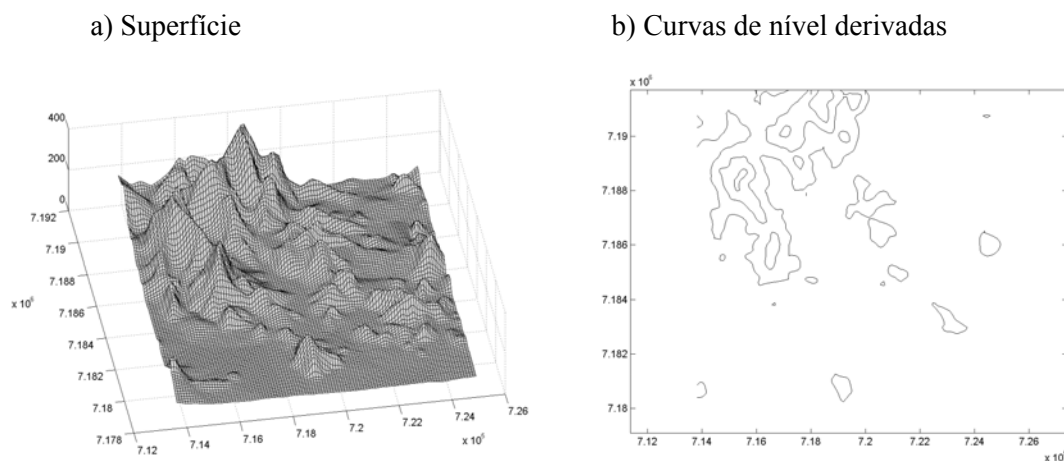


FIGURA 7.38 – SUPERFÍCIE DO QUADRANTE SE DERIVADA DE SUPERFÍCIE RECONSTITUÍDA E CURVAS DE NÍVEL DERIVADAS PARA A RESOLUÇÃO ORIGINAL DE 100M



As curvas de nível derivadas (Fig 7.38b) a partir da superfície reconstituída apresentam o mesmo padrão das curvas de nível derivadas da superfície original (Fig. 7.37b). As curvas derivadas são menos detalhadas do que as curvas derivadas da superfície original. A superfície reconstituída a partir da grade retangular irregular (Fig. 7.38a) apresenta o mesmo detalhamento e mesmo caráter da superfície original (Fig. 7.37a), apesar de ser produzida com um montante de dados aproximadamente 32% menor do que o original, como pode ser constatado na Tabela 7.33.

O comportamento das curvas de nível derivadas da superfície reconstituída da grade retangular irregular de resolução original de  $750m$  é o mesmo de sua análoga para a resolução de  $100m$ . Na Figura 7.39a e 7.39b são mostradas a superfície original e suas curvas de nível derivadas e na Figura 7.40a e 7.40b são mostradas a superfície reconstituída da grade retangular irregular gerada por aplicação do processo de remoção progressiva. Tanto a superfície reconstituída quanto as curvas de nível dela derivadas mantêm o mesmo padrão de seus respectivos originais. Apesar do intervalo entre as curvas de nível admitir a representação de poucas curvas de nível pode-se observar que as curvas de nível das Figuras 7.39b e 7.40b têm o mesmo comportamento, apenas a original apresenta maiores detalhes. O mesmo pode ser dito acerca das superfícies mostradas nas Figuras 7.39a e 7.40a, isto é, a superfície reconstituída mantém alta semelhança com a superfície original, apesar de ter origem num conjunto de dados que tem 37% a menos de seções transversas e 33% a menos de seções normais do que o conjunto original (Tab. 7.33).

FIGURA 7.39 – SUPERFÍCIE ORIGINAL DO QUADRANTE *SE* E CURVAS DE NÍVEL DERIVADAS PARA A RESOLUÇÃO  $750M$

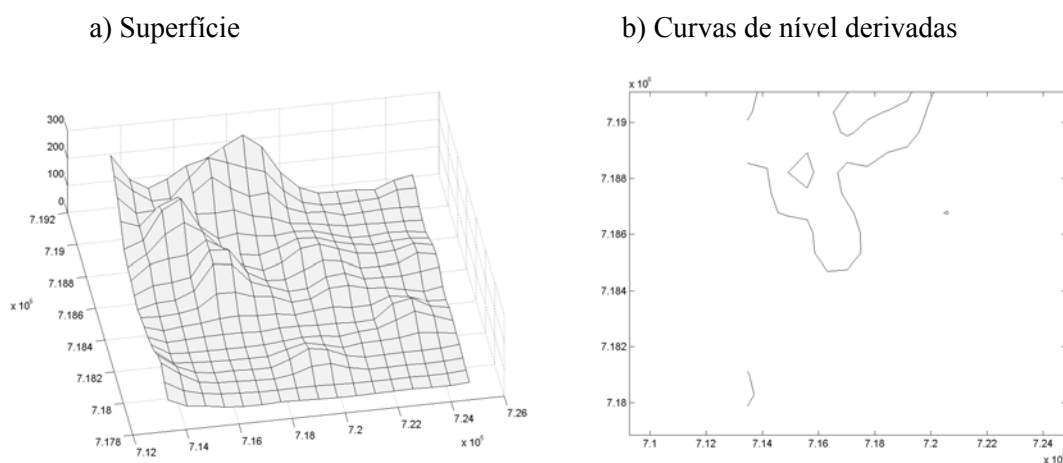
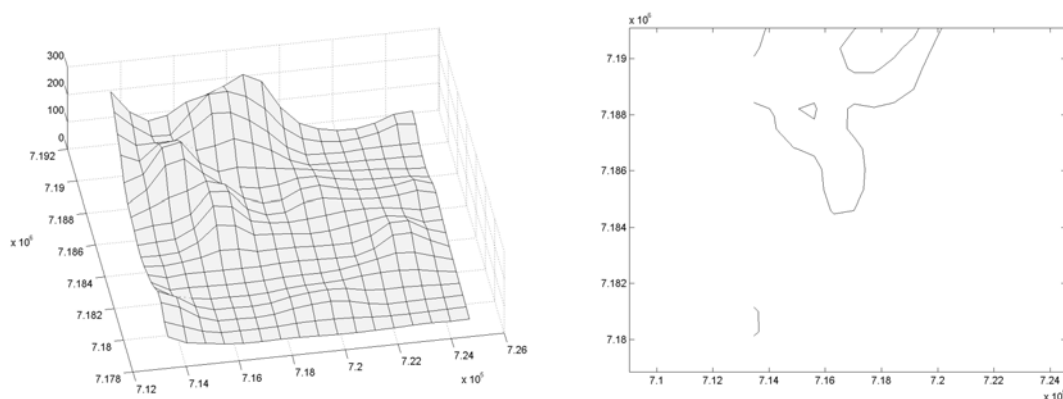


FIGURA 7.40 – SUPERFÍCIE DO QUADRANTE *SE* DERIVADA DE SUPERFÍCIE RECONSTITUÍDA E CURVAS DE NÍVEL DERIVADAS PARA A RESOLUÇÃO ORIGINAL DE  $750M$

a) Superfície

b) Curvas de nível derivadas



#### 7.4.3 Testes com Dados das Grades Totais

Os testes com aplicação do processo de remoção progressiva com controle da declividade da superfície foram realizados para as resoluções de *250m*, *500m*, *750m* e *1000m* (Tab. 7.35). Assim como para os testes com os dados dos quadrantes *NE* e *SE*, para os testes com os dados das grades retangulares totais, os valores de tolerância para uso com a função de similaridade foram obtidos do cálculo da declividade média da representação da superfície, e o valor da tolerância para a variação da frequência da declividade nas classes de declividade foi de 5% porque a superfície é composta por regiões planas e por regiões acidentadas, portanto, a região é mais heterogênea.

TABELA 7.35 – DADOS RELATIVOS AOS TESTES DAS REGIÕES TOTAIS COM REMOÇÃO PROGRESSIVA E CONTROLE DE VARIAÇÃO DE DECLIVIDADE

Resolução e região	Tolerâncias		N. it.	Porcent. de remoção				Declividade média da superfície para as iterações					Número de faces	
	$\Delta h$	Dec		It. inicial	It. final						Inicial	Final		
250total	43m	5%	4	48	41	70	58	17%	18%	14%	14%	14%	9200	2672
500total	70m	5%	2	47	40	66	54	14%	14%	7%			2444	685
750total	90m	5%	4	47	40	76	57	13%	13%	12%	11%	11%	1258	359
1000total	113m	5%	2	40	32	59	53	12%	12%	9%			624	216

Nestes testes, os números de iterações são maiores dada a ocorrência de maior variação de altitude da região representada. A porcentagem de remoção de seções normais e transversas para a primeira iteração é da ordem de 45%, comparável àquelas porcentagens de remoção observadas nos dados do quadrante *NE* (Tab. 7.32), quadrante que apresenta topografia mais acidentada. As porcentagens de remoção de seções normais e transversas finais alcançam valores de até 76% e também são valores

maiores do que os resultantes para os quadrantes *NE* e *SE*. Para os testes das grades de resolução de *250m* e *750m* ocorreram os maiores números de iteração e as maiores porcentagens de remoção, apesar de os dados de grade retangular representarem a mesma região, porém, com diferentes resoluções. Na Figura 7.41 estão apresentadas a superfície e as curvas de nível dela derivada para a grade retangular regular de resolução *250m*. Nas Figuras 7.42 e 7.43 estão apresentadas as superfícies para as iterações 1 e 4 da mesma grade retangular obtidas por reconstituição das grades irregulares resultantes. Pode-se perceber por comparação das Fig. 7.41b, 7.42b e 7.43b que o padrão de curvas de nível sofre pouca alteração que se for considerada a aplicação de redução de escala as diferenças tenderão a ser menores. Do mesmo modo, pode-se considerar as representações das superfícies original e as reconstituídas apresentadas nos itens *a* das mesmas figuras.

FIGURA 7.41 – SUPERFÍCIE E CURVAS E NÍVEL DERIVADAS DE GRADE RETANGULAR REGULAR DE RESOLUÇÃO 250M

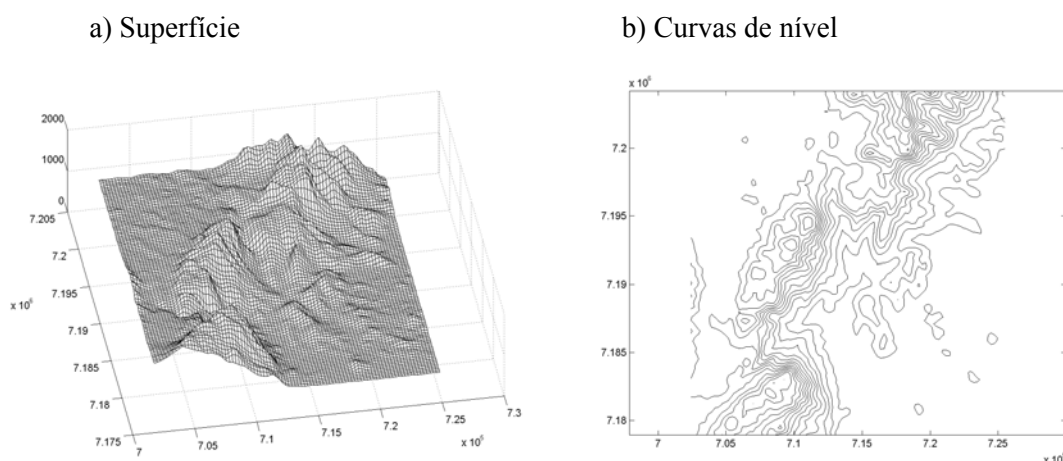


FIGURA 7.42 – SUPERFÍCIE E CURVAS E NÍVEL DERIVADAS DE GRADE RETANGULAR REGULAR DE RESOLUÇÃO 250M ITERAÇÃO 1

a) Superfície

b) Curvas de nível

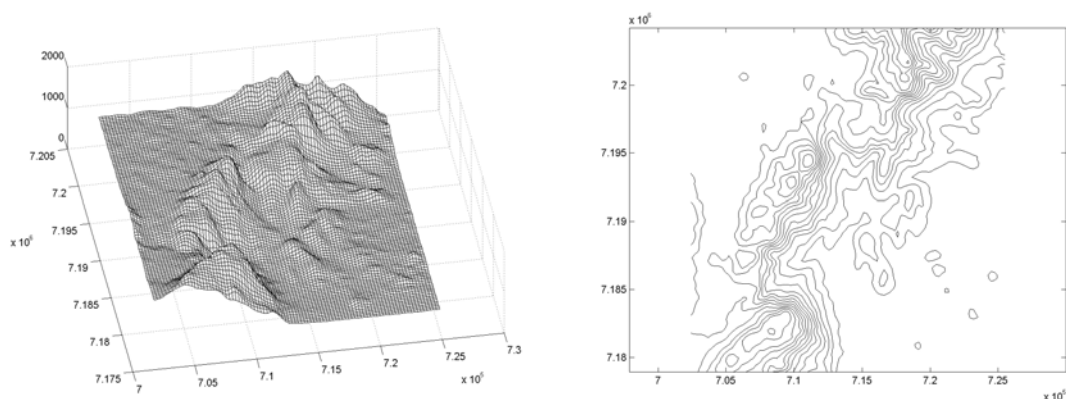
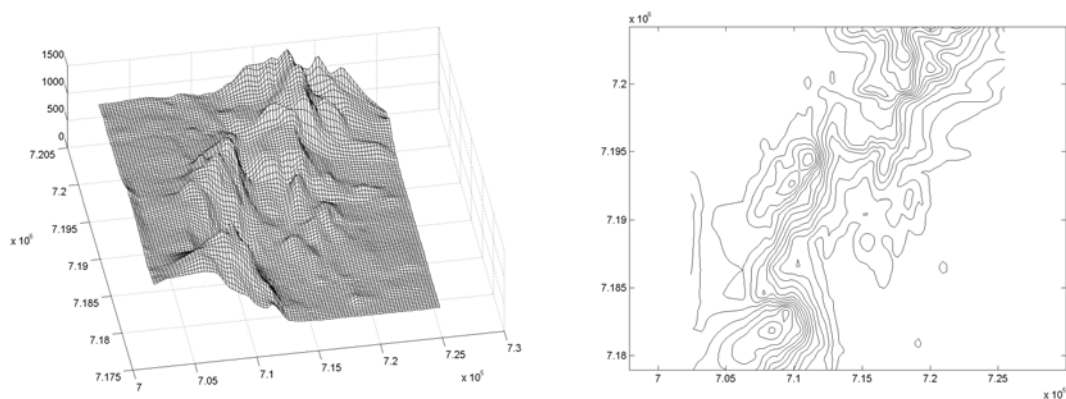


FIGURA 7.43 – SUPERFÍCIE E CURVAS E NÍVEL DERIVADAS DE GRADE RETANGULAR REGULAR DE RESOLUÇÃO 250M ITERAÇÃO 4

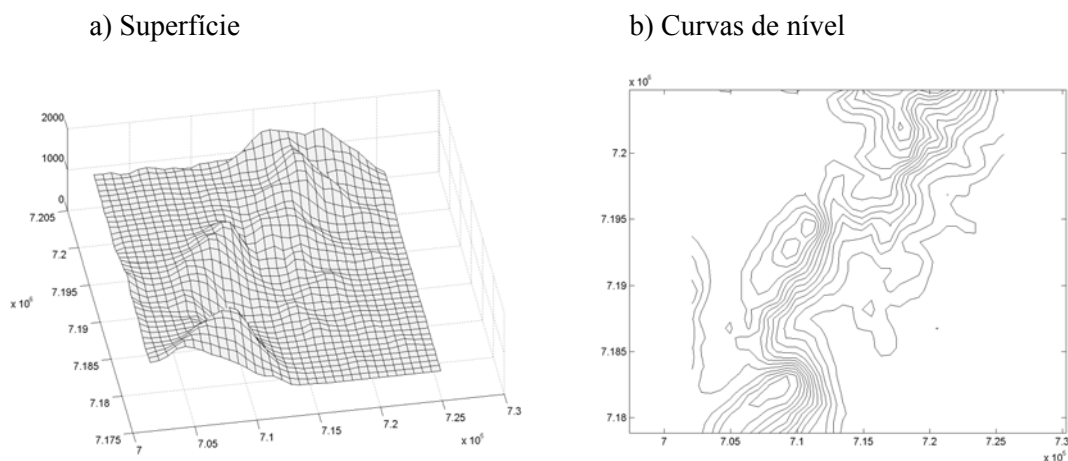
a) Superfície

b) Curvas de nível



As representações gráficas das superfícies de resoluções 750m e 1000m, reconstituídas das grades retangulares irregulares produzidas pelo processo iterativo de remoção progressiva, apresentam regiões planas artificiais, no entanto, para a primeira iteração estes efeitos não são detectados. A superfície original representada pela grade retangular regular de resolução 750m e suas curvas de nível derivadas são apresentadas na Figura 7.44. A superfície derivada da grade retangular regular obtida da reconstituição de grade irregular produzida na primeira iteração do processo de remoção progressiva é mostrada na Figura 7.45a e as curvas de nível são mostradas no item b da mesma figura. Para a segunda e última iteração pode-se perceber que aparecem planos artificiais e as curvas de nível derivadas já apresentam diferenças significativas (Fig. 7.46).

FIGURA 7.44 – SUPERFÍCIE E CURVAS E NÍVEL DERIVADAS DE GRADE RETANGULAR REGULAR DE RESOLUÇÃO 750M



A deterioração da representação da superfície deve-se à ação do processo de remoção progressiva porque está usando valores inapropriados de tolerância para desnível e para variação de frequência de declividade. Os planos inclinados e os platôs surgem porque apenas as seções verticais muito dissimilares restaram após a aplicação da remoção progressiva e neste caso especificamente restam seções com partes com pequena declividade.

FIGURA 7.45 – SUPERFÍCIE E CURVAS E NÍVEL DERIVADAS DE GRADE RETANGULAR REGULAR DE RESOLUÇÃO 750M ITERAÇÃO 1

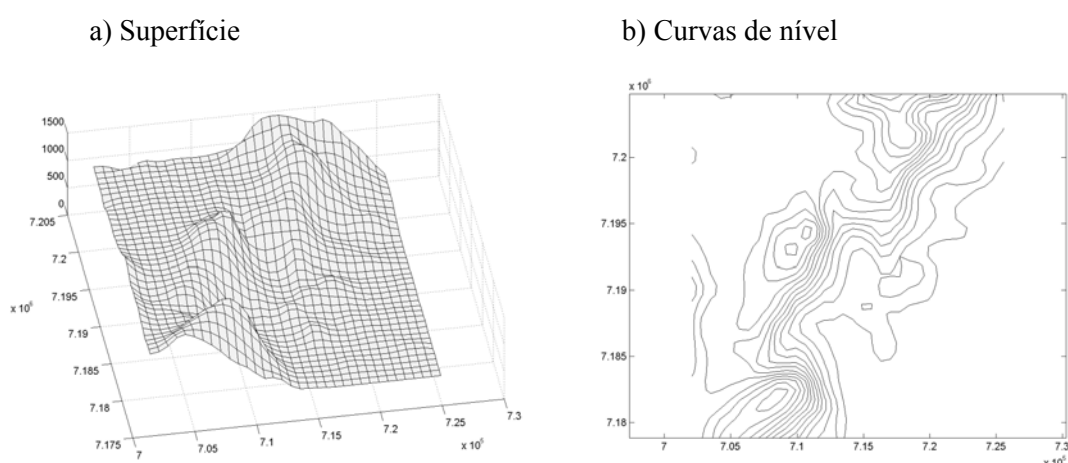
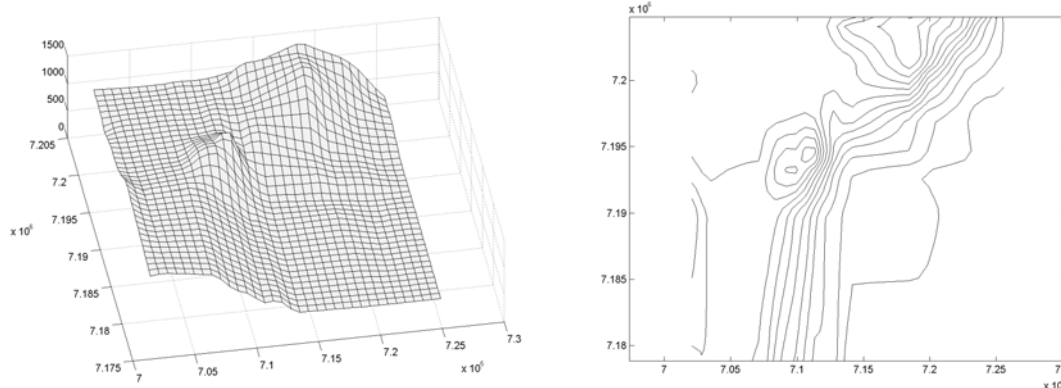


FIGURA 7.46 – SUPERFÍCIE E CURVAS E NÍVEL DERIVADAS DE GRADE RETANGULAR REGULAR DE RESOLUÇÃO 750M ITERAÇÃO 4

a) Superfície

b) Curvas de nível



Os testes realizados com as grades totais mostraram que o processo de remoção progressiva com tolerância para desnível baseada no valor correspondente da declividade média foram bem sucedidos na primeira iteração. Para a segunda iteração alguns testes foram eficientes e para aqueles testes com mais de duas iterações os resultados mostraram que a superfície foi modificada em excesso porque ficou descaracterizada.

Com estes experimentos pode-se concluir que o método da remoção progressiva é altamente dependente do valor de tolerância para desníveis, e além disso os resultados produzidos são dependentes da avaliação do cartógrafo que realiza a operação de generalização.

## 7.5 SÍNTESE DOS EXPERIMENTOS

Para avaliar o comportamento da aplicação dos conceitos da TMC às grades retangulares regulares totais, os valores de entropia, equivocação, informação útil e os números de similaridades detectadas foram observados e analisados em testes que apenas o valor da tolerância foi modificado. Os testes foram realizados com apenas uma iteração para cada valor de tolerância. Com estes testes foi possível comprovar que com a redução do valor da tolerância ocorre a redução no número de similaridades. Nestes testes foram usados os valores de tolerância entre *200m* e *1m*. A utilização do valor *200m* implicou no surgimento de muitas similaridades e no menor valor de informação útil dentre estes testes. Para a tolerância dos desníveis com valor *1m* as grades retangulares de maior resolução, isto é, grades retangulares com seções

mais próximas entre si, apresentaram similaridades comprovando que as maiores resoluções apresentavam maiores detalhes do terreno. Conclui-se que o valor de tolerância tem relação direta com a detecção de similaridades com o valor da entropia resultante.

No segundo experimento detectou-se que a variação da orientação das seções verticais paralelas do terreno influi na ocorrência de similaridades. Diferentes valores de orientação para as seções verticais paralelas do terreno implicaram em diferentes valores de ocorrência de similaridades, equivocação e informação útil. Nos testes de orientação da grade foi possível perceber que a taxa de remoção de seções foi maior para as grades retangulares com orientação entre  $30^\circ$  e  $45^\circ$  em todas as resoluções para o valor da tolerância de  $10m$  (Tab. 7.7) e de  $20m$  (Tab. 7.8). Quando o valor de tolerância foi maior, como por exemplo  $60m$ , a influência da orientação da grade foi menos evidente.

Os testes com as grades retangulares regulares totais foram realizados com variação da tolerância com todas as resoluções. A detecção de similaridades e a resolução são diretamente proporcionais, isto é, quanto menor a resolução tanto menor a detecção de similaridades entre pares de seções para um mesmo valor de tolerância. Ocorre a deterioração da representação quando os valores de tolerância são altos para grades de resoluções menores, como mostrado na Figura 7.21 para a grade retangular regular de resolução  $1000m$  e tolerância de valor  $80m$ . Em grades retangulares regulares que representam regiões acidentadas e também regiões suaves o processo de remoção progressiva é mais lento e portanto ocorrem mais iterações. Para relevo pouco acidentado, como é o caso do quadrante *SE*, a ocorrência de similaridades é grande, o que implica em maior remoção de seções verticais paralelas do terreno. Como o processo de remoção progressiva é iterativo ocorre a remoção excessiva de seções quando o valor da tolerância é alto, o que pode deteriorar a representação da superfície pela introdução de planos artificiais, como é o caso extremo mostrado na Figura 7.33. A atuação do processo de remoção progressiva é interrompida pela “falta” de seções similares, isto quer dizer que, as determinações de similaridade entre as seções remanescentes sempre resulta nula ou apenas uma seção adjacente apresenta

grau de similaridade diferente de zero e que por proposição do método é preservada. Os valores de tolerância utilizados para os testes com as grades retangulares regulares foram estabelecidos de modo a se estudar o processo de remoção progressiva. O processo de remoção progressiva foi considerado eficiente, no entanto, é dependente do valor de tolerância para o desnível a ser usado na avaliação da similaridade entre pares de seções.

A declividade média das faces dos elementos da grade foi utilizada como recurso para a determinação do valor da tolerância entre desníveis no último experimento proposto. As declividades médias das faces da grade retangular regular foram calculadas e distribuídas em classes para a grade original e, a cada processamento das seções normais e das seções transpostas, as declividades médias foram calculadas e distribuídas nas mesmas classes da grade original. A detecção de variações maiores do que o valor de tolerância para variação de frequência de declividade foi usada como critério de término do processo iterativo de remoção progressiva.

Os resultados dos testes com as grades retangulares regulares totais e com as grades retangulares regulares dos quadrantes *NE*, *NO*, *SE* e *SO*, cujo valor de tolerância para desnível corresponde ao valor da declividade média da superfície, mostraram que esta abordagem proporciona rápida remoção de seções e não produz deterioração da representação da superfície. Para os testes do quadrante *NE* o processo de remoção progressiva proporcionou aumento da declividade média e taxa remoção de seções verticais da ordem de 36% a 58% na última iteração. O controle da variação da frequência das declividades das faces proporcionou bons resultados para os testes com baixo número de iterações. Para a região representada no quadrante *SE*, caracterizada por baixas altitudes de por ser de relevo suave se comparada ao quadrante *NE*, os testes resultaram em taxas de remoção com valores entre os limites de 21% e 42% para a última iteração, porque o valor da declividade média para esta região é baixo. Para as grades retangulares totais os testes mostraram que a remoção para a primeira iteração já foi da ordem de 45%, e para as iterações seguintes

aumentou, até que na última iteração chegou a 76%, ocasionando a deterioração da superfície pelo surgimento de planos e cristas artificiais. A partir dos testes com remoção progressiva e controle de variação de frequência de declividade conclui-se que apenas uma iteração já proporciona redução de dados de modo a não descaracterizar a superfície. A suavização da superfície é ocorre quando se aplica o processo de remoção progressiva e a redução da declividade média da superfície também é esperada visto que a remoção de dados tende a aplanar a superfície.