

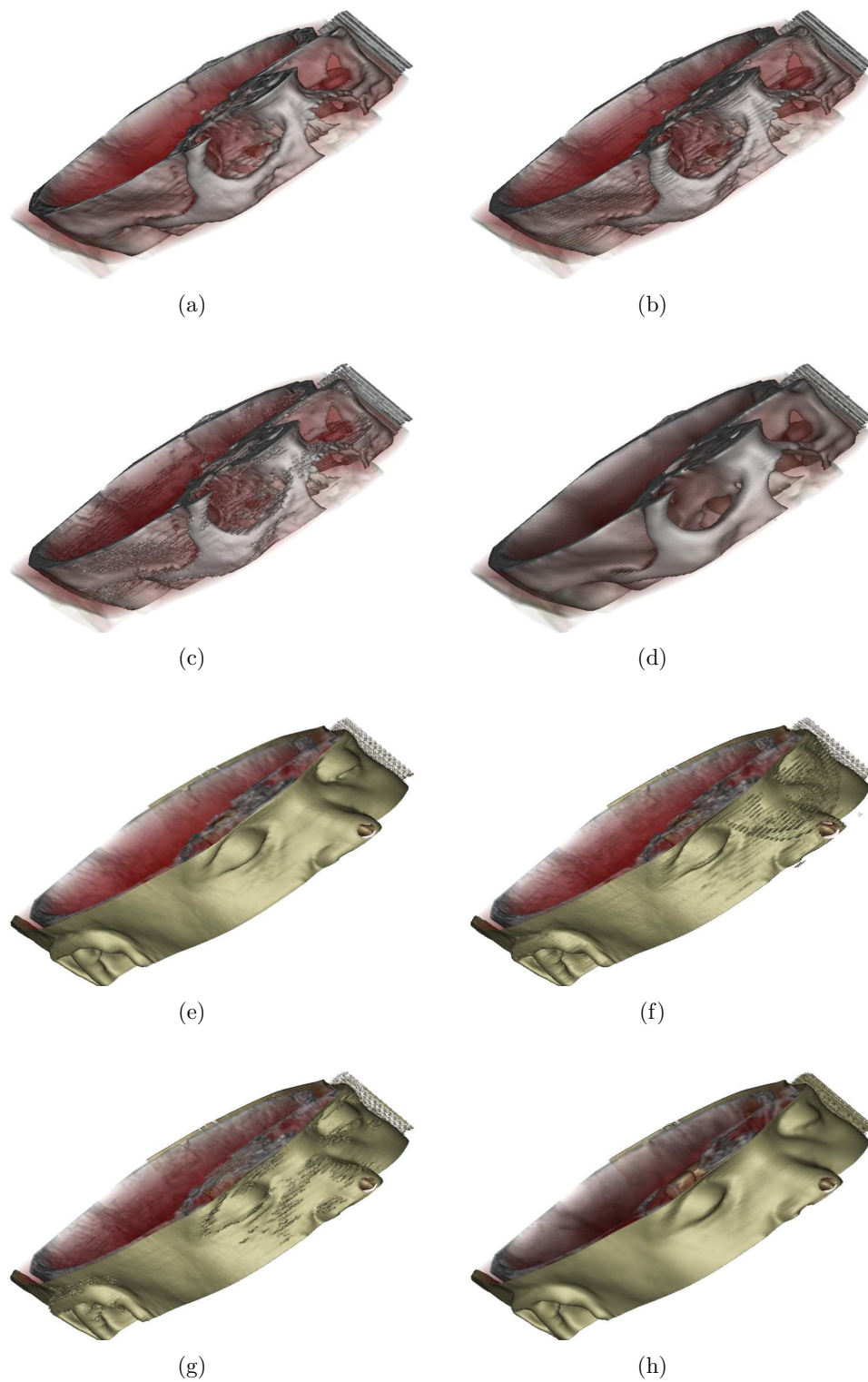


Figura 6.17: (a), (b), (c) e (d) Resultados obtidos para a estrutura óssea do segundo paciente. (e), (f), (g) e (h) resultados para o tecido da face desse paciente. Os métodos apresentados são: linear, Goshtasby e outros [1], prolongamento de linhas e transporte e difusão, respectivamente.

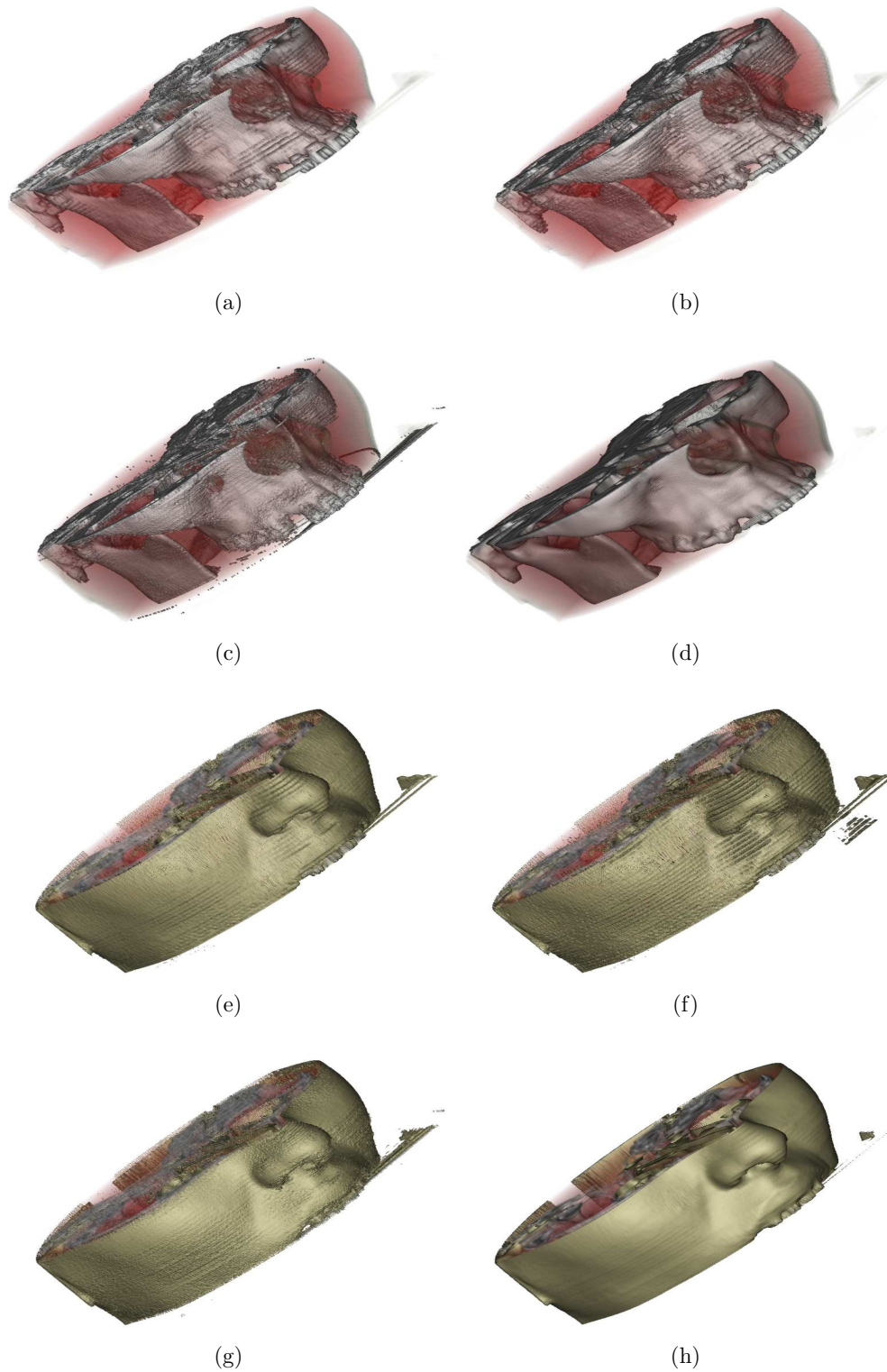


Figura 6.18: (a), (b), (c) e (d) Resultados obtidos para a estrutura óssea do terceiro paciente. (e), (f), (g) e (h) resultados para o tecido da face desse paciente. Os métodos apresentados são: linear, Goshtasby e outros [1], prolongamento de linhas e transporte e difusão, respectivamente.

6.5.2 – Análise das medidas de similaridade entre as imagens

Quatro critérios são utilizados nas comparações, conforme explicado na descrição do experimento padrão. O primeiro deles é a análise visual que foi apresentada na seção anterior deste capítulo. Os dois critérios seguintes, a correlação estatística e a PSNR, obtidas da comparação das imagens em 2D dos conjuntos de dados, são mostrados nessa seção e, finalmente, a distância de Hausdorff obtida da imagem em 3D que é apresentada na seção seguinte.

O mesmo conjunto de dados do teste para a análise visual foi utilizado para o cálculo da correlação estatística e da PSNR entre a estrutura real e as fatias virtuais correspondentes geradas por cada um dos métodos. A fatia virtual gerada na posição central entre cada par de fatias reais, após a remoção de 50% das fatias reais representa a fatia real removida do conjunto original. A comparação é realizada entre essas duas fatias, a virtual do centro do conjunto e a real removida do conjunto, possibilitando obter a medida numérica da correlação estatística e da PSNR de cada método e, conseqüentemente, uma classificação numérica da efetividade de cada método.

6.5.3 – Primeiro conjunto de dados

Para o primeiro conjunto de dados de um exame de TC composto por 52 fatias, foram consideradas somente as 24 fatias reais com número ímpar, e as fatias de número par foram retiradas do conjunto. Assim foram geradas 105 fatias virtuais, cinco fatias entre cada par de fatias reais. Nesse teste, a terceira fatia virtual das cinco geradas, deve ser a mais semelhante possível com a fatia par correspondente removida inicialmente. Os parâmetros utilizados para o transporte e difusão foram os mesmos da análise visual apresentada anteriormente neste capítulo.

A Tabela 6.2 apresenta os resultados da correlação estatística e da PSNR obtidos para algumas das fatias do conjunto escolhidas aleatoriamente. Os resultados para cada um dos quatro métodos implementados estão apresentados nas colunas, sendo duas colunas para cada método. Na primeira coluna de cada método estão a correlação estatística

(C.E.) e na segunda a PSNR.

Tabela 6.2: Resultados da correlação estatística (C.E.) e da PSNR para os quatro métodos implementados utilizando-se o primeiro conjunto de dados.

	Transporte e Difusão		Prolongamento de Linhas		Linear		Goshtasby e Outros	
Fatias	C.E.	PSNR (dB)	C.E.	PSNR (dB)	C.E.	PSNR (DB)	C.E.	PSNR (DB)
3	0.9735	+29.721	0.9456	+26.572	0.9732	+29.682	0.9669	+28.776
5	0.9615	+27.620	0.9227	+24.618	0.9672	+28.307	0.9526	+26.759
7	0.9434	+25.371	0.8926	+22.561	0.9468	+25.640	0.9402	+25.147
9	0.9653	+26.915	0.9255	+23.593	0.9677	+27.223	0.9629	+26.641
11	0.9736	+28.212	0.9479	+25.187	0.9752	+28.480	0.9718	+27.928
13	0.9822	+30.030	0.9636	+26.949	0.9822	+30.082	0.9783	+29.226
15	0.9893	+32.456	0.9773	+29.155	0.9889	+32.337	0.9854	+31.126
17	0.9849	+30.970	0.9692	+27.865	0.9840	+30.749	0.9803	+29.842
19	0.9878	+31.887	0.9741	+28.680	0.9878	+31.925	0.9845	+30.894
21	0.9888	+32.583	0.9752	+29.108	0.9883	+32.388	0.9859	+31.590
23	0.9893	+32.687	0.9764	+29.281	0.9889	+32.581	0.9853	+31.352
25	0.9892	+32.630	0.9783	+29.678	0.9888	+32.552	0.9862	+31.665
27	0.9883	+32.489	0.9699	+28.385	0.9876	+32.289	0.9847	+31.359
29	0.9835	+31.055	0.9576	+26.975	0.9822	+30.770	0.9789	+30.033
31	0.9807	+30.342	0.9571	+26.917	0.9801	+30.263	0.9767	+29.586
33	0.9803	+30.327	0.9527	+26.582	0.9796	+30.228	0.9760	+29.538
35	0.9698	+28.678	0.9363	+25.427	0.9688	+28.552	0.9656	+28.141
37	0.9835	+31.363	0.9556	+27.087	0.9830	+31.272	0.9783	+30.220
39	0.9875	+32.525	0.9700	+28.774	0.9872	+32.480	0.9826	+31.162
41	0.9886	+32.856	0.9740	+29.330	0.9883	+32.818	0.9840	+31.466
43	0.9886	+32.816	0.9750	+29.435	0.9883	+32.755	0.9844	+31.525
45	0.9848	+31.444	0.9650	+27.855	0.9843	+31.345	0.9802	+30.343
47	0.9805	+30.212	0.9576	+26.874	0.9796	+30.056	0.9751	+29.200
49	0.9757	+29.098	0.9483	+25.785	0.9743	+28.845	0.9688	+28.006
51	0.9661	+27.015	0.9343	+24.126	0.9669	+27.115	0.9605	+26.357

Pode-se observar na Tabela 6.2 que o método de transporte e difusão proposto neste trabalho apresenta um valor de correlação estatística e PSNR melhor do que o método de Goshtasby e outros [1]. Pode-se verificar nessa tabela que o método de transporte e difusão, principalmente na medida do PSNR, apresenta em alguns casos valores ligeiramente menores que o de método da interpolação linear. Pode-se explicar essa ligeira redução do valor da correlação estatística e da PSNR porque o método de transporte e difusão promove uma suavização geral da estrutura e, mesmo mantendo os contornos preservados, a textura das fatias fica levemente alterada em relação à fatia original. Essa suavização, é resultado da aplicação de um filtro passa-baixa na imagem e com isso reduz os valores das medidas efetuadas. Entretanto, esse método ainda obtém melhores valores do que o método de interpolação linear em diversos casos, demonstrando a sua efetividade apesar

da suavização realizada.

O método de interpolação linear determina para as fatias virtuais uma média ponderada entre as fatias reais que as envolvem. Isso considerando o fato que poucas alterações são notadas entre cada fatia consecutiva, justifica o alto valor de correlação estatística encontrado. Entretanto, como pode-se observar na Figura 6.16, os valores da correlação estatística ligeiramente maior em alguns poucos casos não significa que a estrutura gerada pela interpolação linear tenha melhores contornos do que a gerada pelo método de transporte e difusão.

6.5.4 – Segundo conjunto de dados

Neste teste, foi utilizado um conjunto de dados de um exame de TC composto por 52 fatias distanciadas de 2 mm, dessas fatias, foram consideradas somente as 26 fatias reais com número ímpar e foram retiradas do conjunto as fatias de números par.

Assim foram geradas 225 fatias virtuais, nove fatias entre cada par de fatias reais. Nesse teste, a quinta fatia virtual das nove geradas, deve ser a mais semelhante possível com a fatia par correspondente que foi removida inicialmente.

Devido aos resultados ruins apresentados pelo método de prolongamento de linhas, a partir deste teste as medidas são realizadas apenas com os outros dois métodos implementados e o método de transporte e difusão de informações.

A Tabela 6.3 apresenta os resultados da correlação estatística obtida para as fatias do conjunto. Pode-se observar nessa tabela que o método de transporte e difusão, mais uma vez, apresenta valores de correlação estatística e PSNR melhores do que o método de Goshtasby e outros [1], embora, em alguns casos, apresente valores ligeiramente menores do que o do método de interpolação linear. As mesmas justificativas do teste anterior se aplicam a esse segundo teste.

Tabela 6.3: Resultados da correlação estatística (C.E.) e da PSNR para os três melhores métodos implementados utilizando-se o segundo conjunto de dados.

	Transporte e Difusão		Linear		Goshasby e Outros	
Fatias	C.E.	PSNR (DB)	C.E.	PSNR (DB)	C.E.	PSNR (DB)
2	0.9756	+27.219	0.9757	+27.277	0.9604	+25.240
4	0.9700	+25.654	0.9701	+25.709	0.9556	+24.109
6	0.9645	+24.899	0.9642	+24.904	0.9511	+23.598
8	0.9725	+26.351	0.9722	+26.323	0.9591	+24.683
10	0.9728	+26.815	0.9725	+26.808	0.9586	+25.095
12	0.9799	+28.836	0.9797	+28.820	0.9670	+26.737
14	0.9896	+32.059	0.9896	+32.095	0.9750	+28.305
16	0.9914	+33.126	0.9914	+33.172	0.9748	+28.528
18	0.9898	+32.490	0.9900	+32.558	0.9740	+28.422
20	0.9871	+31.250	0.9872	+31.367	0.9692	+27.598
22	0.9874	+31.340	0.9873	+31.344	0.9744	+28.307
24	0.9792	+28.868	0.9790	+28.897	0.9639	+26.581
26	0.9875	+31.040	0.9875	+31.060	0.9720	+27.614
28	0.9869	+31.012	0.9868	+31.006	0.9709	+27.595
30	0.9912	+32.719	0.9919	+33.099	0.9744	+28.140
32	0.9930	+33.618	0.9931	+33.726	0.9768	+28.512
34	0.9947	+34.673	0.9956	+35.641	0.9800	+29.097
36	0.9937	+33.895	0.9955	+35.430	0.9790	+28.807
38	0.9634	+26.290	0.9941	+34.169	0.9753	+27.988
42	0.9890	+30.928	0.9899	+31.347	0.9769	+27.787
44	0.9851	+29.299	0.9857	+29.570	0.9753	+27.211
46	0.9796	+27.813	0.9821	+28.425	0.9748	+26.949
48	0.9835	+28.323	0.9822	+28.070	0.9738	+26.467

6.5.5 – Terceiro conjunto de dados

Para um conjunto de dados de um exame de TC composto por 47 fatias, foram retiradas três fatias reais, duas pares e uma ímpar, ficando no conjunto de testes apenas 11 fatias. A distância entre as fatias reais que anteriormente era de 1 mm, passou a ser de 4 mm. A fatia virtual gerada no centro do conjunto entre duas fatias reais deve ser semelhante à fatia ímpar retirada do conjunto. Assim, são geradas 125 fatias virtuais, cinco fatias entre cada par de fatias reais.

A Tabela 6.4 apresenta os resultados da correlação estatística e da PSNR obtidos para as fatias do conjunto. Pode-se observar que os resultados são mais uma vez, semelhantes aos testes para o primeiro e segundo conjuntos de dados utilizados neste trabalho.

Pode-se observar nas comparações numéricas dos testes realizados que quanto maior

Tabela 6.4: Resultados da correlação estatística (C.E.) e da PSNR para os métodos implementados.

	Transporte e Difusão		Linear		Goshasby e Outros	
Fatias	C.E.	PSNR (DB)	C.E.	PSNR (DB)	C.E.	PSNR (DB)
2	0.9600	+26.665	0.9597	+26.662	0.9474	+25.583
4	0.9758	+29.010	0.9755	+28.985	0.9630	+27.211
6	0.9771	+28.922	0.9769	+28.905	0.9584	+26.393
8	0.9774	+28.561	0.9772	+28.559	0.9563	+25.825
10	0.9707	+27.271	0.9705	+27.277	0.9538	+25.394
12	0.9758	+28.192	0.9757	+28.210	0.9586	+25.972
14	0.9834	+30.202	0.9833	+30.207	0.9684	+27.472
16	0.9846	+30.953	0.9845	+30.972	0.9661	+27.657
18	0.9889	+33.072	0.9888	+33.055	0.9737	+29.318
20	0.9938	+35.634	0.9937	+35.648	0.9807	+30.807
22	0.9907	+33.818	0.9907	+33.883	0.9827	+31.272

é a distância entre as fatias, mais expressiva é a diferença entre o método proposto e os demais métodos testados. Visando analisar essa tendência de superioridade do método proposto para fatias distanciadas, foi realizado um novo teste.

Para um dos exames foram criados subconjuntos com 50%, 25% e 12,5% do tamanho original, mantendo sempre constante o afastamento entre as fatias em cada um dos subconjuntos. O objetivo dessa diferença de quantidade de informações entre os subconjuntos é medir a eficácia do método quando diminui-se a quantidade de fatias para representar uma mesma estrutura.

As Figuras 6.19 e 6.20 mostram as imagens resultantes da interpolação linear na primeira coluna, Gohstasby et al. [1] na segunda coluna e do método de transporte e difusão na terceira. Nesse exame de TC, as fatias estão afastadas em 1 mm. Neste teste, os parâmetros para as equações de transporte e difusão são: $M = 25$; $M_t = 3$; $M_d = 10$; $K_t = 0,002$; $K_d = 0,05$ e $K_g = 0,6$.

As Figuras 6.19 (a) a (c) e 6.20 (a) a (b) mostram os resultados obtidos utilizando somente as fatias de números pares do conjunto de dados original. Neste caso, o conjunto de dados foi reduzido em 50% e a nova distância entre as duas fatias reais adjacentes passou a ser de 2 mm. Em vista disso, e considerando-se a Equação 6.11, foi necessário gerar 5 fatias virtuais entre duas fatias reais adjacentes.

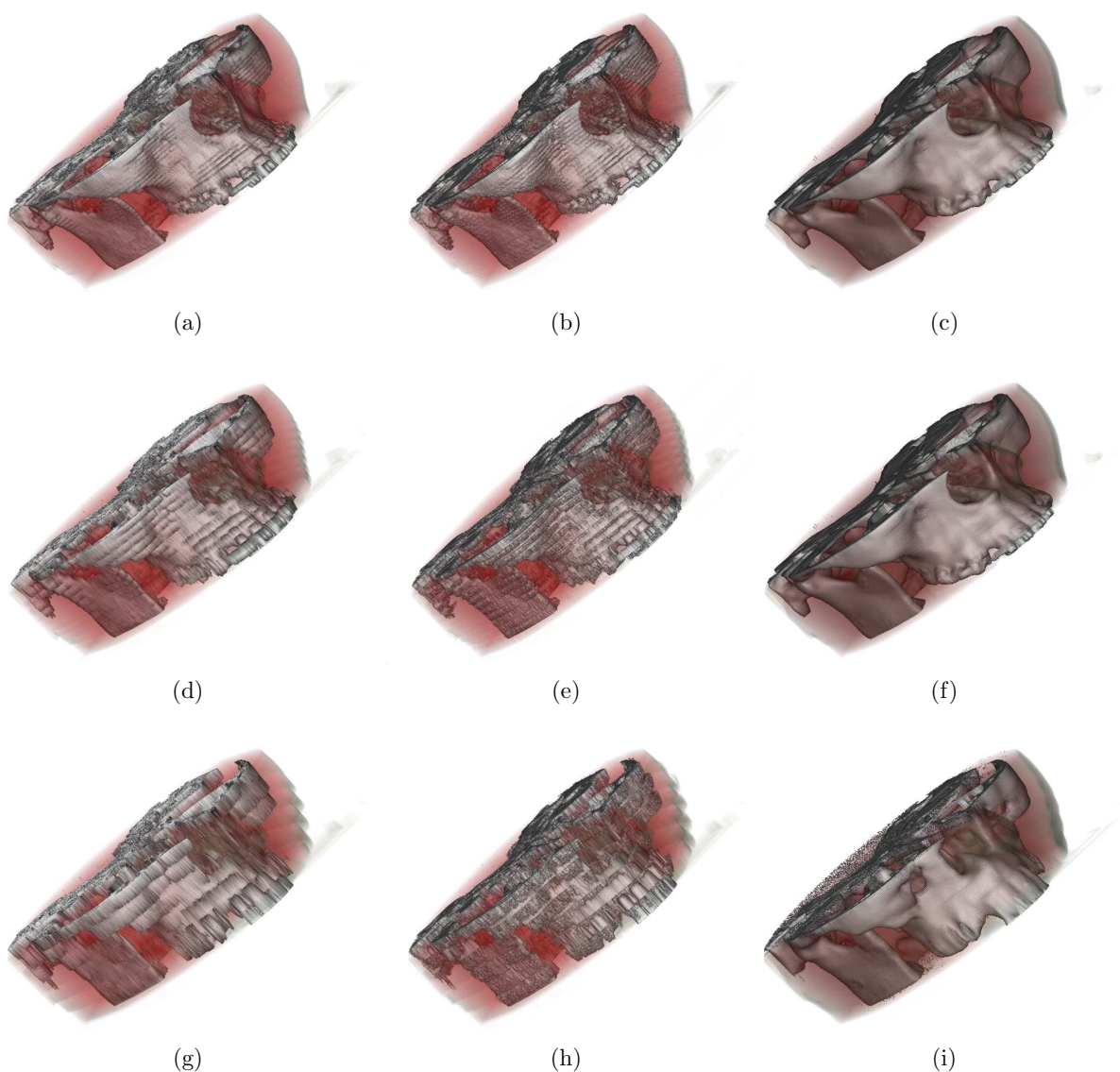


Figura 6.19: A primeira coluna mostra o resultado obtido pelo método de interpolação linear, na segunda coluna o resultado obtido do método de Goshtasby et al. e na terceira coluna o resultado obtido do método proposto. (a), (b) e (c) 26 fatias reais distancias de 2mm uma das outra; (d), (e) e (f) 13 fatias reais distanciadas de 4mm e (g), (h) e (i) 7 fatias reais distanciadas de 8mm.

Pela análise visual pode-se observar que os três métodos fornecem uma visualização satisfatória com 50% das fatias do exame. Entretanto, o método de transporte e difusão apresenta contornos mais suaves e precisos, tanto para as estruturas ósseas quanto para a visualização do rosto.

As Figuras 6.19 (d) a (f) e 6.20 (d) a (f) mostram os resultados após a remoção das

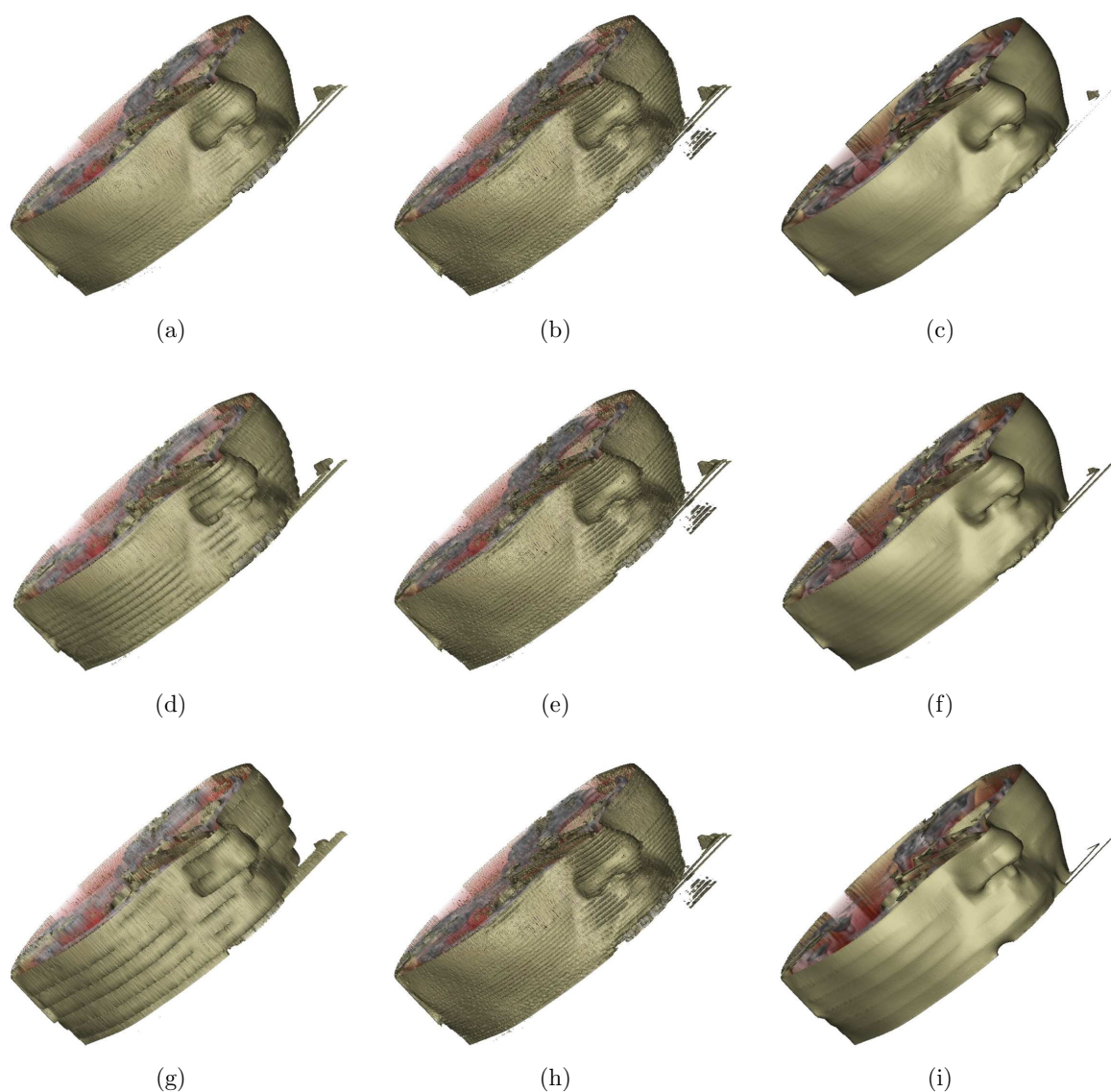


Figura 6.20: A primeira coluna mostra o resultado pelo método de interpolação linear, na segunda coluna o resultado obtido pelo método de Goshtasby et al. e a segunda coluna ilustra o resultado do método proposto. Em (a), (b) e (c) 26 fatias reais distancias de 2mm uma das outras; (d), (e) e (f) 13 fatias reais distanciadas de 4mm e (g), (h) e (i) 7 fatias reais distanciadas de 8mm.

três fatias reais a cada conjunto de quatro fatias reais do conjunto original. Neste caso, o conjunto de dados foi reduzido a 25% do tamanho original e a nova distância entre cada fatia real adjacente passou a ser de 4 mm, necessitando então de 11 fatias virtuais entre duas fatias reais adjacentes.

Com esse conjunto de dados, a visualização em 3D utilizando-se as treze fatias reais

e as fatias virtuais interpoladas pelo método proposto ainda é satisfatória. O mesmo não acontece usando-se a interpolação pelos outros dois métodos (ver as Figuras 6.19 (d) e (e) e 6.20 (d) e (e)).

As Figuras 6.19 (e) a (f) e 6.20 (e) a (f) mostram os resultados após a remoção de sete fatias reais a cada conjunto de oito fatias reais do conjunto original. Neste caso, o conjunto de dados foi reduzido a 12,5% do tamanho original e a nova distância entre as duas fatias reais adjacente passou a ser de 8 mm, necessitando então de 24 fatias virtuais entre as duas fatias reais adjacente.

Pode-se observar nessas figuras que apesar da baixa qualidade do produto resultante, o método proposto ainda permite o reconhecimento da estrutura, enquanto os outros métodos não permitem sequer o reconhecimento da estrutura.

O gráfico apresentado na Figura 6.21 mostra o resultado da comparação dos três métodos, e para a imagem do processo de transporte e difusão, as comparações foram realizadas com a imagem original suavizada. O objetivo da suavização é tornar o processo de comparação da correlação estatística e da PSNR mais adequado a esses dois diferentes domínios.

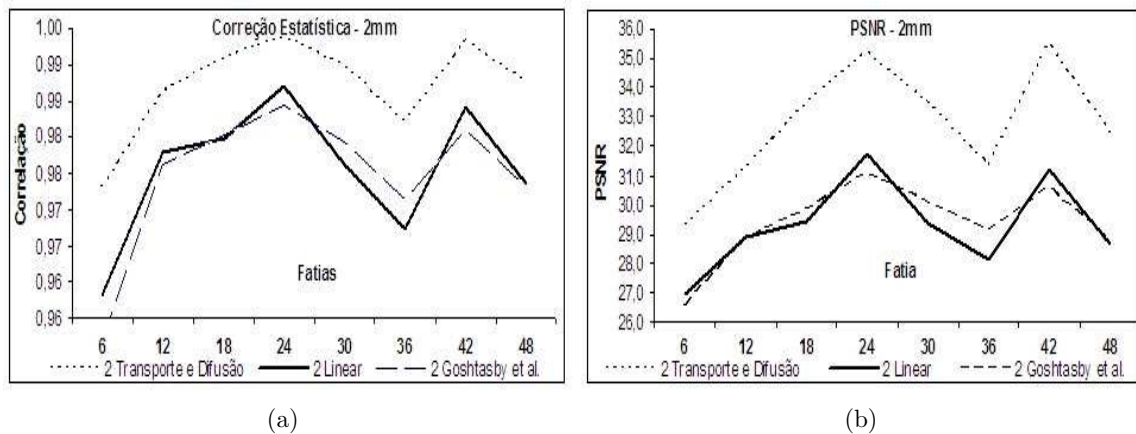


Figura 6.21: (a) medidas de correlação estatística para os métodos linear, Goshtasby e outros [1] e transporte e difusão; (b) medidas da PSNR para os mesmos métodos.

Pode-se observar na Figura 6.21 a grande superioridade do método de transporte e difusão constatada na análise visual e também na comparação numérica. Esse método foi

superior em todos os testes realizados.

Esse teste confirma que o método de transporte e difusão é, à medida que as fatias se tornam-se mais distanciadas umas das outras, superior aos outros métodos testados.

6.5.6 – Análise das medidas da distância de Hausdorff

A distância de Hausdorff [2] pode ser utilizada para descrever a distância entre os pontos gerados por dois conjuntos de dados, neste trabalho, essa distância é entre duas imagens em 3D.

As imagens em 3D utilizadas para essa comparação são geradas a partir do experimento descrito e realizado no Sub-Item 6.5.2 deste capítulo. Nesse teste, uma fatia real foi retirada do conjunto e uma fatia virtual foi gerada para substituí-la. Desta forma, a partir das fatias reais retiradas do conjunto para o experimento, pode-se formar a imagem em 3D original que serve de referência para as comparações. Por outro lado, as fatias virtuais correspondentes às fatias reais retiradas compõem a imagem em 3D a ser comparada com a imagem original. Cada um dos métodos implementados gera uma imagem em 3D distinta e a distância de Hausdorff determina qual imagem em 3D é mais similar.

Os pontos para a realização do cálculo da distância de Hausdorff [2], foram obtidos a partir do processo de triangularização das imagens em 3D utilizando-se o algoritmo de Marching Cubes [37]. Os triângulos obtidos representam a superfície do tecido ósseo presente na imagem em 3D.

Para a realização do teste da distância de Hausdorff as coordenadas dos pontos foram normalizadas entre 0 e 1. Os pontos da imagem em 3D foram extraídos da estrutura original utilizando-se a função de transferência que manteve apenas a estrutura relativa à porção óssea contida na imagem em 3D original.

A Tabela 6.5 mostra para cada um dos três conjuntos de dados os resultados obtidos da distância de Hausdorff entre as imagens em 3D originais e as geradas por cada um dos quatro métodos.

Tabela 6.5: Resultados da distância de Hausdorff entre as imagens em 3D originais e as geradas pelos quatro métodos implementados.

Conjunto de Dados	Quantidade de Pontos	Método Utilizado	Distância de Hausdorff
1	559280	Linear	292.25445
		Goshtasby e Outros	294.93750
		Prolongamento de Linha	307.60189
		Transporte e Difusão	289.12715
2	1585140	Linear	525.28765
		Goshtasby e Outros	525.41533
		Prolongamento de Linha	526.50291
		Transporte e Difusão	525.32709
3	1184163	Linear	446.63966
		Goshtasby e Outros	451.95790
		Prolongamento de Linha	459.84667
		Transporte e Difusão	437.47673

Pode-se observar na Tabela 6.5 que o método de transporte e difusão apresenta melhor resultado que os outros métodos em dois experimentos e um valor próximo do melhor resultado no terceiro experimento realizado. Assim, a medida da distância de Hausdorff confirma a superioridade do método de transporte e difusão em relação aos outros métodos testados.

6.6 – Tempo de Processamento para Transporte e Difusão

Dos métodos utilizados neste trabalho, o de transporte e difusão de informações foi o que apresenta maior consumo computacional e, conseqüentemente, é o mais demorado de todos os métodos testados.

A complexidade computacional do método de transporte e difusão pode ser determinada pela observação de seu algoritmo:

Algoritmo Retoque

- 1) Ler as Entradas (u_0, M, m_t, m_d) ;
- 2) Determinar o domínio de retoque $\mathcal{D}$;
- 3) Para cada Domínio de Retoque faça
 - 4) Repita M vezes
 - 5) Repita m_t vezes o transporte, Equação (6.10);

- 6) Repita m_d vezes a difusão, Equação (5.22);
- 7) Apresentar a Imagem Retocada;

Fim Algoritmo Retoque

O passo 7 do algoritmo de transporte e difusão repete em todos os demais métodos e portanto ele não é utilizado no cálculo da complexidade. Para os demais passos desse algoritmo, pode-se determinar a complexidade pela análise da atividade que ele realiza. Se N é o tamanho do conjunto de dados, tem-se:

1. O passo 1 depende diretamente do tamanho da entrada, assim contribui com N ;
2. O passo 2 é executado uma única vez para todo conjunto de dados, assim contribui com K_1N , $K < 1$;
3. Os passos 3 e 4 estabelecem um laço de primeiro nível de tamanho máximo N , assim contribui com $K_2N(Laços_{Internos})$;
4. O passo 5 manipula uma fração do conjunto de dados, assim contribui com K_3N ;
5. O passo 6 manipula todo o conjunto de dados, assim contribui com N ;

Considerando-se todas as contribuições individuais de cada passo do conjunto pode-se obter a Equação (6.12).

$$C(Algoritmo) = N + K_1N + K_2N(K_3N + N) \quad (6.12)$$

Desenvolvendo-se a Equação (6.12), obtém-se a complexidade do algoritmo de transporte e difusão, pelas Equações (6.13) a (eq:Complx04), e finalmente a Equação (6.16).

$$C(Algoritmo) = N(1 + K_1) + K_2(K_3 + 1)N^2 \quad (6.13)$$

$$C(Algoritmo) = N^2\left(\frac{1 + K_1}{N} + K_2(K_3 + 1)\right) \quad (6.14)$$

Independente do valor de N na Equação (6.14), a expressão $\frac{1+K_1}{N}$ não afeta a complexidade computacional, podendo ser vista como uma nova constante, pois ela diminui à medida que N aumenta. Assim pode-se escrevê-la como uma nova constante K_4 . Da mesma forma a expressão $K_2(K_3 + 1)$ nessa equação pode ser escrita como uma constante K_5 . Então a complexidade do algoritmo de transporte e difusão, pode ser obtida pela Equação (6.15).

$$C(\textit{Algoritmo}) = N^2(K_4 + K_5) \quad (6.15)$$

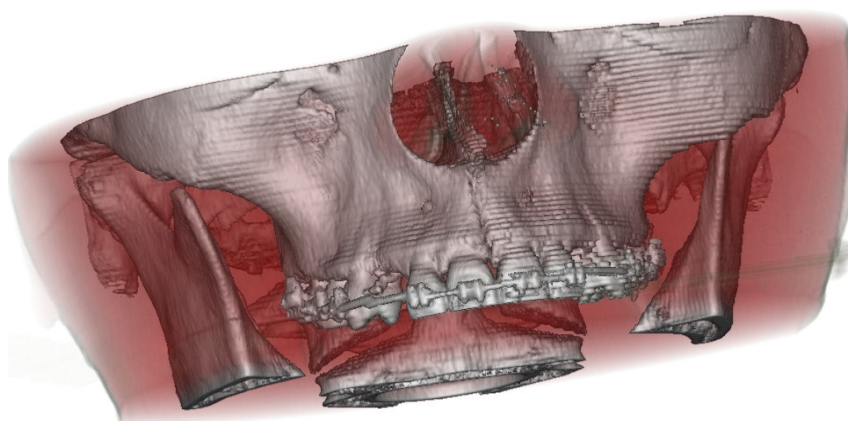
E, finalmente, pode-se concluir que a complexidade do algoritmo de transporte e difusão é quadrática, $\Theta(N^2)$, conforme mostrado pela Equação (6.16), considerando $K_6 = K_5 + K_4$.

$$C(\textit{Algoritmo}) = K_6 N^2 \quad (6.16)$$

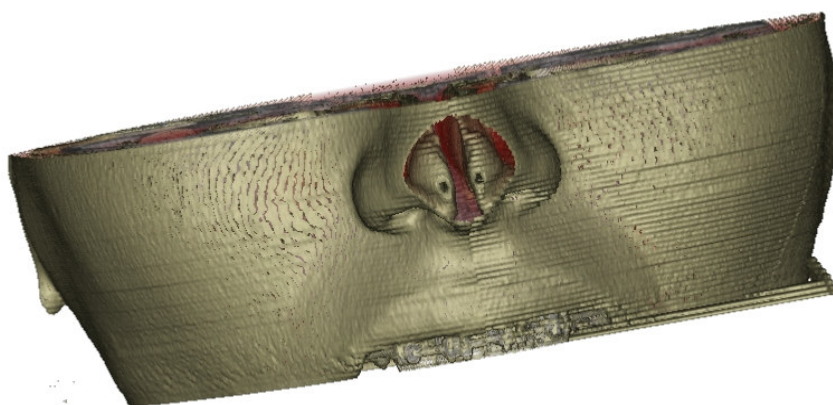
Pode-se concluir da Equação (6.16) que o tempo de processamento reduz de maneira quadrática à medida que a porção da imagem em 3D é reduzida. Isso sugere que a aplicação visualizadora, em busca de um melhor desempenho, pode oferecer ao usuário a possibilidade de aplicar o processo em regiões específicas da imagem em 3D.

A Figura 6.22 mostra o resultado da aplicação do processo de transporte e difusão em apenas 25% das informações contidas na imagem em 3D. Pode-se observar que as rugosidades na porção direita da imagem são muito mais acentuadas, pois o processo de retoque não foi aplicado nessa região. Na Figura 6.22 (a) pode-se verificar claramente nos dentes a diferença de qualidade da imagem. Na Figura 6.22 (b) pode-se observar na pele abaixo do nariz que do centro para direita a qualidade é pior do que do centro para a esquerda.

A Figura 6.23 mostra o resultado da aplicação do processo de transporte e difusão em



(a)



(b)

Figura 6.22: (a) Metade esquerda da mandíbula suavizada; (b) metade esquerda da face suavizada.

apenas 25% das informações contidas na imagem em 3D. Neste caso, foi utilizada uma distância de 10 mm entre cada fatia real. Os resultados da aplicação parcial do método de transporte e difusão somente na parte esquerda frontal da imagem em 3D, podem ser facilmente observados nessa figura. A porção da imagem que o método foi aplicado apresenta contornos mais suavizados.

A Tabela 6.6 e a Figura 6.24 mostram o tempo de execução do algoritmo de transporte e difusão para cada um dos percentuais do conjunto de dados testados. Pode-se observar nesta tabela que a diferença de tempo é bastante acentuada, mesmo em porções de tempo fixas existentes nesse algoritmo como leitura e gravação da imagem em 3D. Pode-se verificar nessa tabela que a diminuição do tempo possui um comportamento quadrático. Os

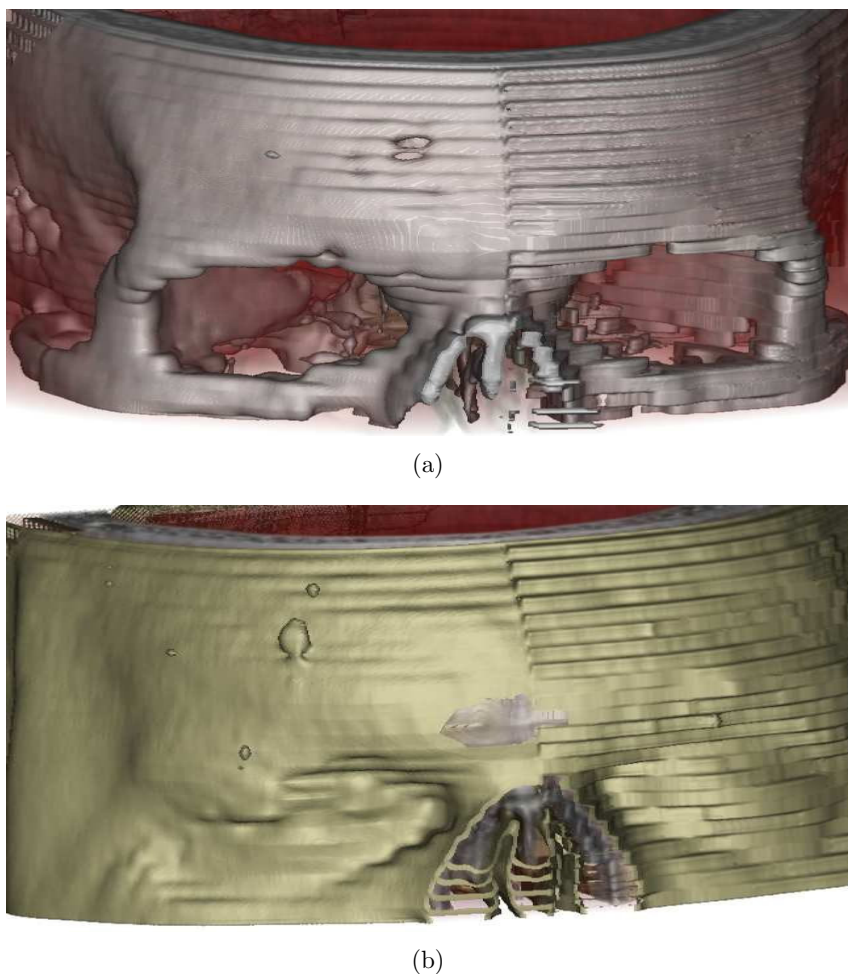


Figura 6.23: (a) Metade esquerda da mandíbula suavizada; (b) metade esquerda da face suavizada.

parâmetros utilizados no teste foram: 10 iterações totais, 3 iterações de transporte e 2 iterações de difusão para cada iteração total, além dos valores 0,002; 0,007 e 1,0 para os coeficientes de atenuação de transporte, difusão e de conservação de bordas, respectivamente.

Tabela 6.6: Tempo de execução do algoritmo de transporte e difusão para cada um dos percentuais do conjunto de dados testados.

Teste	Fatias	% dos Dados	Duração
1	152	100	06:26
2	152	50	02:45
3	152	25	01:07
4	152	12,5	00:45

A Figura 6.24 apresenta o gráfico de consumo de tempo do método de transporte e

difusão para cada um dos percentuais do conjunto de dados testados.

Pode-se observar na Figura 6.24, pela linha de tendência na cor azul, o comportamento quadrático do tempo de execução do método de transporte e difusão, conforme a complexidade algorítmica determinada na Equação (6.16) deste capítulo.

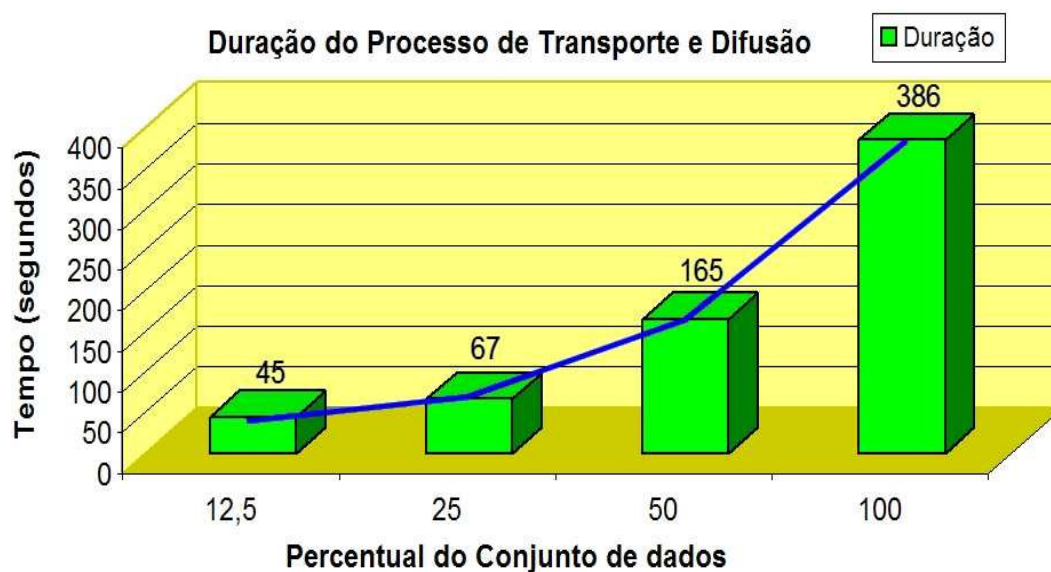


Figura 6.24: Tempo de execução do algoritmo de transporte e difusão para cada um dos percentuais do conjunto de dados testados.

Pode-se concluir da Tabela 6.6 e da Figura 6.24 que o algoritmo do método de transporte e difusão proporciona maior facilidade ao usuário. Quando ele deseja analisar porções específicas da estrutura, tem-se a possibilidade de delimitar o espaço de interpolação, que pode tornar o tempo de espera menor e conseqüentemente o processo de análise e diagnóstico mais rápido.

6.7 – Análise Visual de Outros Exames de TC

Esta Seção apresenta os resultados obtidos ao aplicar os métodos de interpolação de imagens em 3D desenvolvidos neste trabalho, o de prolongamento de linhas nas fatias transversais e o de transporte e difusão de informações, além dos outros dois métodos implementados, interpolação linear e de Goshtasby e outros [1]. O objetivo é constatar pela análise visual de outros exames de TC, que o método de transporte e difusão de

informações apresenta melhores resultados do que os outros métodos testados. Para isso, são testados mais quatro conjuntos de dados e para cada um desses, são apresentadas as imagens resultantes da aplicação desses métodos. As imagens em 3D foram formadas com apenas 50% das fatias reais do conjunto, pois nessas condições todos os métodos fornecem imagens com qualidade suficiente para a comparação visual.

Com o objetivo de analisar os resultados da aplicação dos métodos em diferentes distâncias entre as fatias reais foram utilizados conjuntos com 10 mm, 5 mm, 1,3 mm e 1 mm de distância entre as fatias reais. Os parâmetros para o método de transporte e difusão foram definidos a partir de vários testes até se obter um resultado adequado ao processo de comparação. Esses parâmetros estão apresentados em cada um dos conjuntos de dados.

As funções de transferências utilizadas para realçar o tecido ósseo e a pele do paciente foram as mesmas dos testes anteriores para permitir identificar qual método pode estar alterando os níveis de cinza em um determinado tecido.

Primeiro Conjunto

A Figura 6.25 mostra os resultados obtidos da aplicação dos quatro métodos citados anteriormente neste capítulo em um conjunto composto por 8 fatias distanciadas em 10 mm umas das outras. Nessa situação são geradas 24 fatias virtuais entre cada par de fatias reais.

A Figura 6.25 mostra os resultados do primeiro conjunto de dados. Nesse teste a distância entre cada fatia real é de 20 mm, e entre cada par de fatia real são geradas 49 fatias virtuais. Os parâmetros utilizados nesse teste no método de transporte e difusão foram: $M = 100$; $M_t = 3$; $M_d = 10$; $K_t = 0,002$; $K_d = 0,05$ e $K_g = 0,6$.

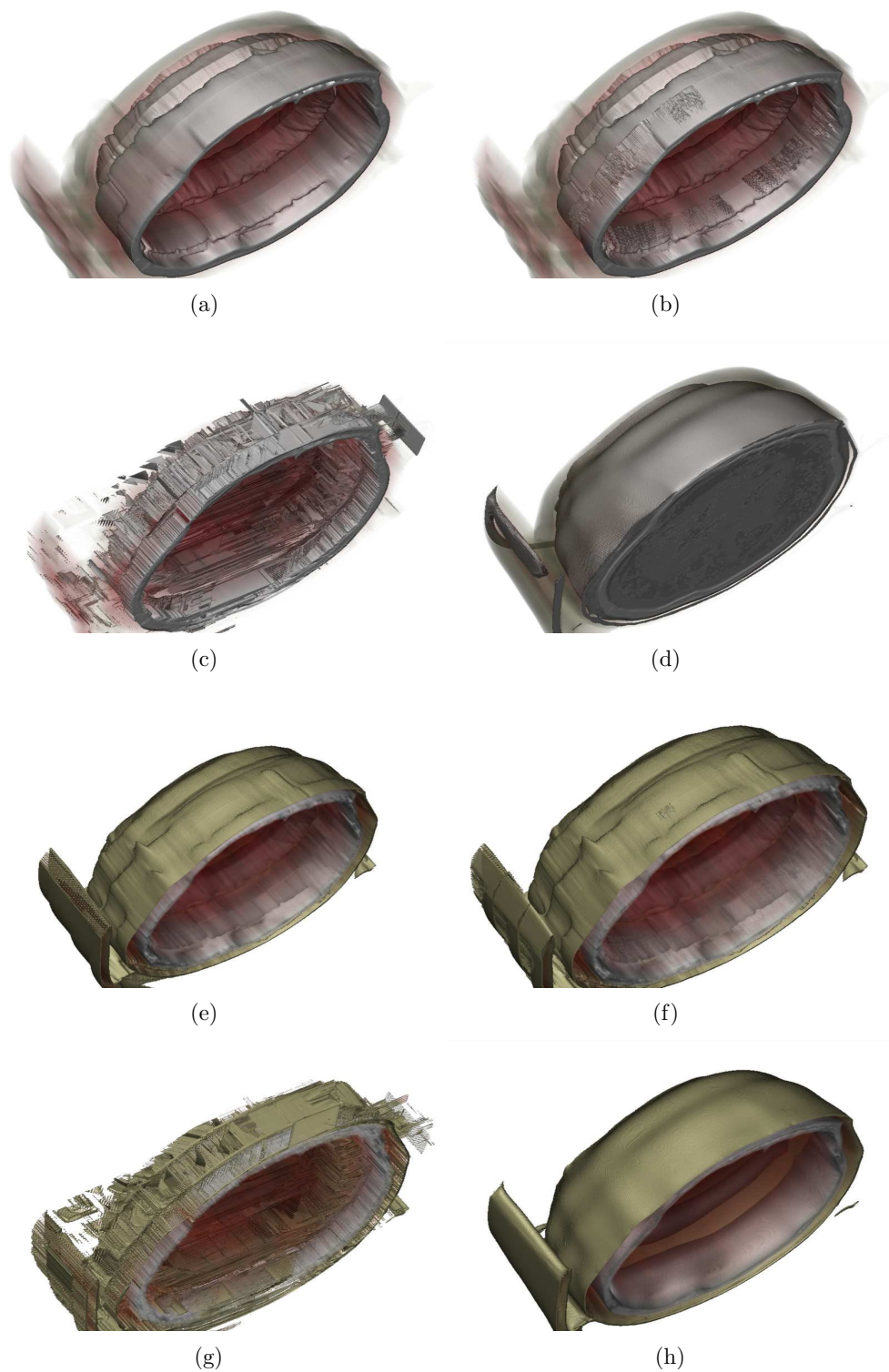


Figura 6.25: Resultados obtidos para o primeiro conjunto de dados. (a) e (e) utilizando-se o método de interpolação linear; (b) e (f) usando-se o método de Goshtasby e outros [1]; (c) e (g) utilizando-se o método de prolongamento de linhas; (d) e (h) usando-se o método de transporte e difusão.

Pode-se observar na Figura 6.25, pela análise visual, que os métodos de interpolação linear e de transporte e difusão de informações apresentaram os melhores resultados. Entretanto, é possível perceber contornos mais suaves nas imagens geradas pelo método de transporte e difusão de informações.

Os demais testes apresentados nesta seção mostram que quanto mais distanciadas estão as fatias reais umas das outras, maior é a superioridade do método de transporte e difusão. Os testes permitiram observar também que quanto maior a distância entre as fatias reais, mais numerosas devem ser as iterações de transporte e difusão de informações.

O método de prolongamento de linhas nas fatias transversais, pelos motivos já explicados no Capítulo 6 deste trabalho, apresentou os piores resultados dos métodos testados nesta tese. Além disso, esse método para ser aplicado, exige a remoção de duas fatias em cada extremidade do conjunto devido à necessidade do cálculo da derivada segunda na forma discreta. Nesse teste, como 50% do conjunto corresponde a 6 fatias, o resultado da aplicação do método resultou em uma redução significativa no tamanho da imagem.

Segundo Conjunto

A Figura 6.26 mostra os resultados obtidos da aplicação dos métodos com 50% do conjunto de dados. Nesse teste a distância entre cada fatia real é de 10 mm, e entre cada par de fatia real são geradas 24 fatias virtuais. Os parâmetros para transporte e difusão são os mesmos utilizados para o conjunto de dados completo. Esses parâmetros são: $M = 45$; $M_t = 3$; $M_d = 10$; $K_t = 0,002$; $K_d = 0,05$ e $K_g = 0,6$

Pode-se observar na Figura 6.26, pelos detalhes ampliados, que o método de transporte e difusão, também nesse teste, obtém uma curvatura mais suave que os demais métodos testados neste trabalho.

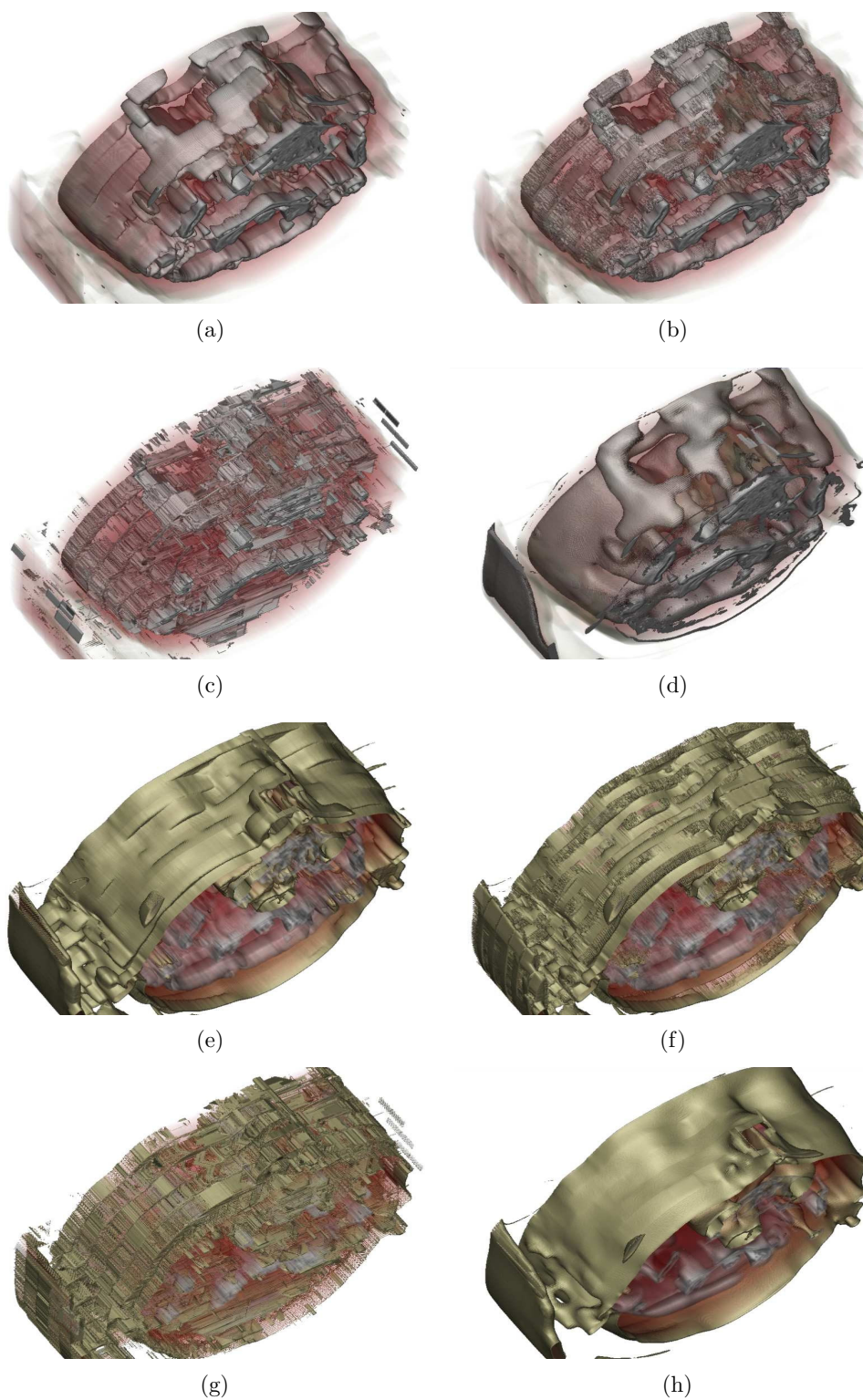


Figura 6.26: Resultados obtidos para o segundo conjunto de dados. (a) e (e) utilizando-se o método de interpolação linear; (b) e (f) usando-se o método de Goshtasby e outros [1]; (c) e (g) utilizando-se o método de prolongamento de linhas; (d) e (h) usando-se o método de transporte e difusão.

Terceiro Conjunto

A Figura 6.27 mostra os resultados obtidos com o terceiro conjunto de dados. Nesse teste a distância entre cada fatia real é de 2,6 mm, e entre cada par de fatia real são geradas 7 fatias virtuais. Os parâmetros para transporte e difusão foram os mesmos utilizados para o conjunto de dados completo. Esses parâmetros são: $M = 25$; $M_t = 3$; $M_d = 10$; $K_t = 0,002$; $K_d = 0,05$ e $K_g = 0,6$. Como a distância entre as fatias neste teste é de 2,6 mm, o experimento utilizou um número menor de iterações totais.

Embora todas as imagens tenham apresentado resultados que permitem o reconhecimento e a análise da estrutura, também nesse teste, pode-se observar que existem diversos detalhes da imagem que o método de transporte e difusão de informações apresentou contornos mais suaves.

Quarto Conjunto

A Figura 6.28 mostra os resultados obtidos da aplicação do quarto conjunto de dados onde a distância entre cada fatia real é de 2 mm, e entre cada par de fatia real são geradas 5 fatias virtuais. Os parâmetros para transporte e difusão foram os mesmos utilizados para o conjunto de dados completo. Esses parâmetros são: $M = 20$; $M_t = 3$; $M_d = 10$; $K_t = 0,002$; $K_d = 0,05$ e $K_g = 0,6$

Pode-se observar na Figura 6.28 que o método de transporte e difusão, como nos testes anteriores, obtém na estrutura gerada curvaturas mais suaves do que os demais métodos.

Embora as medidas numéricas não apresentem uma superioridade muito significativa no método de transporte e difusão, a análise visual mostra claramente que a visualização da estrutura interpolada por esse método é melhor definida devido a contornos mais bem determinados e coerentes com a estrutura original.

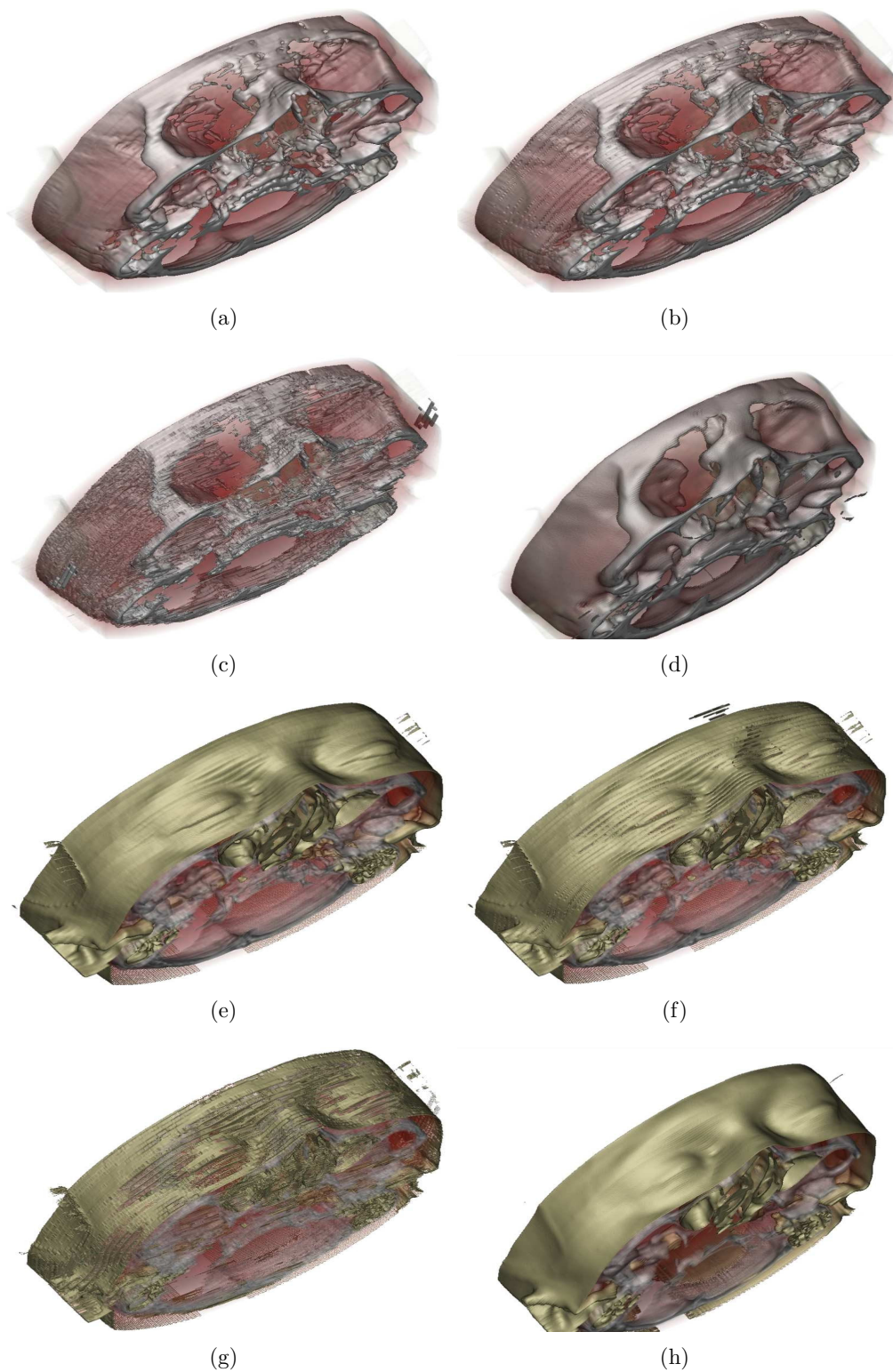


Figura 6.27: Resultados obtidos para o terceiro conjunto de dados. (a) e (e) utilizando-se o método de interpolação linear; (b) e (f) usando-se o método de Goshtasby e outros [1]; (c) e (g) utilizando-se o método de prolongamento de linhas; (d) e (h) usando-se o método de transporte e difusão.