



Geração Semiautomática de Função de Transferência para Realce de Fronteiras Baseada em Derivadas Médias

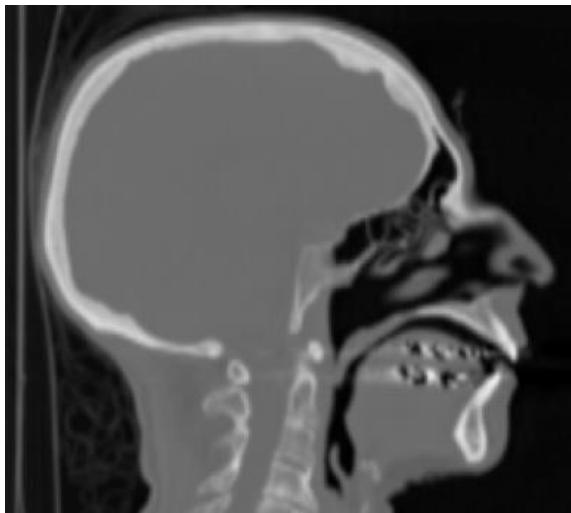
Rustam Mesquita

Orientador: Waldemar Celes

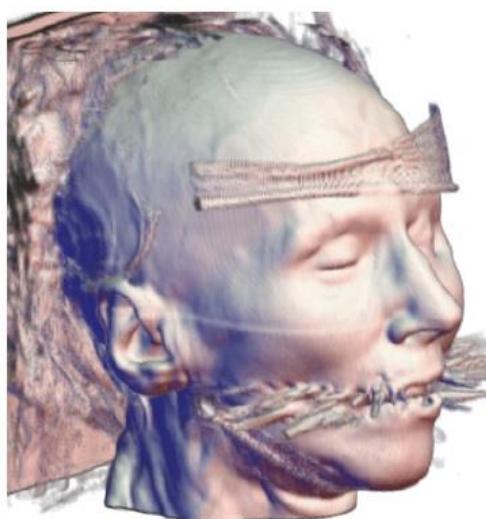
Introdução

Introdução

- Visualização volumétrica: representa visualmente campos escalares 3D.
- Dados: RM, TC e simulações físicas.
- Função de Transferência (FT): especifica propriedades ópticas dos voxels do campo escalar.



Tomografia computadorizada da cabeça de um indivíduo [Kindlmann, 1999].



Visualizações volumétricas a partir de funções de transferência diferentes [Kindlmann, 1999].

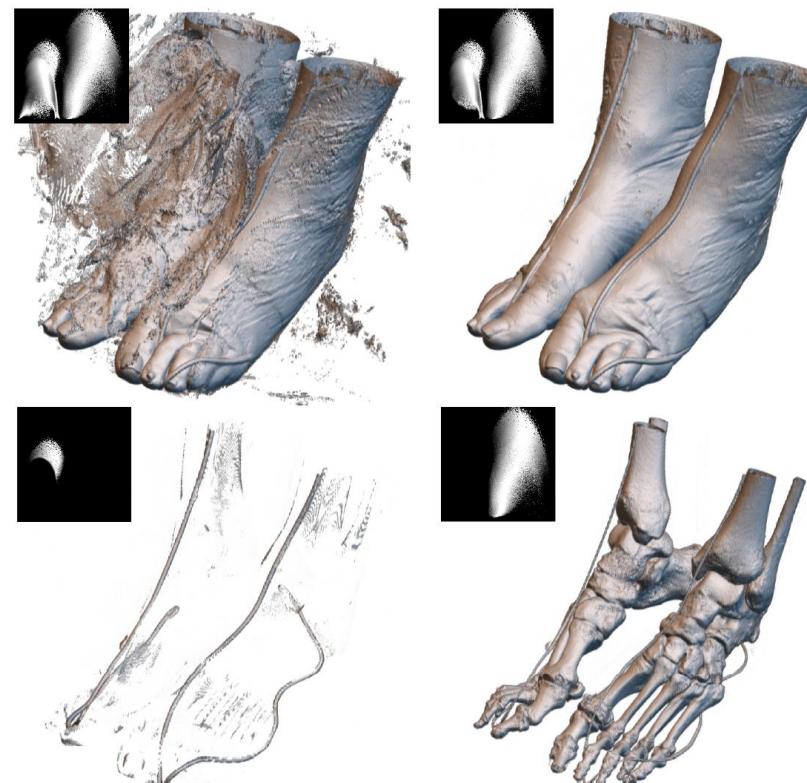


Introdução

- No entanto, FT manual = tentativa e erro.
- “Semi-automatic generation of transfer functions for direct volume rendering” [Kindlmann e Durkin, 1998].
- Sobreposição no intervalo das fronteiras.
- Threshold manual.



Histograma 2D.



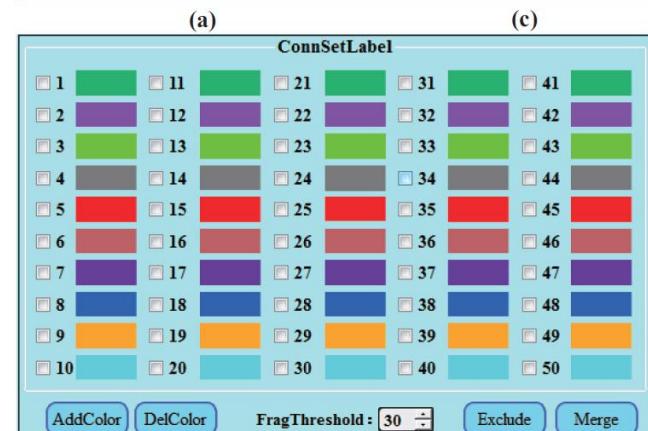
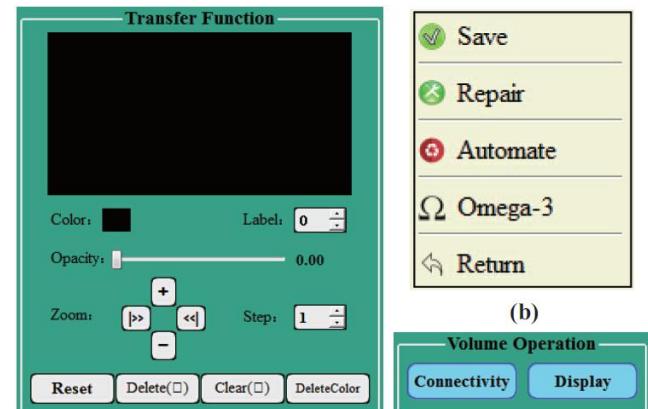
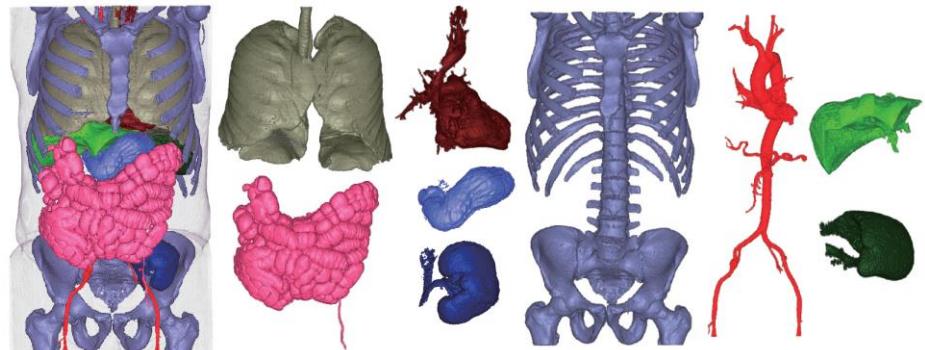
Funções de Transferência e visualizações dos pés do dataset Visible Human.

Trabalhos Relacionados

- Trabalhos seguintes:

- Perda do foco na geração automática.
- Aplicação apenas na área médica.

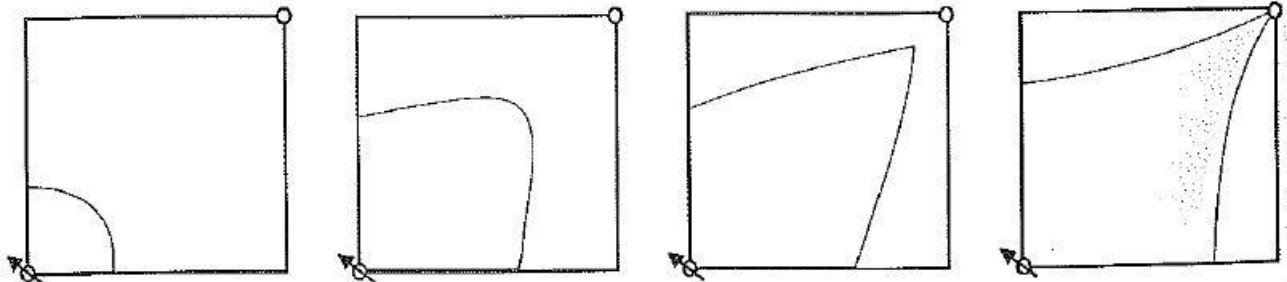
- “Multi-Dimensional Transfer Function Design ...” [Park e Bajaj, 2004].
- “Local Histograms for Design of Transfer Functions ...” [Lundstrom et al. 2006].
- “Automating Transfer Function Design for Volume ...” [Šereda et al. 2006].
- “Visualization of boundaries in volumetric data sets ...” [Šereda et al. 2006].
- “Automatic Transfer Function Generation Using Contour ...” [Zhou e Takatsuka, 2009].
- “Volume exploration using ellipsoidal Gaussian transfer functions” [Wang et al. 2010].
- “Automatic Transfer Functions Based on Informational Divergence” [Ruiz et al. 2011].
- “Automatic Tuning of Spatially Varying Transfer Functions for ...” [Läthén et al. 2012].
- “Improving Separability of Structures with Similar Attributes ...” [Lan et al. 2016].
- “Graph-based interactive volume exploration” [Ponciano et al. 2016].



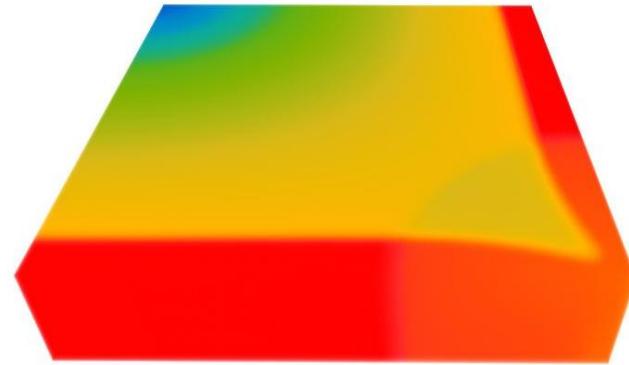
[Lan et al. 2016].

Motivação

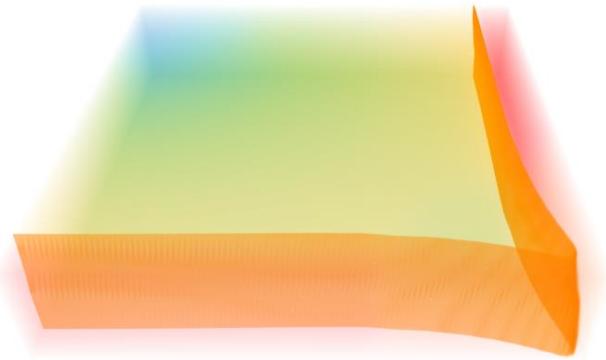
- Simulação numérica:
 - Prevê o comportamento de reservatórios.
 - Permite estimar volume de óleo e gás.
- Frente de avanço: interface entre água e óleo.
- Importante na fase de recuperação secundária.



Evolução da área invadida em uma malha de 5 pontos. [Rosa et al. 2006]



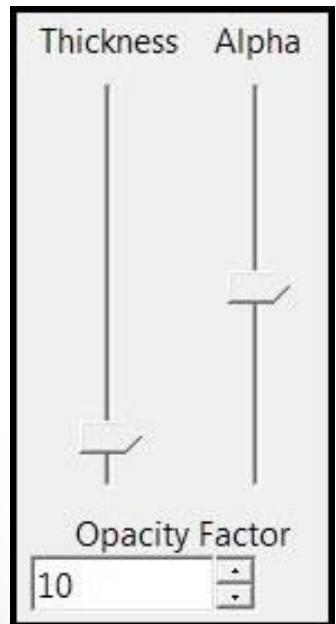
Simulação da saturação de óleo em um reservatório.



Realce da fronteira mais evidente.

Proposta

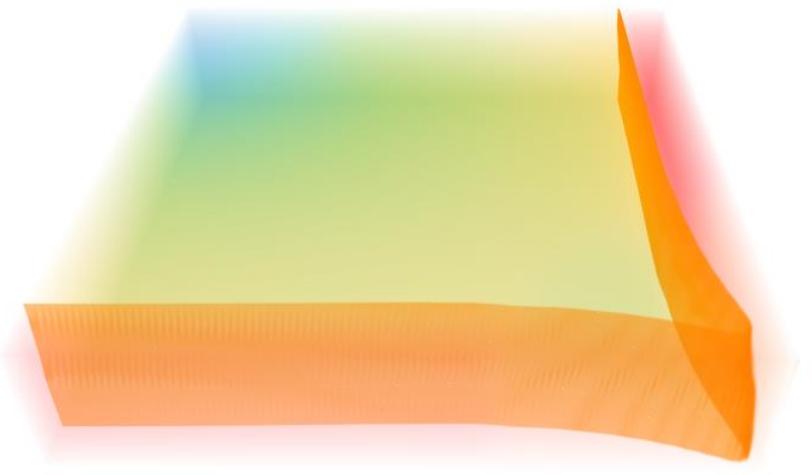
- Geração mais automática.
- Domínio da função de transferência mais simples: FT1D.
- Extinguir interação obrigatória do usuário.
- Método aplicável em malhas regulares e não regulares (topologicamente estruturadas).



Exemplo de uma interface.



Exemplo em um volume médico.

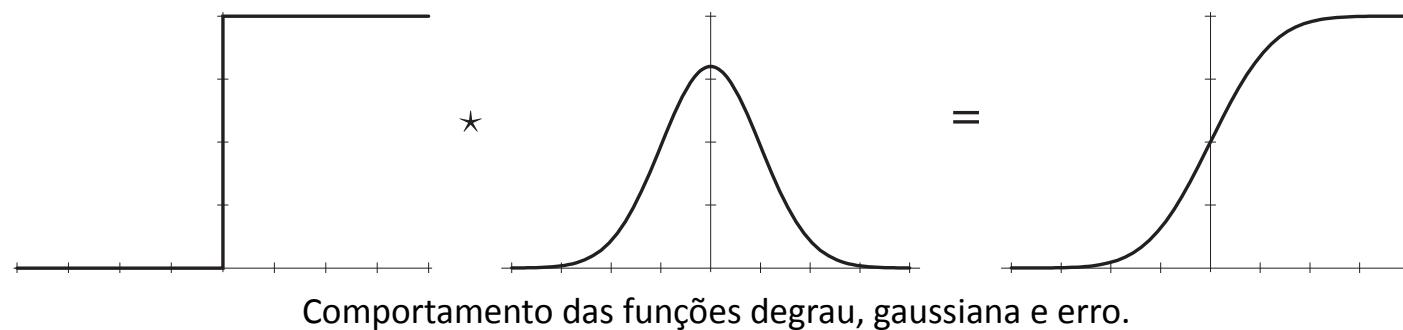


Exemplo em uma simulação de reservatório de petróleo.

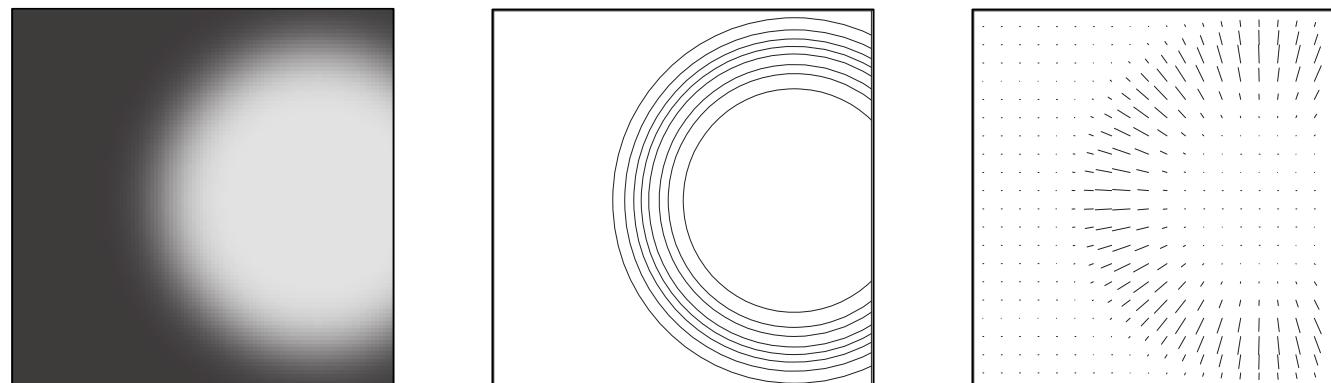
Kindlmann e Durkin

Identificação de Fronteiras – [Kindlmann e Durkin]

- Materiais com propriedades físicas homogêneas.
- Modelo de fronteira entre materiais:



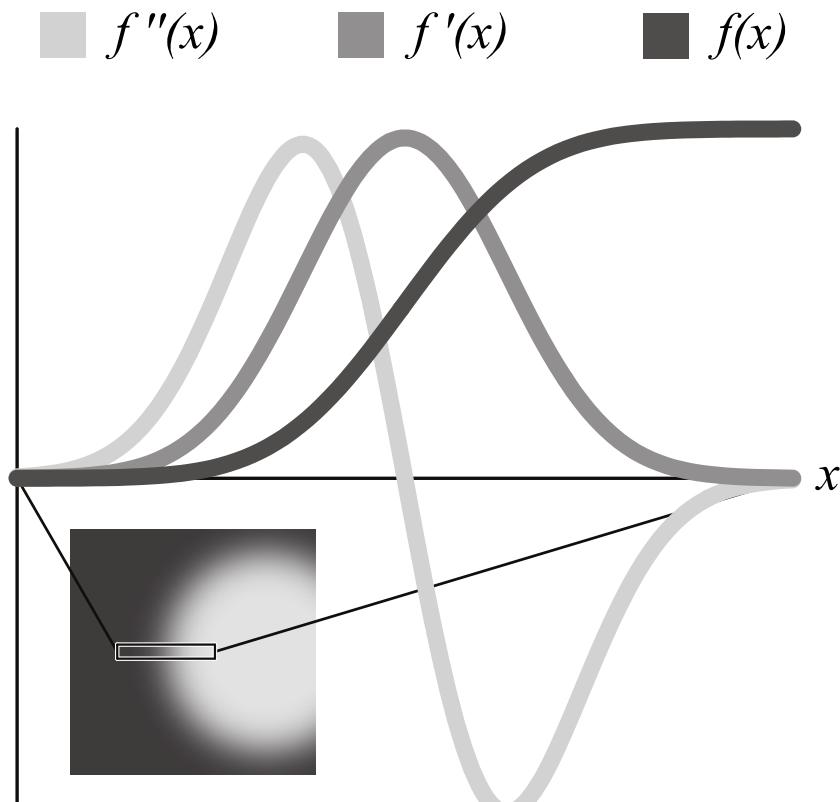
- Uma das isosuperfícies entre v_{\min} e v_{\max} .



Visão em corte das intensidades, isosuperfícies e vetores gradientes de um cilindro.

Identificação de Fronteiras – [Kindlmann e Durkin]

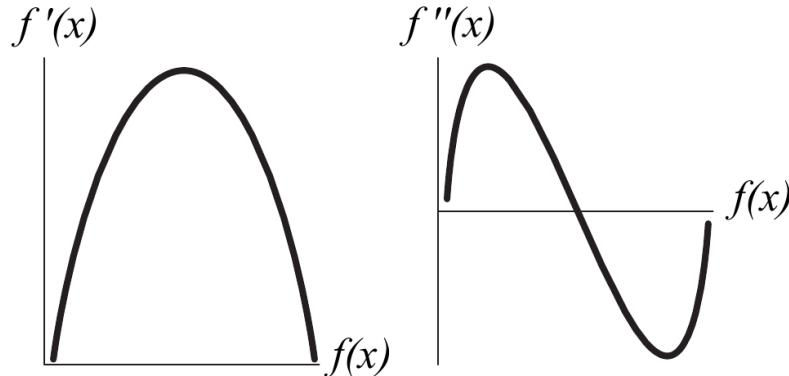
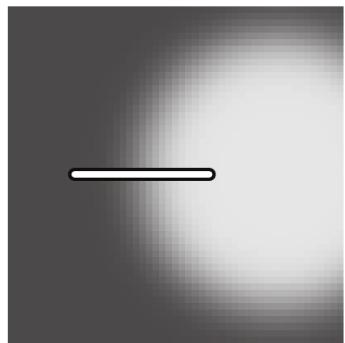
- Centro da fronteira a partir das derivadas:



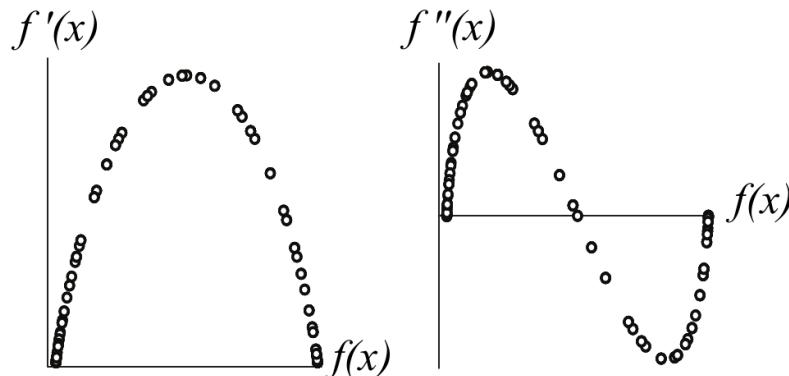
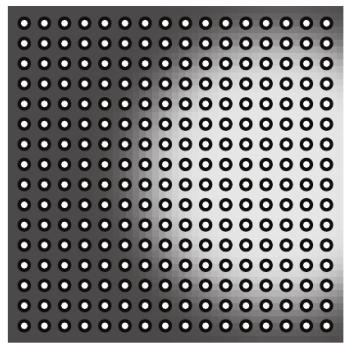
Comportamento de $f(x)$, $f'(x)$ e $f''(x)$ na direção do gradiente.

Identificação de Fronteiras – [Kindlmann e Durkin]

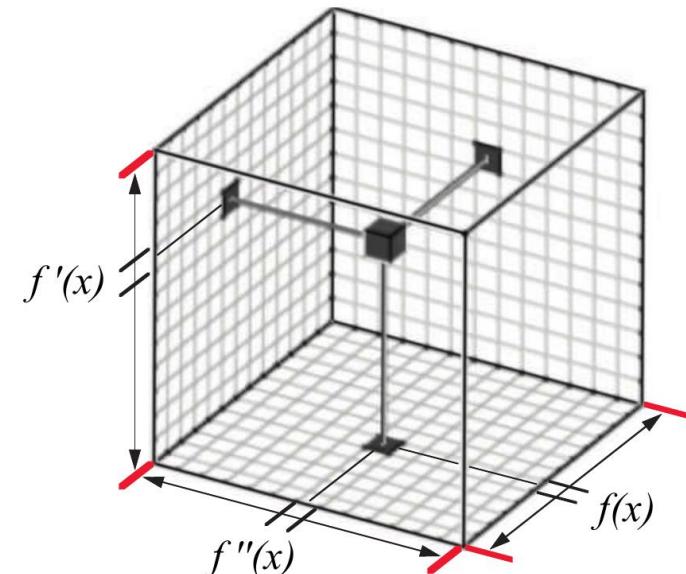
- Avaliação das derivadas em função de $f(x)$.



Avaliação em uma seção do volume onde ocorre uma fronteira.

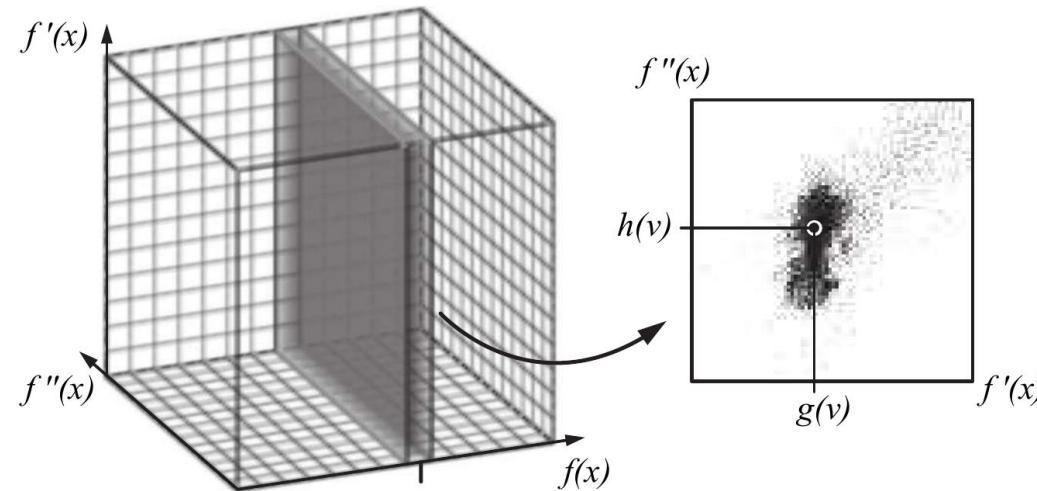


Amostragem das derivadas por todo o volume.



Histograma 3D.

Identificação de Fronteiras – [Kindlmann e Durkin]



Derivadas médias.



Histograma acumulado.

Obtenção da Função de Transferência – [Kindlmann e Durkin]

- Avaliação sempre na direção do gradiente.
- $|x|$: Distância ao centro da fronteira.

$$v = f(x) = v_{min} + (v_{max} - v_{min}) \frac{1 + erf(\frac{x}{\sigma\sqrt{2}})}{2}$$

$$g = f'(x) = \frac{v_{max} - v_{min}}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$$

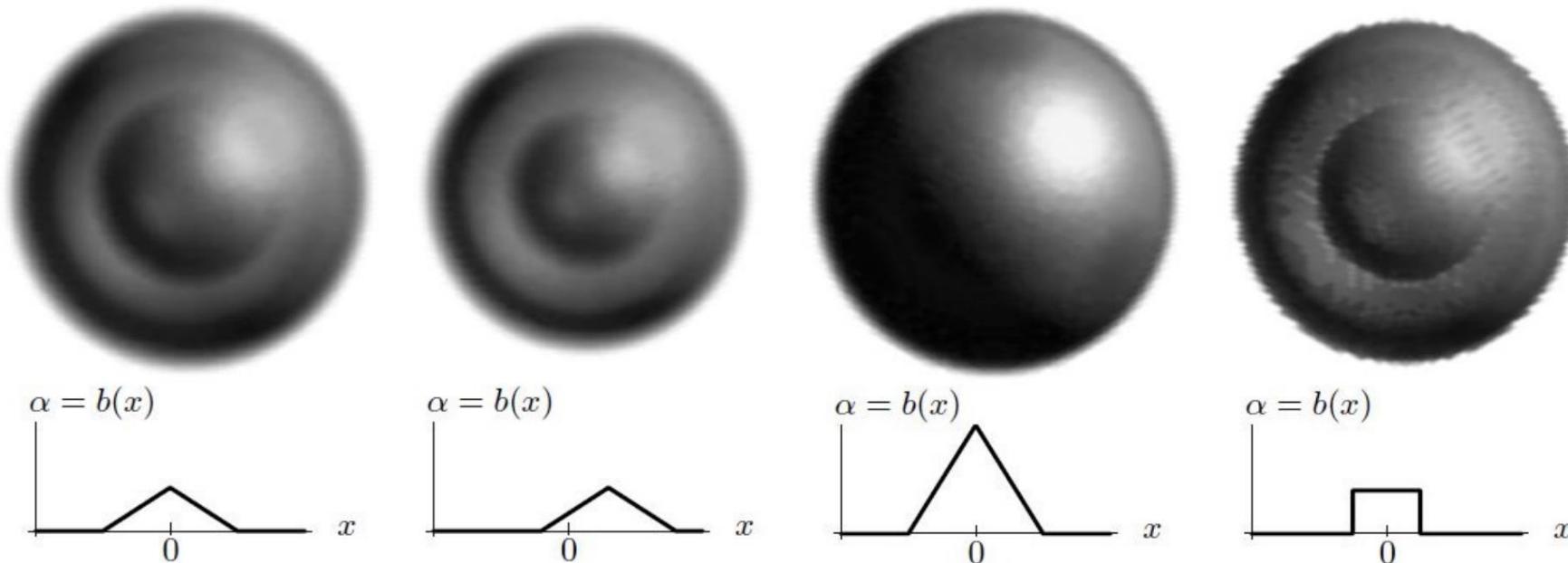
$$\sigma = \frac{f'(0)}{\sqrt{e}f''(-\sigma)}$$

$$h = f''(x) = -\frac{x(v_{max} - v_{min})}{\sigma^3\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$$

$$x = -\frac{\sigma^2 f''(x)}{f'(x)}$$

Obtenção da Função de Transferência – [Kindlmann e Durkin]

- Usuário completa a relação entre opacidade e distância:



O impacto de diferentes funções de opacidade $b(x)$ na visualização de duas esferas concêntricas.

Obtenção da Função de Transferência – [Kindlmann e Durkin]

- Substituindo a formulação por valores médios:

$$\sigma = \frac{f'(0)}{\sqrt{e} f''(-\sigma)} \quad \rightarrow \quad \sigma = \frac{g(v)_{max}}{\sqrt{e} h(v)_{max}}$$

$$x = -\frac{\sigma^2 f''(x)}{f'(x)} \quad \rightarrow \quad p(v) = -\frac{\sigma^2 h(v)}{max(g(v) - g_{thresh}, 0)}$$

- Função de transferência 1D:

$$\alpha(v) = b(p(v))$$

Obtenção da Função de Transferência – [Kindlmann e Durkin]

- Função de transferência 2D:

$$\alpha(v, g) = b(p(v, g))$$

- Onde

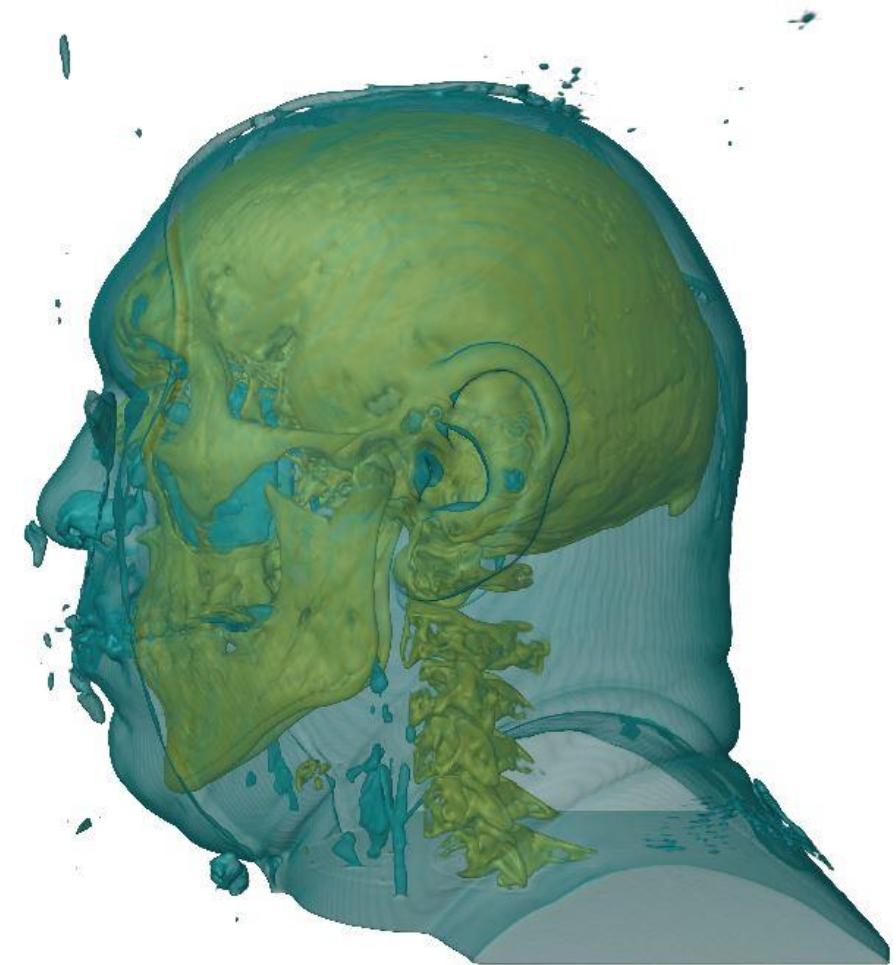
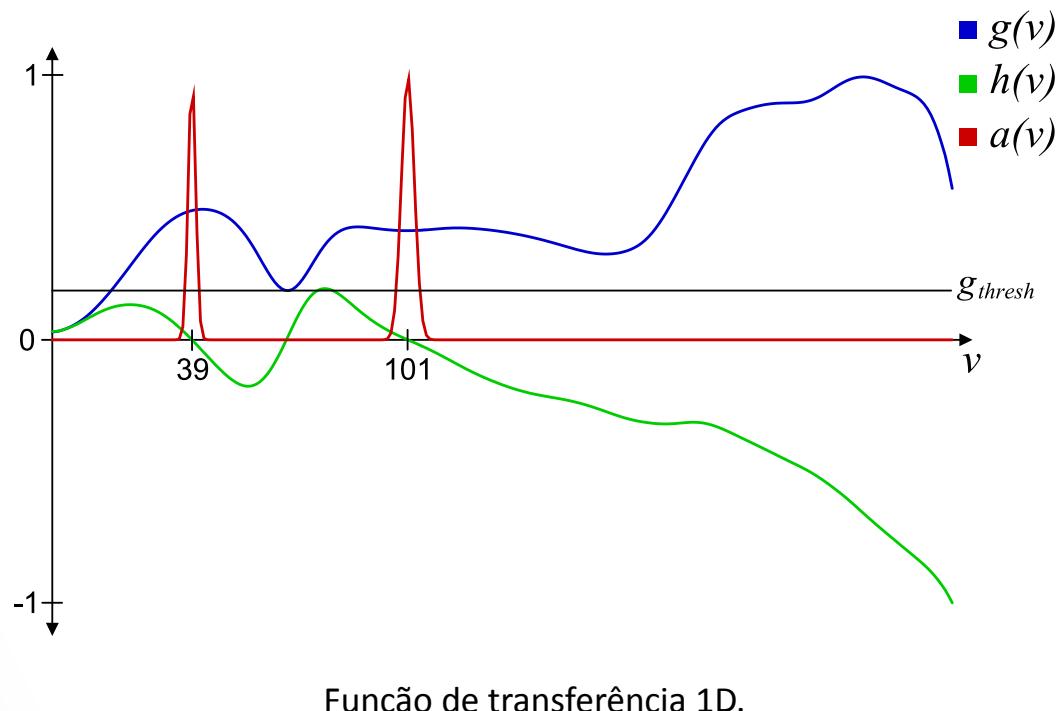
$$x = -\frac{\sigma^2 f''(x)}{f'(x)} \quad \rightarrow \quad p(v, g) = -\frac{\sigma^2 h(v, g)}{\max(g - g_{thresh}, 0)}$$

- Threshold compensa ruído em regiões homogêneas.

Avaliação do Método de Kindlmann e Durkin

Avaliação do Método de Kindlmann e Durkin

- Identifica 2 fronteiras.
- Não destaca o esmalte dos dentes.
- Visualizador: [Campagnolo et al. 2015]

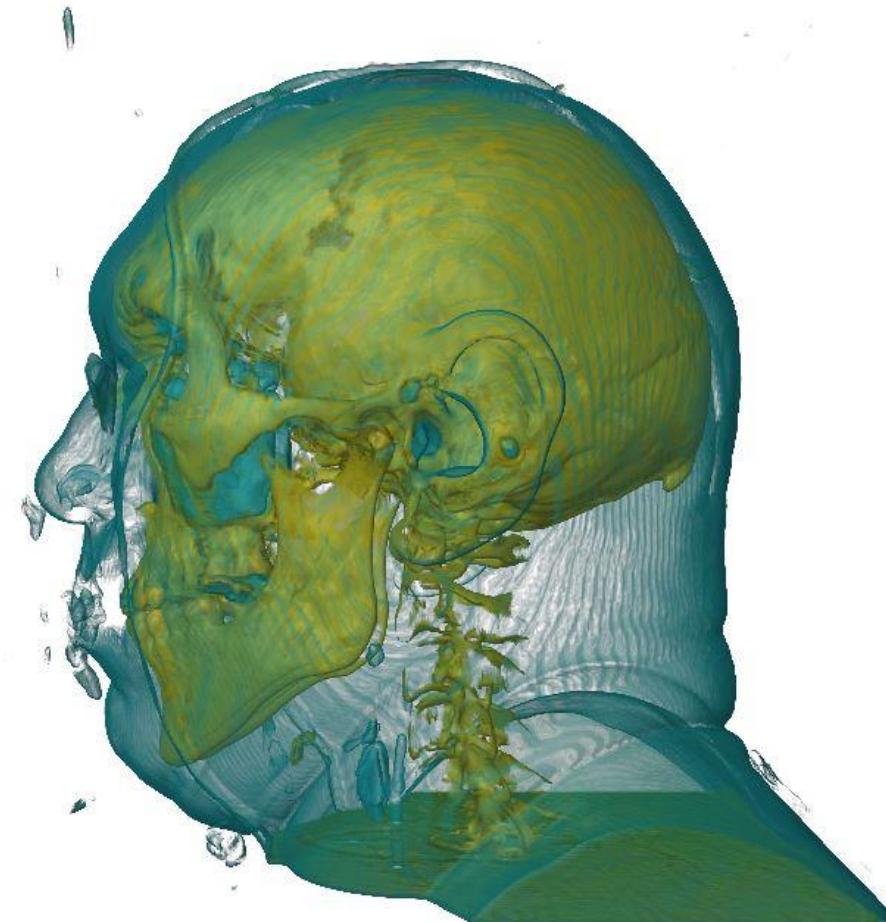


Avaliação do Método de Kindlmann e Durkin

- Melhora a classificação, mas exige controle por interface.

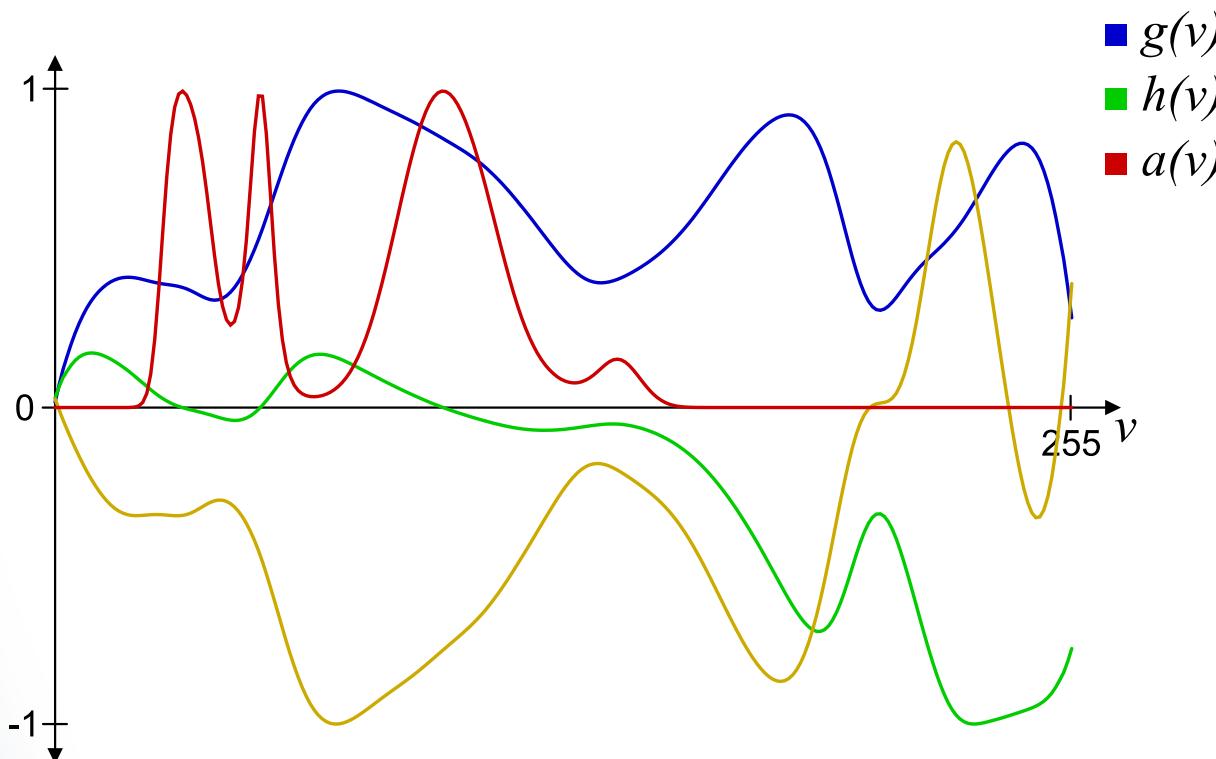


Função de transferência 2D.



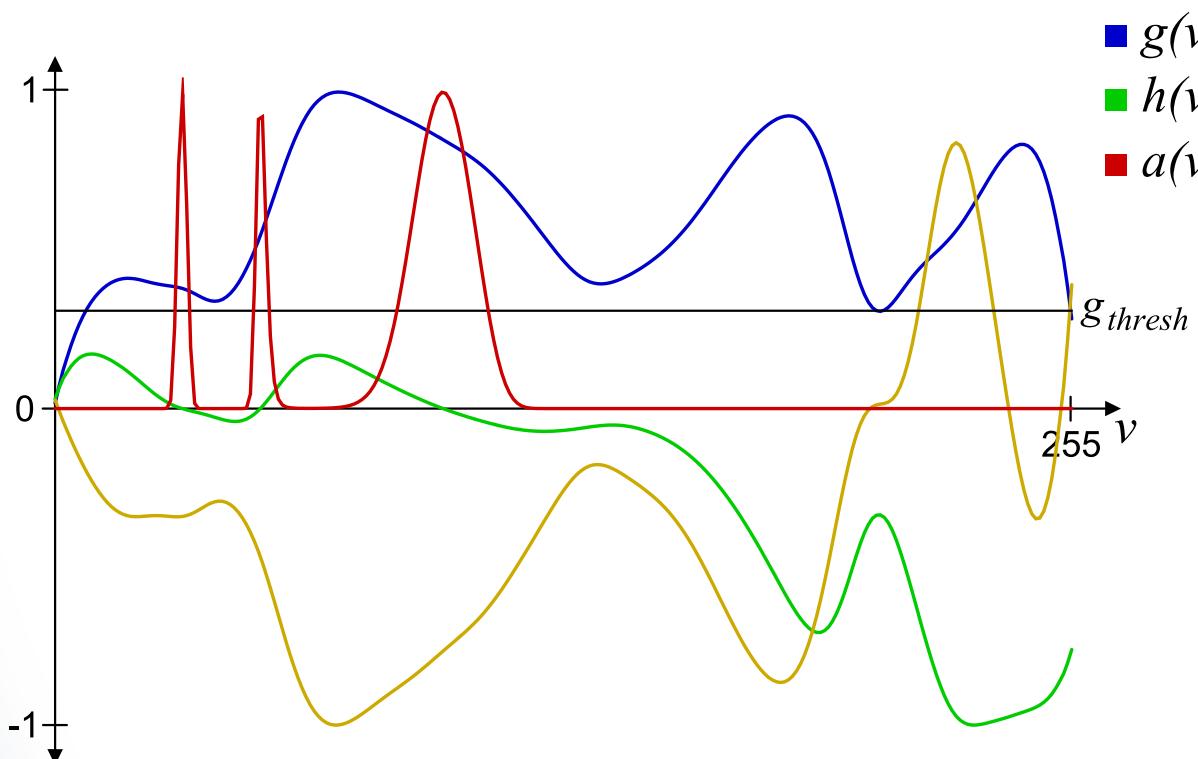
Avaliação do Método de Kindlmann e Durkin

- Threshold: parâmetro manual, trabalhoso.
- Palpite inicial: $g(v)$ dos isovolumes.



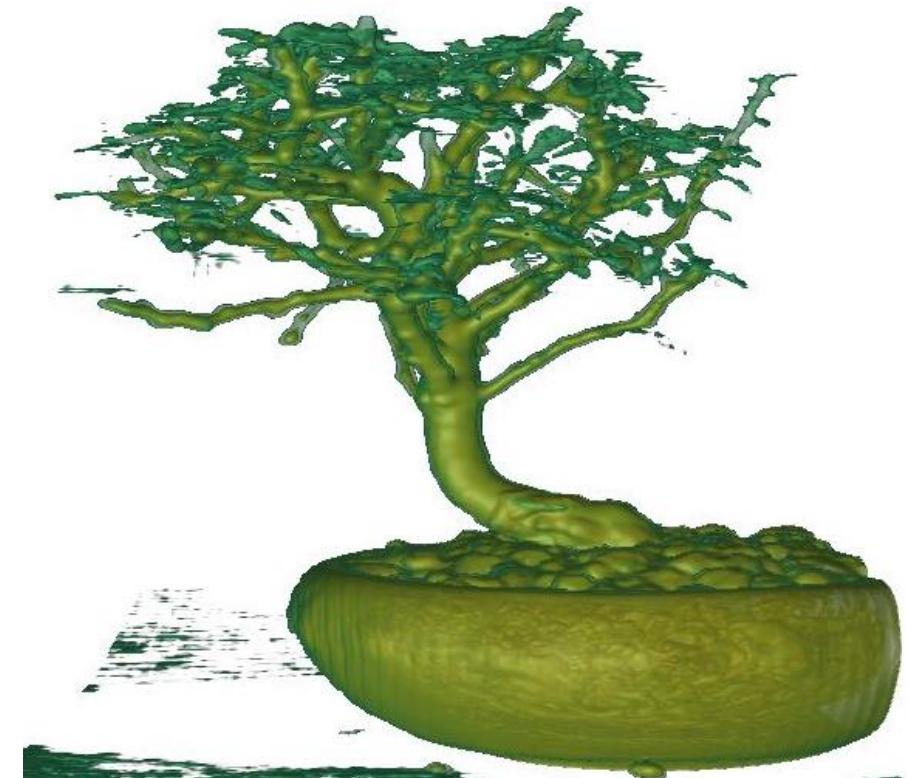
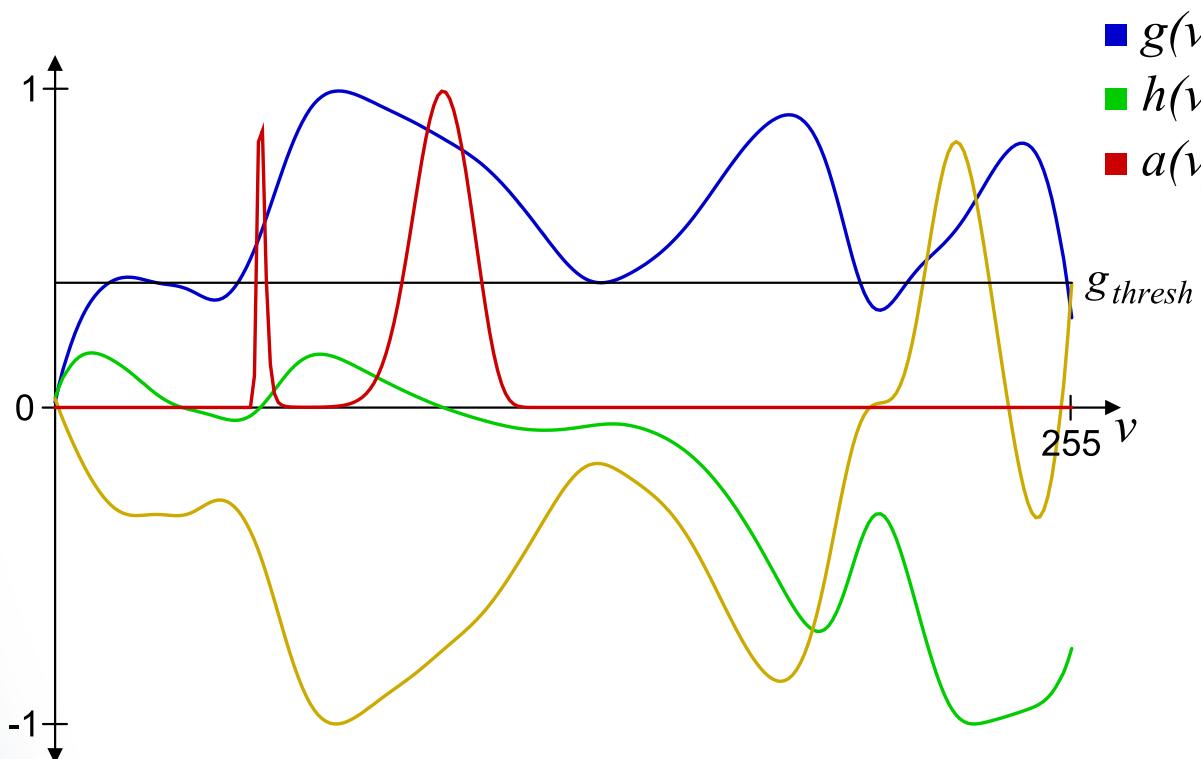
Avaliação do Método de Kindlmann e Durkin

- Threshold: parâmetro manual, trabalhoso.
- Palpite inicial: $g(v)$ dos isovolumes.



Avaliação do Método de Kindlmann e Durkin

- Threshold: parâmetro manual, trabalhoso.
- Palpite inicial: $g(v)$ dos isovolumes.



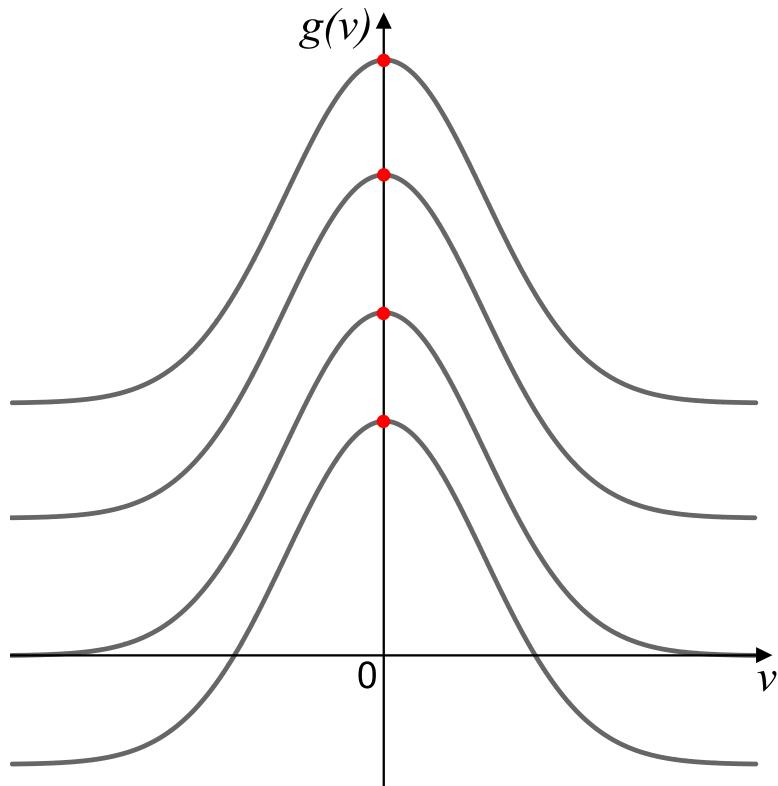
Avaliação do Método de Kindlmann e Durkin

- $h(v)$ tem mais peso que $p(v)$ em determinar fronteiras.
- Fronteira: $p(v) = 0$.

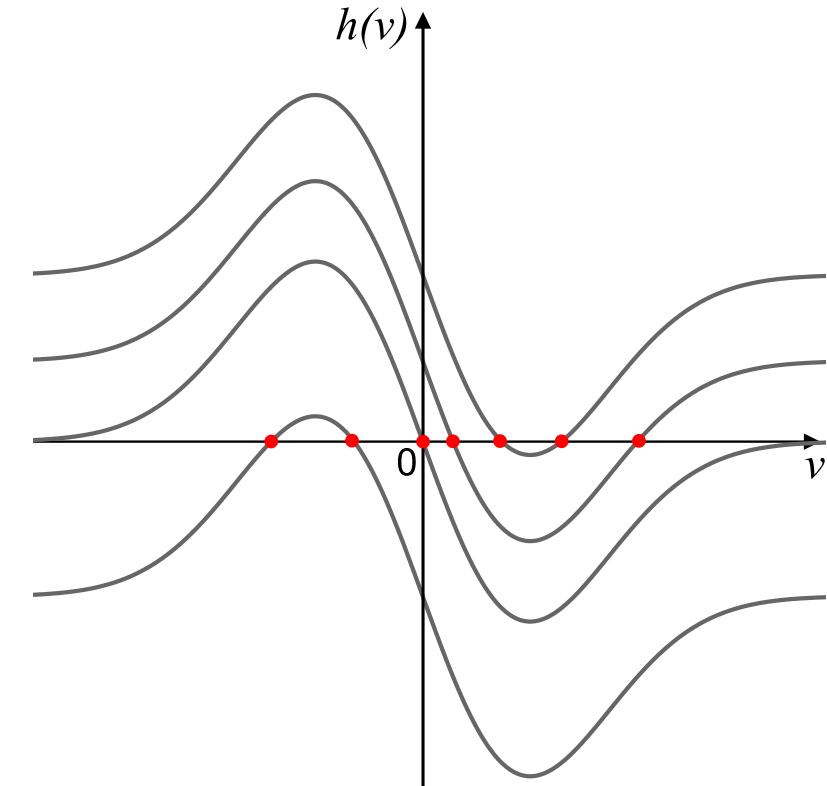
$$p(v) = -\frac{\sigma^2 h(v)}{\max(g(v) - g_{thresh}, 0)}$$

Avaliação do Método de Kindlmann e Durkin

- Deslocamento das derivadas médias:



Deslocamento constante em $g(v)$.

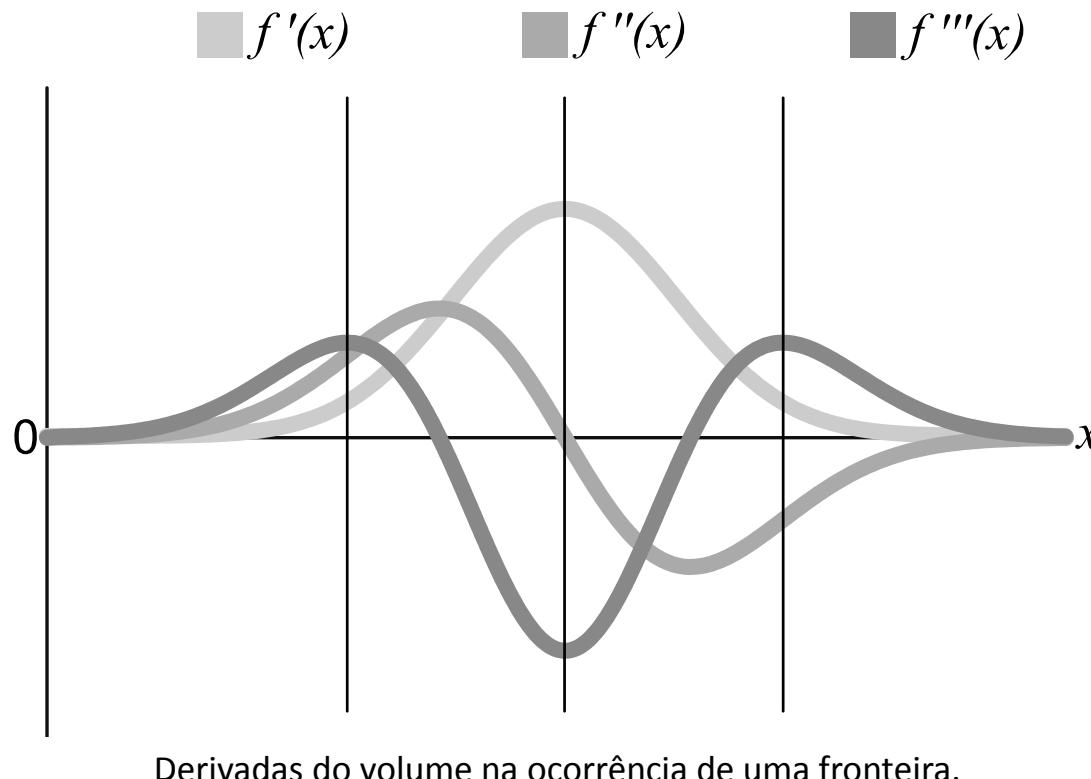


Deslocamento constante em $h(v)$.

Método Proposto

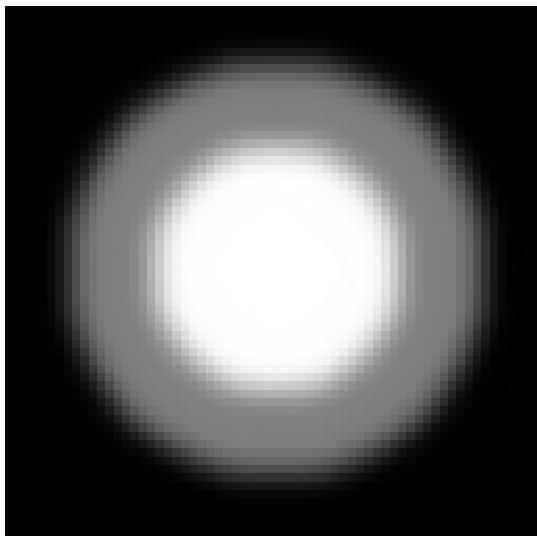
Método Proposto

- Corrigir deslocamento substituindo $h(v)$.
- $f'''(x)$ identifica fronteira com mínimo local.

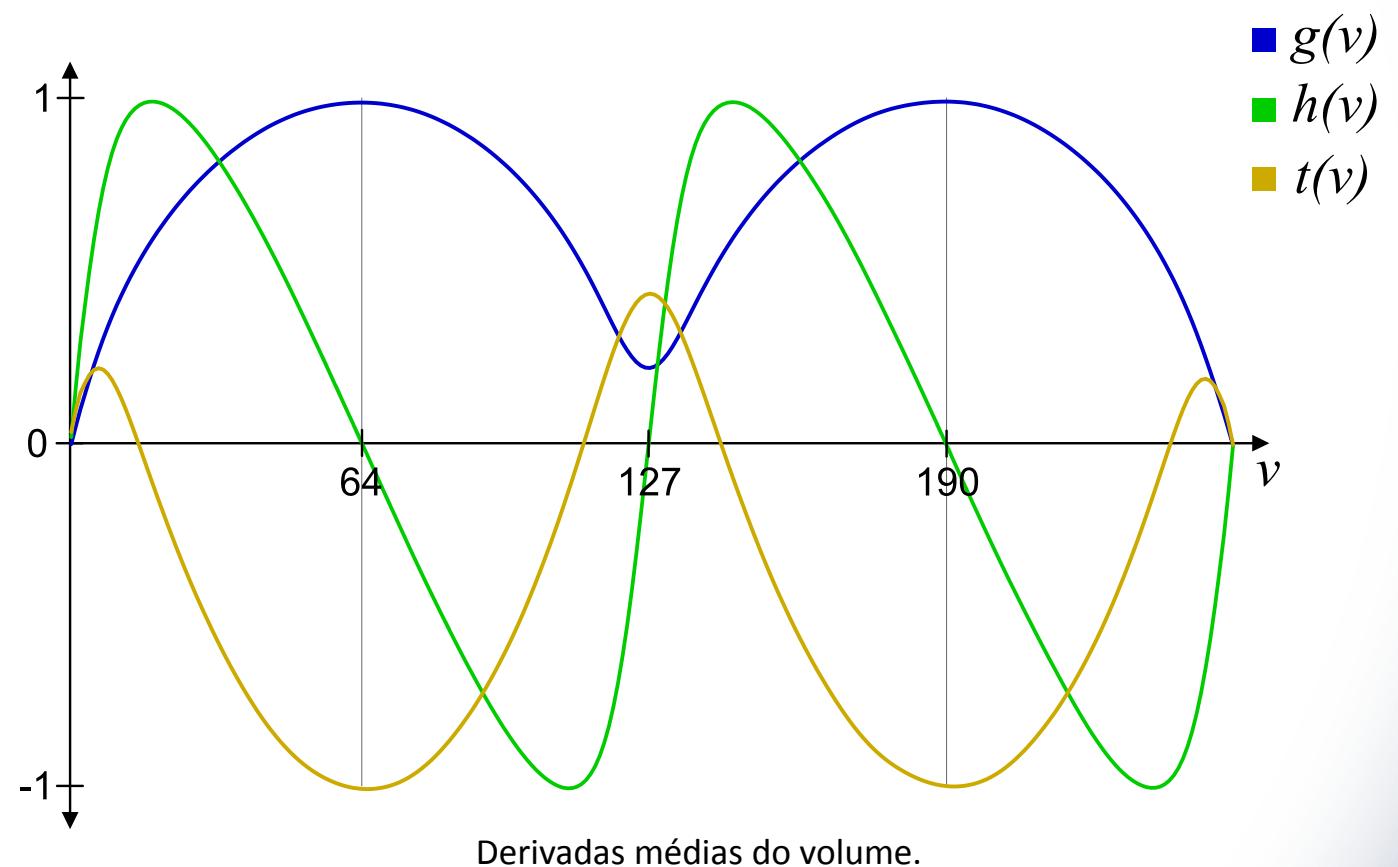


Método Proposto

- Volume sintético com fronteiras, nos intervalos $[0,127]$ e $[127,255]$.
- $h(v)$ indica falsa fronteira.

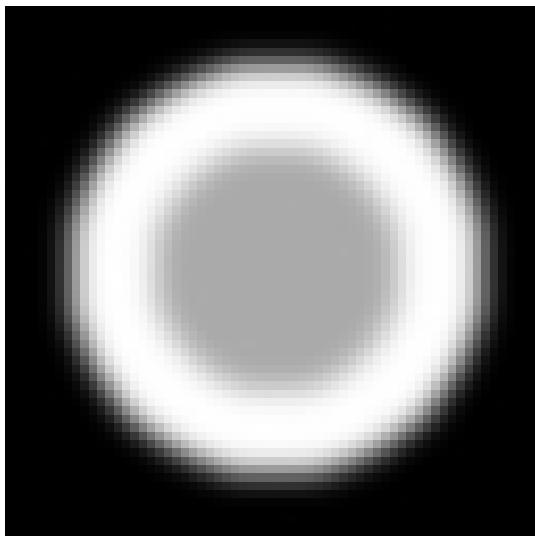


Fatia do volume.

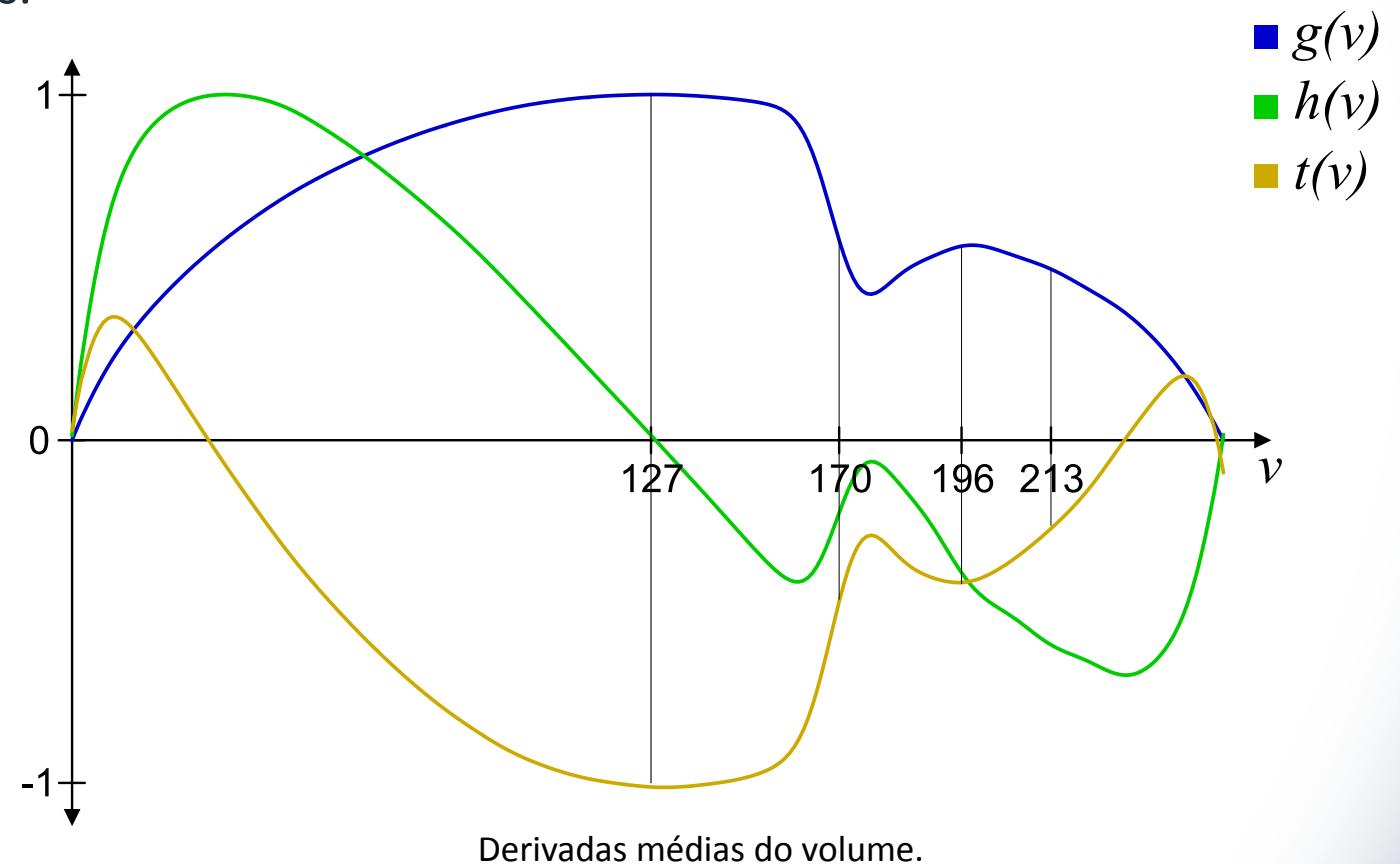


Método Proposto

- Volume sintético com fronteiras, nos intervalos $[0,255]$ e $[170,255]$.
- Sobreposição no intervalo das fronteiras.



Fatia do volume.



Método Proposto

- Reformulação da distância à fronteira:

$$g = f'(x) = \frac{v_{max} - v_{min}}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$$

$$t = f'''(x) = -\frac{(x^2 - \sigma^2)(v_{max} - v_{min})}{\sigma^5\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$$

$$\frac{f'''(x)}{f'(x)} = \frac{x^2 - \sigma^2}{\sigma^4}$$

$$\sigma^2 = -\frac{f'(0)}{f'''(0)} \approx -\frac{g(v)_{max}}{t(v)_{min}}$$

$$x = \sigma^2 \sqrt{\frac{f'''(x)}{f'(x)} + \frac{1}{\sigma^2}} \approx p(v) = \sigma^2 \sqrt{\frac{t(v)}{g(v)} + \frac{1}{\sigma^2}}$$

Método Proposto

- Distância média à fronteira.
- Modelo de Kindlmann e Durkin:

$$p(v) = -\frac{\sigma^2 h(v)}{\max(g(v) - g_{thresh}, 0)}$$

$$\sigma = \frac{g(v)_{max}}{\sqrt{e} h(v)_{max}}$$

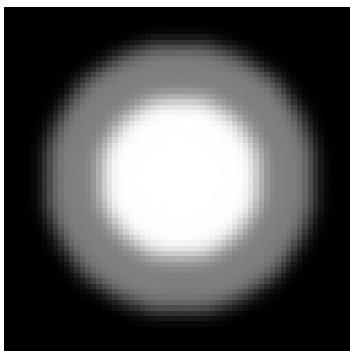
- Modelo modificado com a terceira derivada:

$$p(v) = \sigma^2 \sqrt{\frac{t(v)}{g(v)} + \frac{1}{\sigma^2}}$$

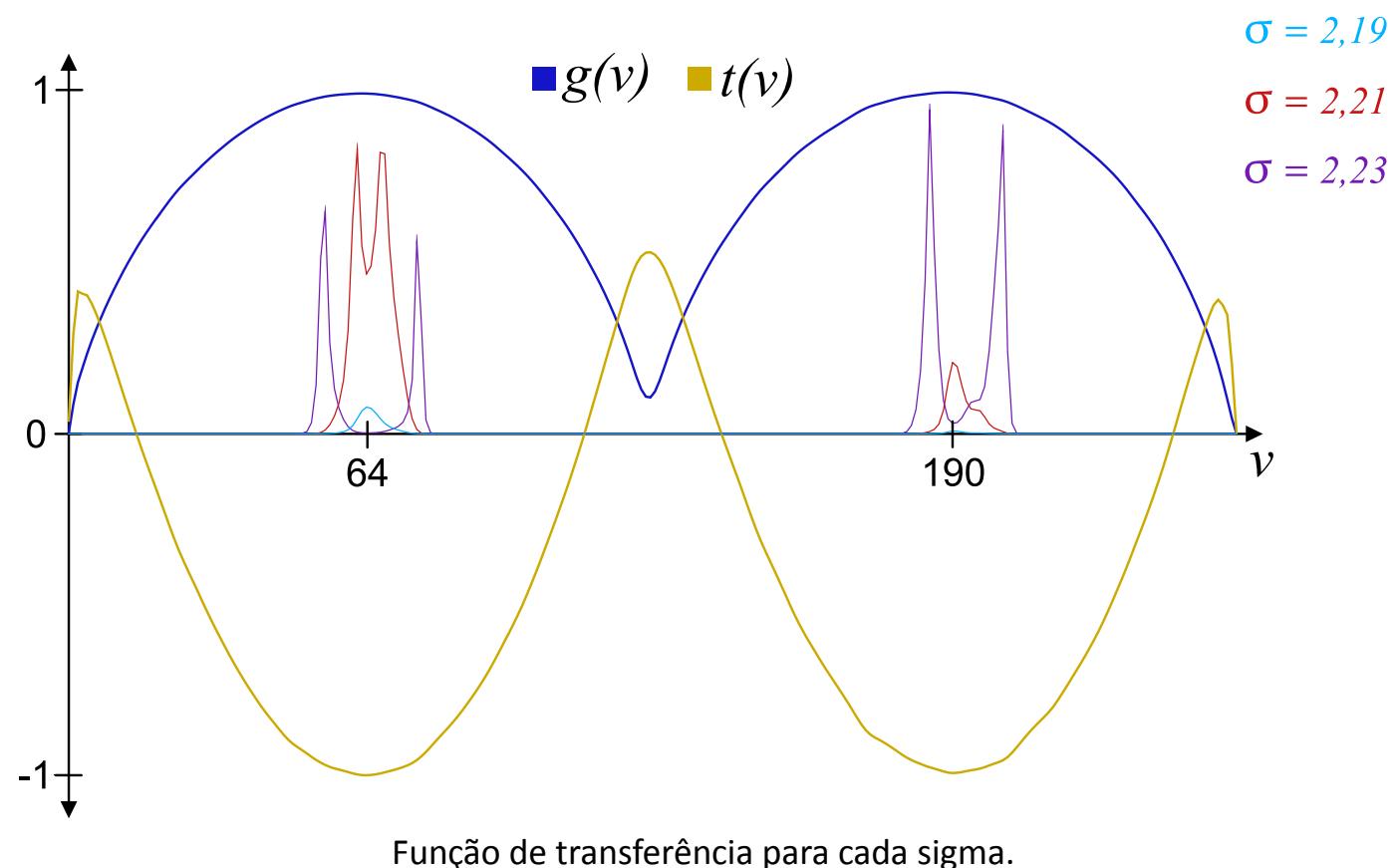
$$\sigma^2 = -\frac{g(v)_{max}}{t(v)_{min}}$$

Método Proposto

- Impacto da variação de sigma em 0,02:

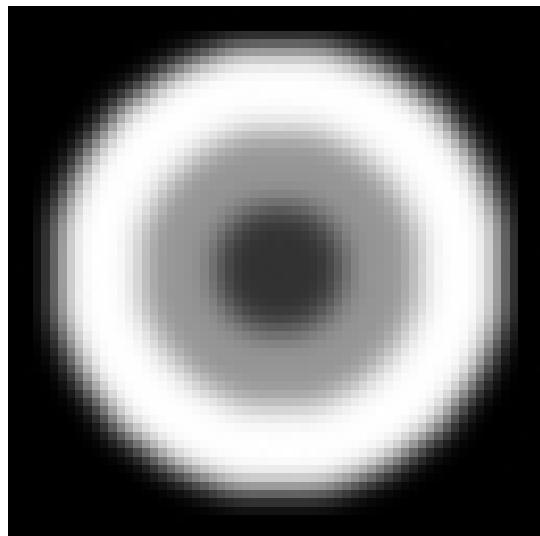


Fatia do volume.

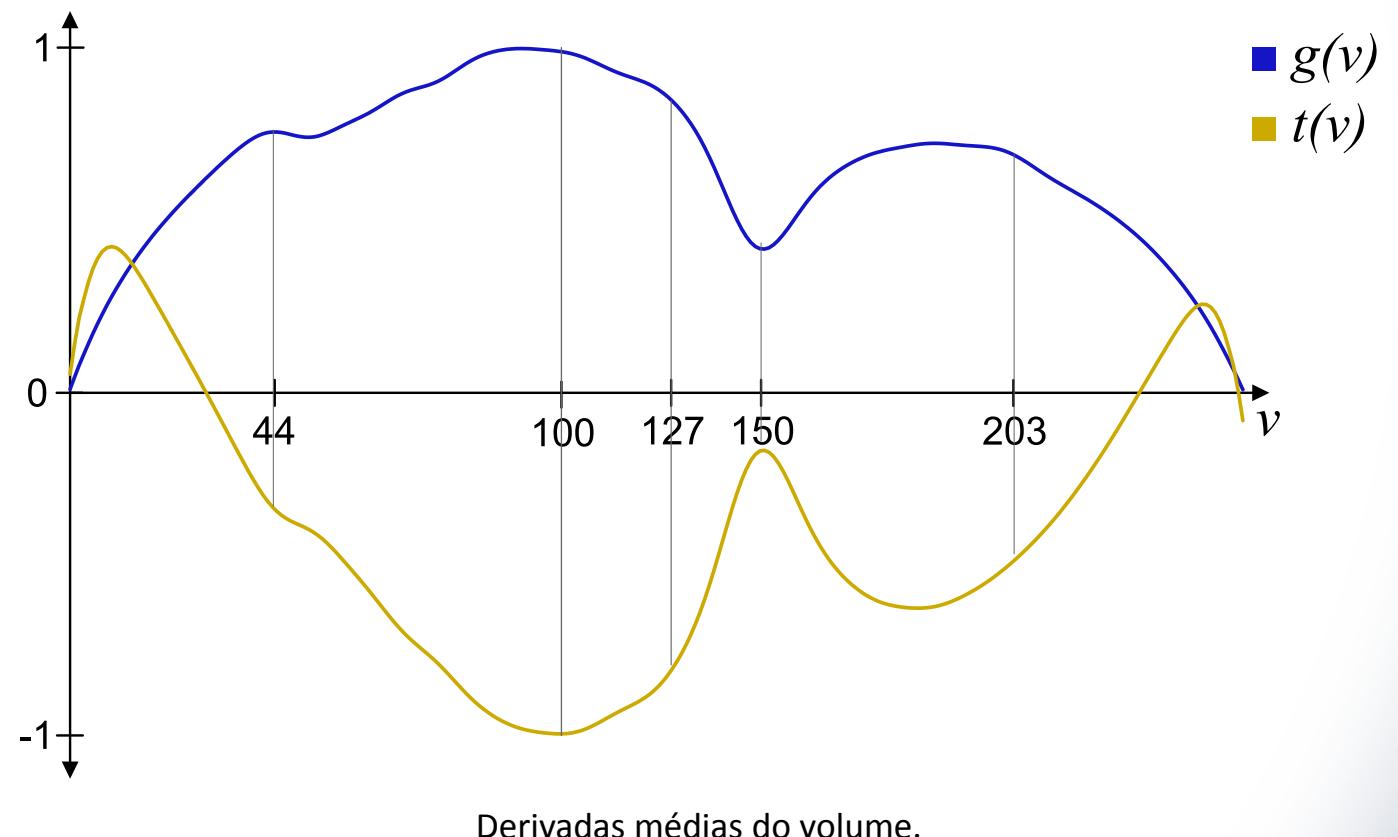


Método Proposto

- Volume sintético com fronteiras, nos intervalos $[0, 255]$, $[50, 150]$ e $[150, 255]$.
- Sobreposição no intervalo das fronteiras.



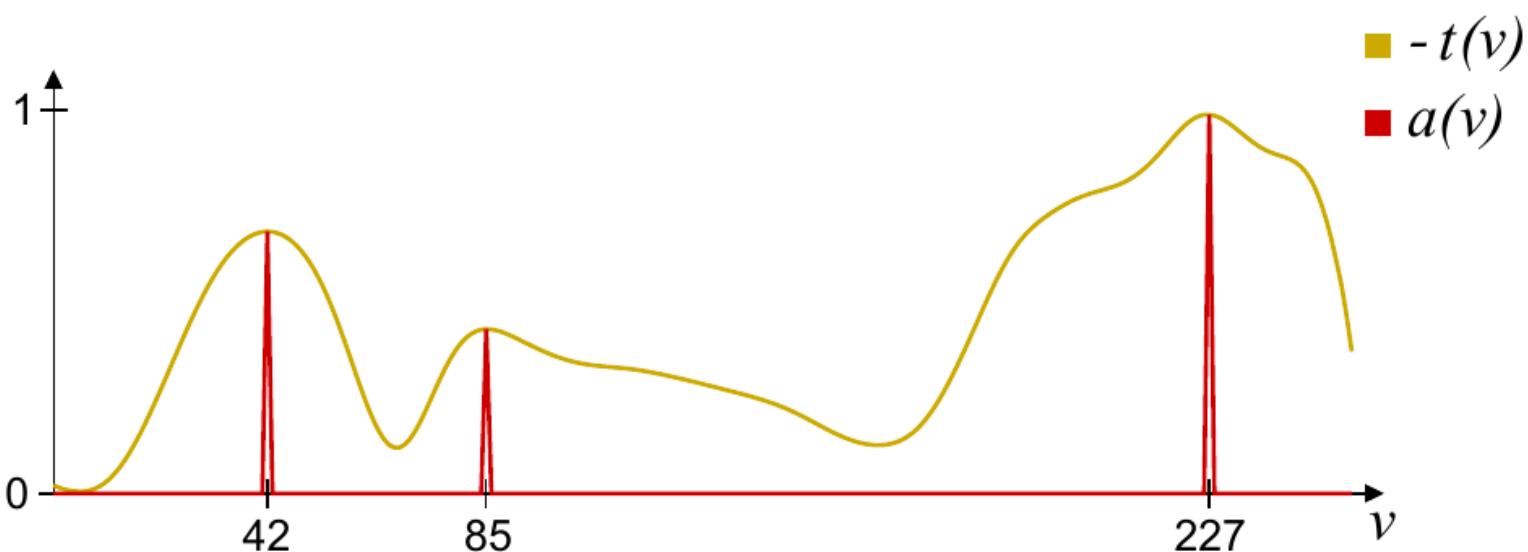
Fatia do volume.



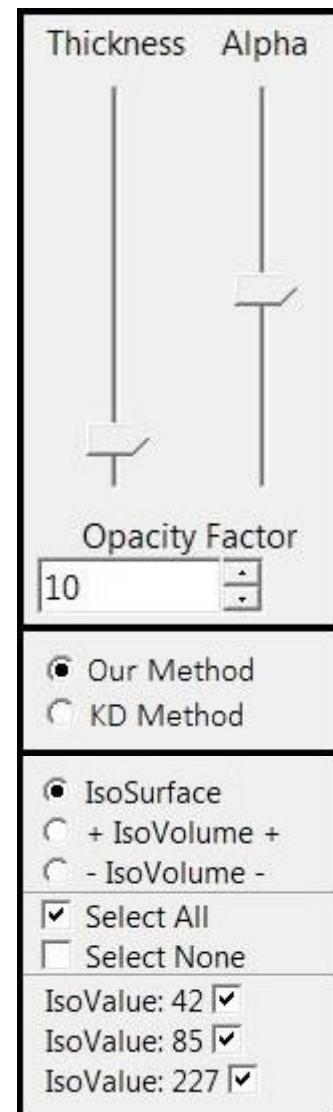
Método Proposto

- Fronteira ocorre em mínimo local de $t(v)$.
- FT: união das gaussianas centradas nos mínimos locais:

$$\alpha(v) = \alpha_{max} \max_{\forall v_f} \left\{ |t(v_f)| e^{-\frac{(v-v_f)^2}{2\sigma^2}} \right\}$$



Exemplo de função de transferência.



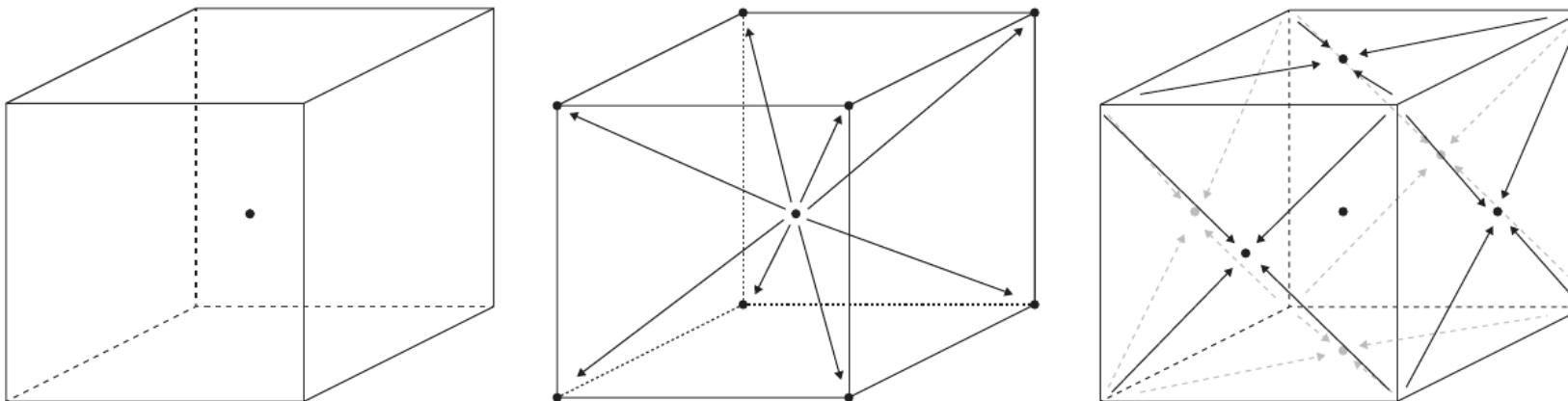
Interface desenvolvida.

Método Proposto

Cálculo das Derivadas

Método Proposto – Cálculo das Derivadas

- Volume não possui função analítica $f(x,y,z)$.
- Suavização dos valores para o centro das faces.
- Derivada por diferenças finitas:



$$f'(p) = \frac{f(p+h) - f(p-h)}{2h}$$

Método Proposto – Cálculo das Derivadas

- Derivada na direção do gradiente:

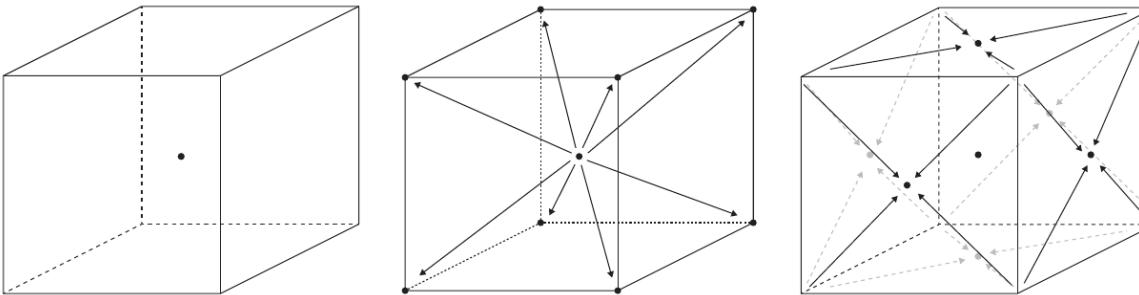
$$D_{\hat{u}} f = \nabla f \cdot \hat{u}$$

$$\nabla f = \left(\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y}, \frac{\partial f}{\partial z} \right)$$

$$D_{\widehat{\nabla f}} f = \nabla f \cdot \widehat{\nabla f} = \nabla f \cdot \frac{\nabla f}{\|\nabla f\|} = \|\nabla f\|$$

Método Proposto – Cálculo das Derivadas

- Terceira derivada na direção do gradiente:



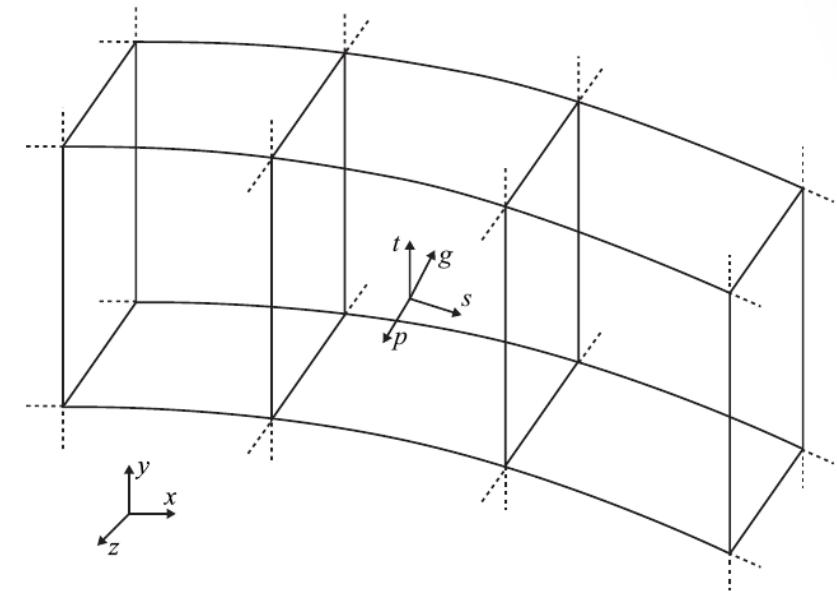
$$D_{\widehat{\nabla}f}^2 f = D_{\widehat{\nabla}f}(\|\nabla f\|) = \nabla(\|\nabla f\|) \cdot \widehat{\nabla f} = \nabla(\|\nabla f\|) \cdot \frac{\nabla f}{\|\nabla f\|} = \beta$$

$$D_{\widehat{\nabla}f}^3 f = D_{\widehat{\nabla}f}(\beta) = \nabla(\beta) \cdot \widehat{\nabla f} = \nabla(\beta) \cdot \frac{\nabla f}{\|\nabla f\|}$$

Método Proposto – Cálculo das Derivadas

- Derivadas em malhas não regulares: [Barroso et al. 2013].
- Regra da cadeia: mapeamento entre os espaços.

$$\nabla f_{(s,t,p)} = \begin{pmatrix} \frac{\partial f}{\partial s} \\ \frac{\partial f}{\partial t} \\ \frac{\partial f}{\partial p} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial s} + \frac{\partial f}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial s} + \frac{\partial f}{\partial z} \frac{\partial z}{\partial s} \\ \frac{\partial f}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial t} + \frac{\partial f}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial f}{\partial z} \frac{\partial z}{\partial t} \\ \frac{\partial f}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial p} + \frac{\partial f}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial p} + \frac{\partial f}{\partial z} \frac{\partial z}{\partial p} \end{pmatrix}$$



$$\nabla f_{(s,t,p)} = J \nabla f_{(x,y,z)}$$

- Multiplicando pela jacobiana inversa:

$$\nabla f_{(x,y,z)} = J^{-1} \nabla f_{(s,t,p)}$$

Método Proposto – Cálculo das Derivadas

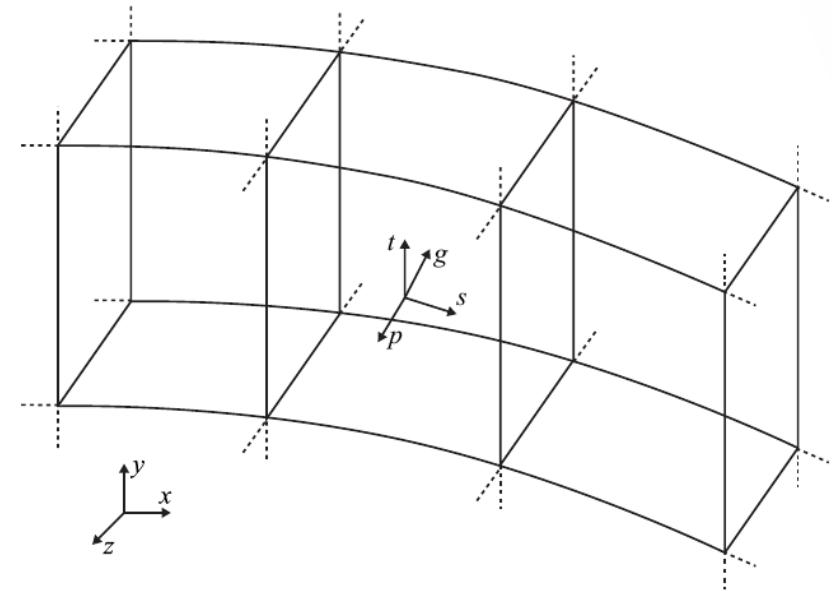
- Jacobiana para cada célula:

$$J = \begin{bmatrix} C_{i+\frac{1}{2},j,k} - C_{i-\frac{1}{2},j,k} \\ C_{i,j+\frac{1}{2},k} - C_{i,j-\frac{1}{2},k} \\ C_{i,j,k+\frac{1}{2}} - C_{i,j,k-\frac{1}{2}} \end{bmatrix}$$

$$D_{\widehat{\nabla f}} f_{(x,y,z)} = J^{-1} \cdot \nabla f_{(s,t,p)} \cdot J^{-1} \cdot \widehat{\nabla f}_{(s,t,p)} = \|\nabla f_{(x,y,z)}\|$$

$$D_{\widehat{\nabla f}}^2 f_{(x,y,z)} = J^{-1} \cdot \nabla(\|\nabla f_{(x,y,z)}\|)_{(s,t,p)} \cdot J^{-1} \cdot \widehat{\nabla f}_{(s,t,p)} = \beta$$

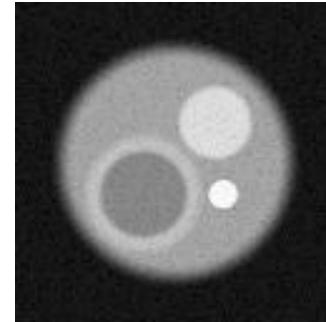
$$D_{\widehat{\nabla f}}^3 f_{(x,y,z)} = J^{-1} \cdot \nabla(\beta)_{(s,t,p)} \cdot J^{-1} \cdot \widehat{\nabla f}_{(s,t,p)}$$



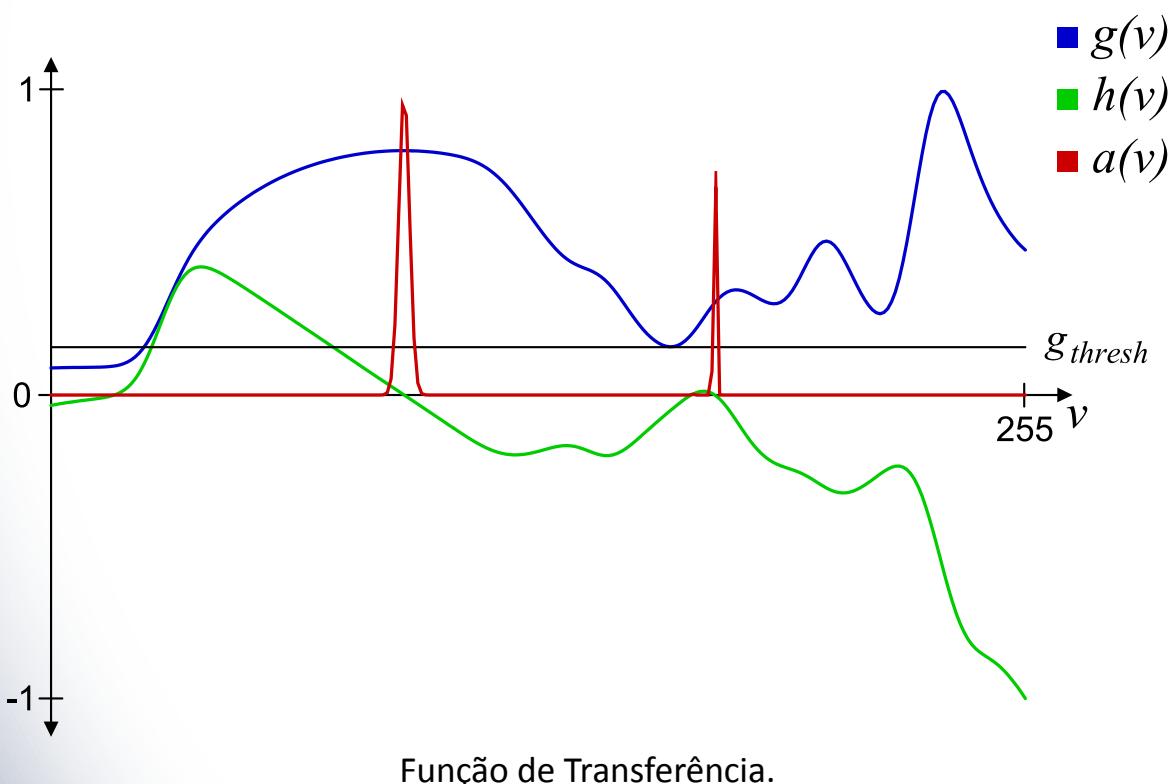
Resultados

Resultados

- Método de Kindlmann e Durkin.
- Volume “Test Spheres”.



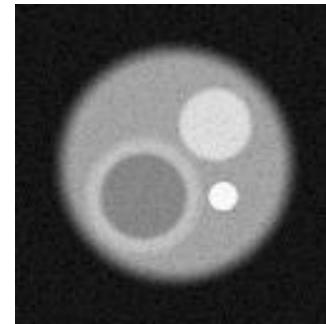
Fatia do volume, com 5 fronteiras.



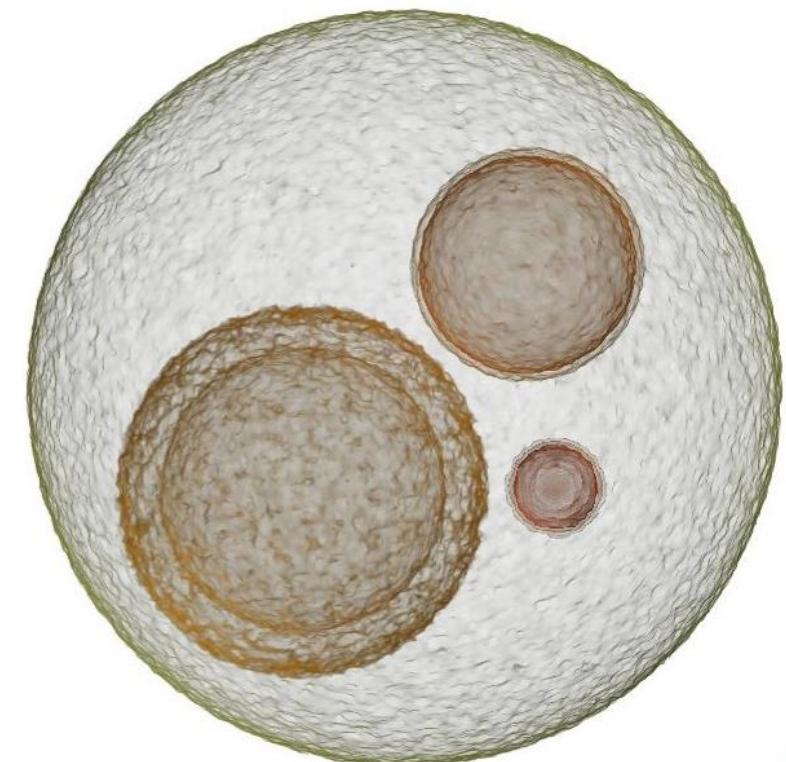
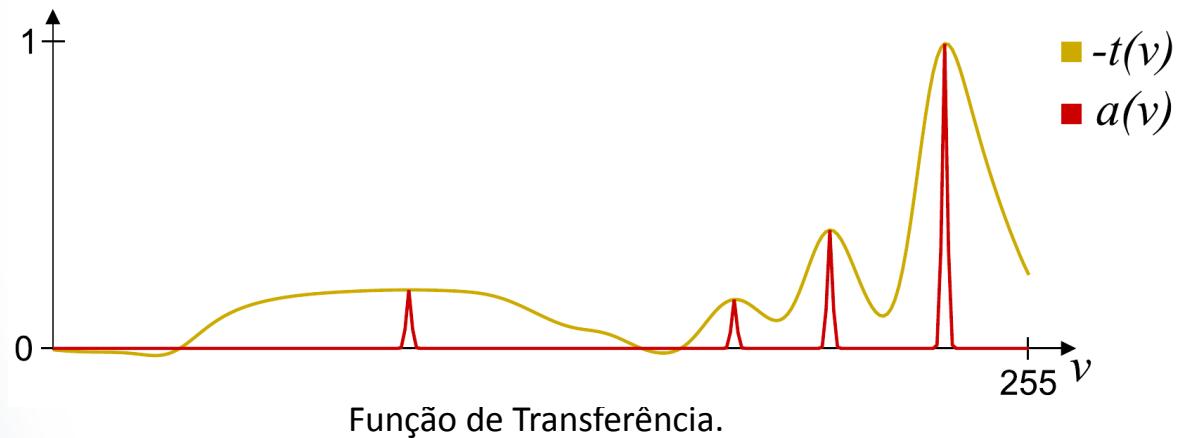
Visualização do volume.

Resultados

- Método proposto.
- Volume “Test Spheres”.



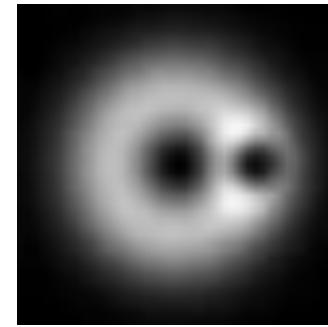
Fatia do volume, com 5 fronteiras.



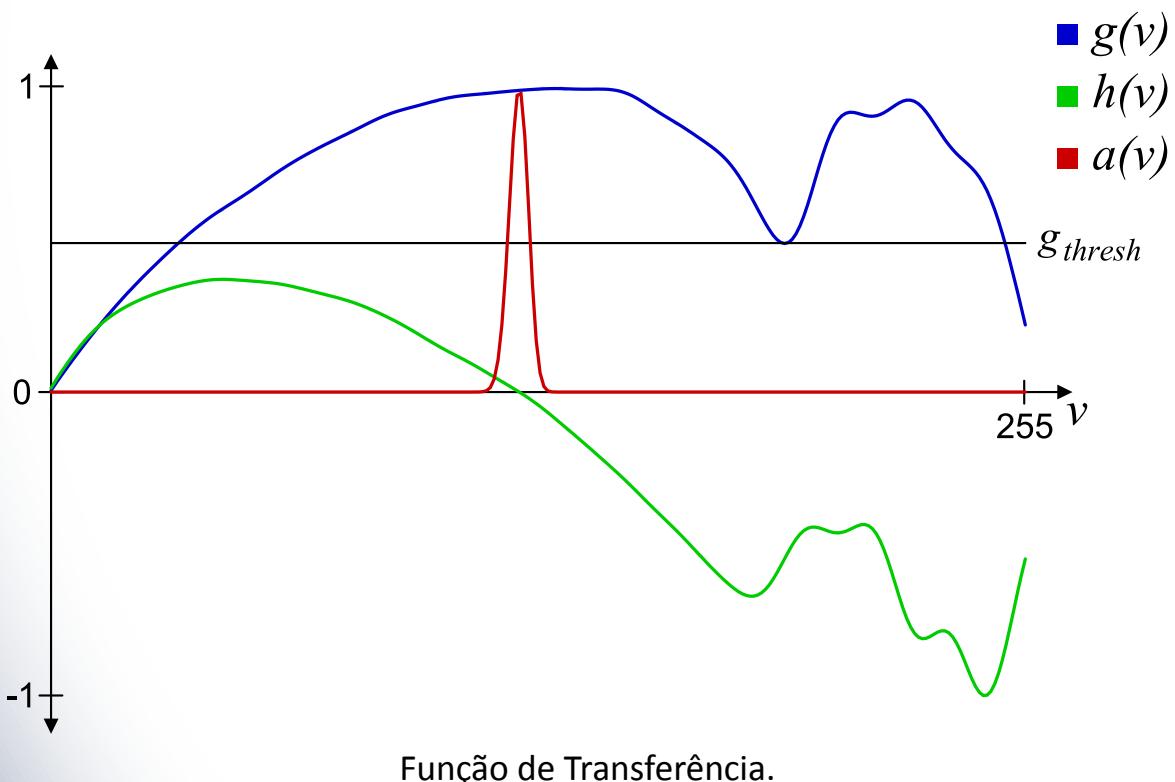
Visualização do volume.

Resultados

- Método de Kindlmann e Durkin.
- Volume “Nucleon”.



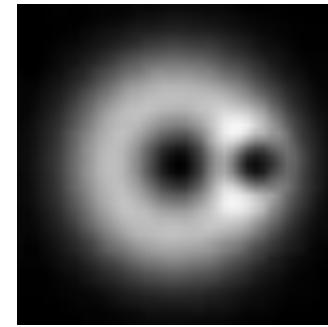
Fatia do volume.



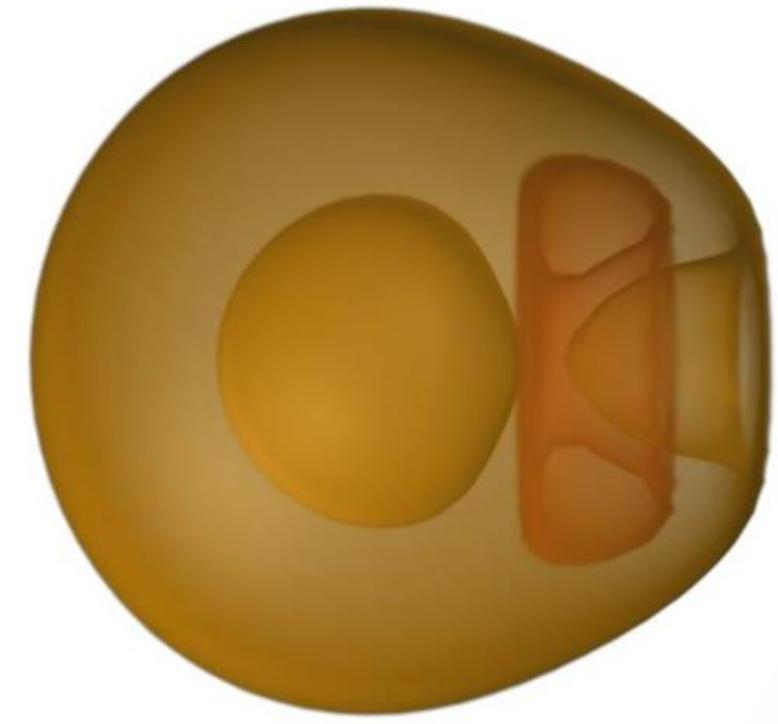
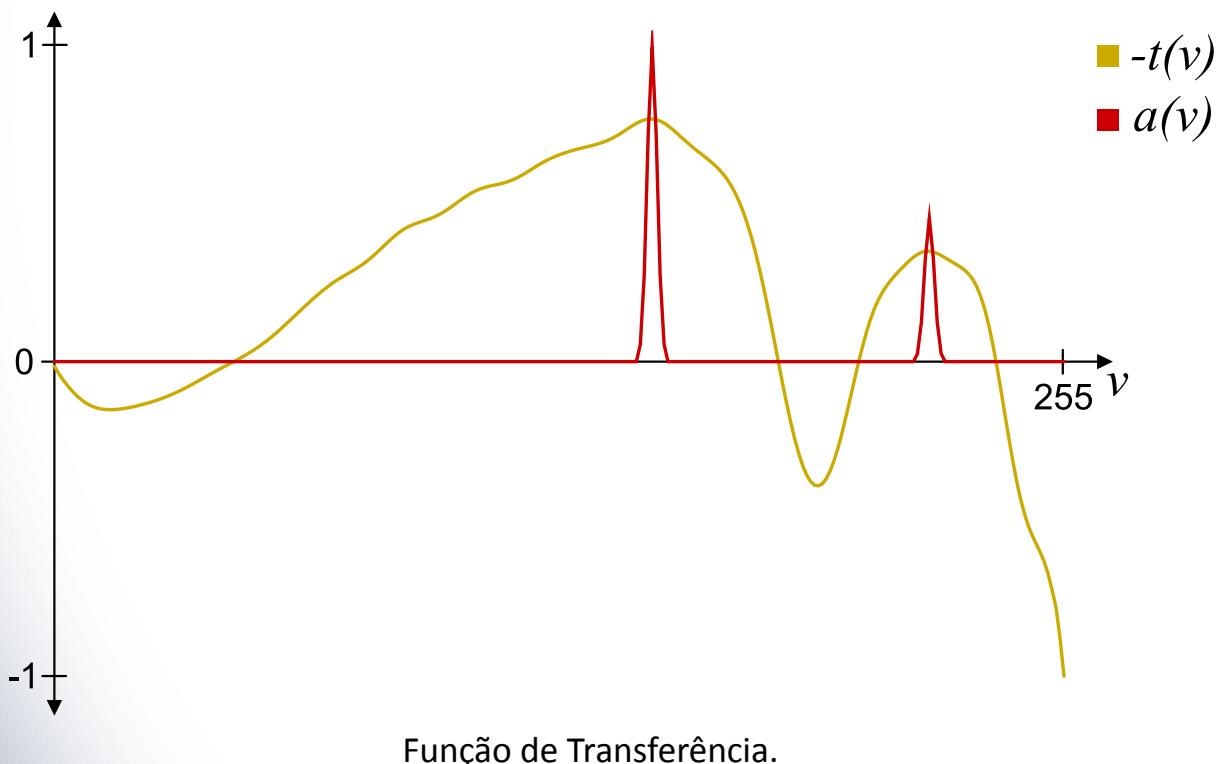
Visualização do volume.

Resultados

- Método proposto.
- Volume “Nucleon”.



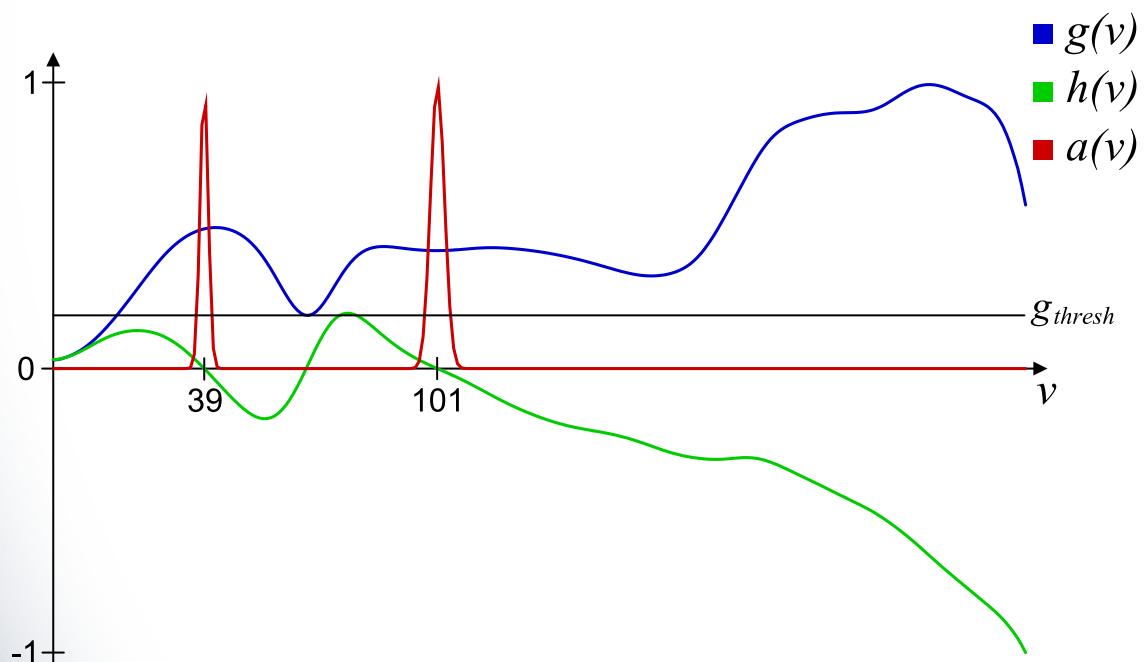
Fatia do volume.



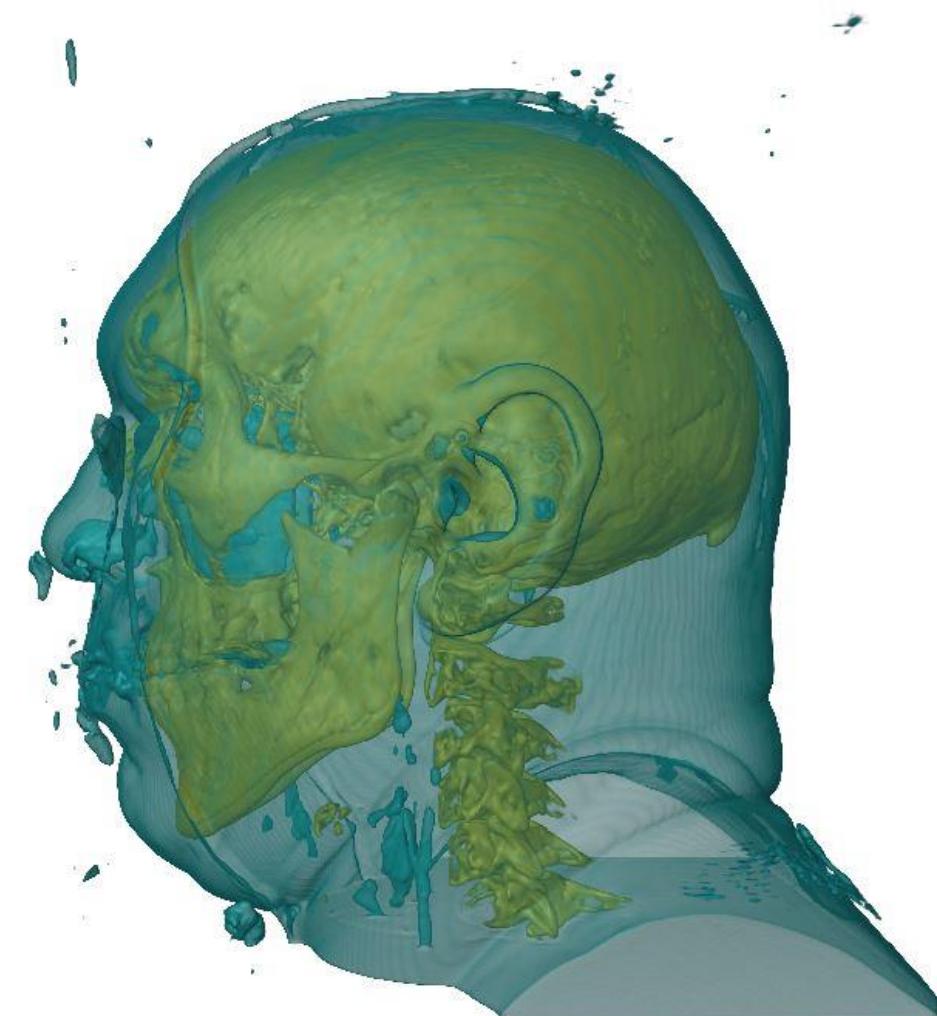
Visualização do volume.

Resultados

- Método de Kindlmann e Durkin.
- Volume “Visible Male Head”.



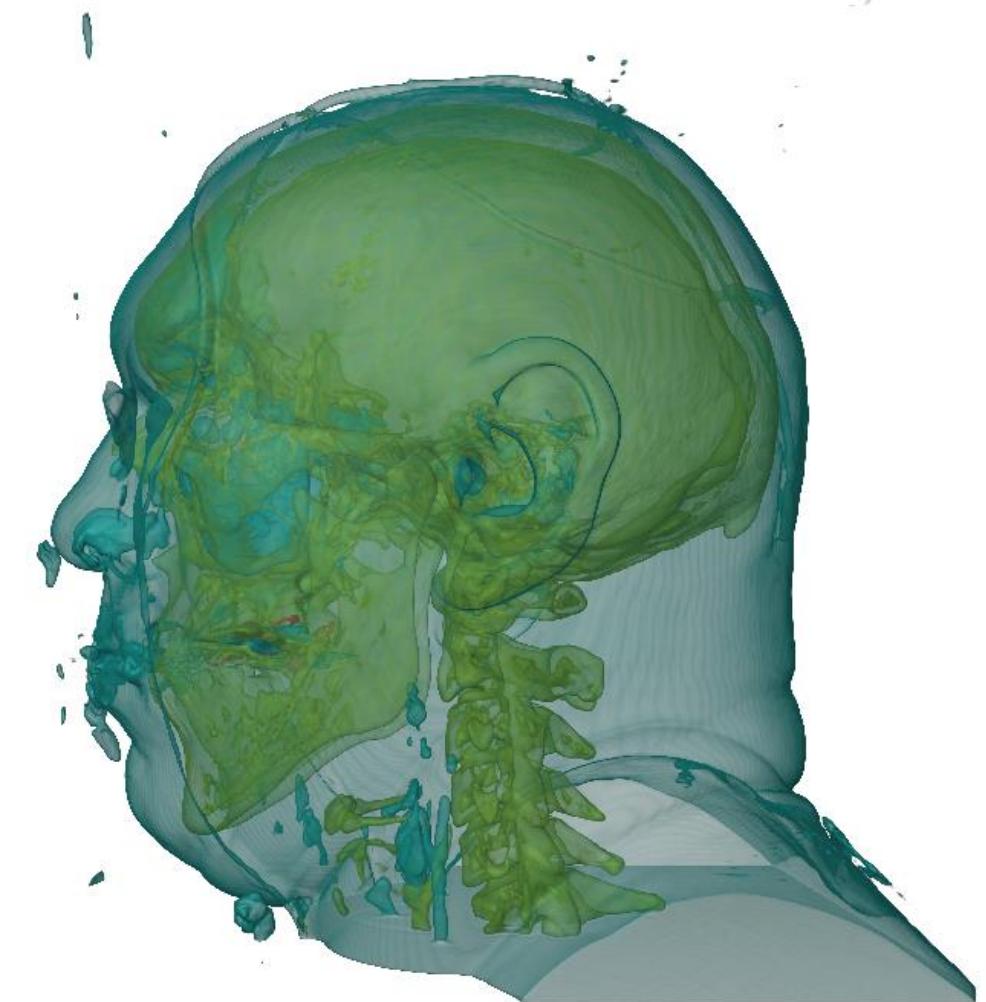
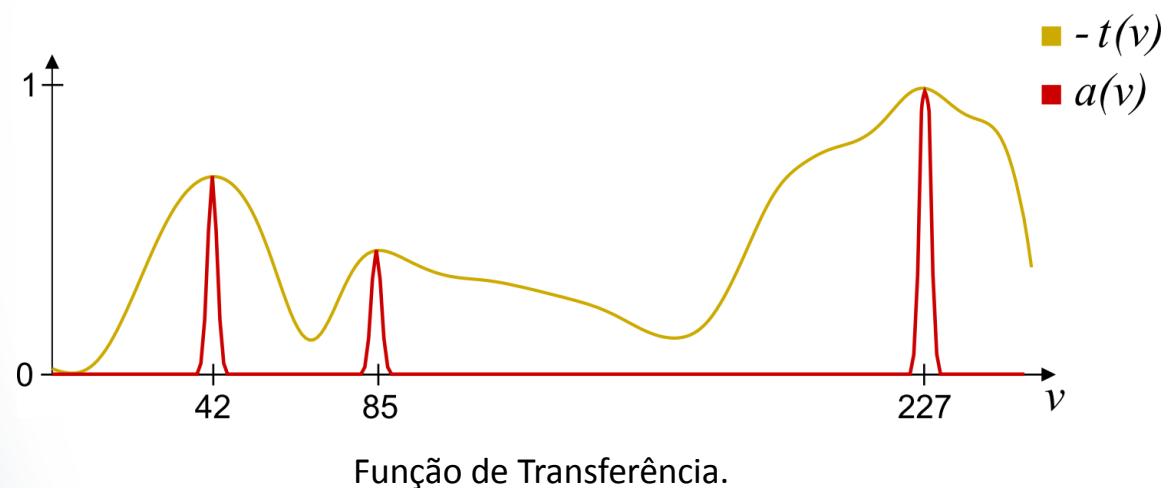
Função de Transferência.



Visualização do volume.

Resultados

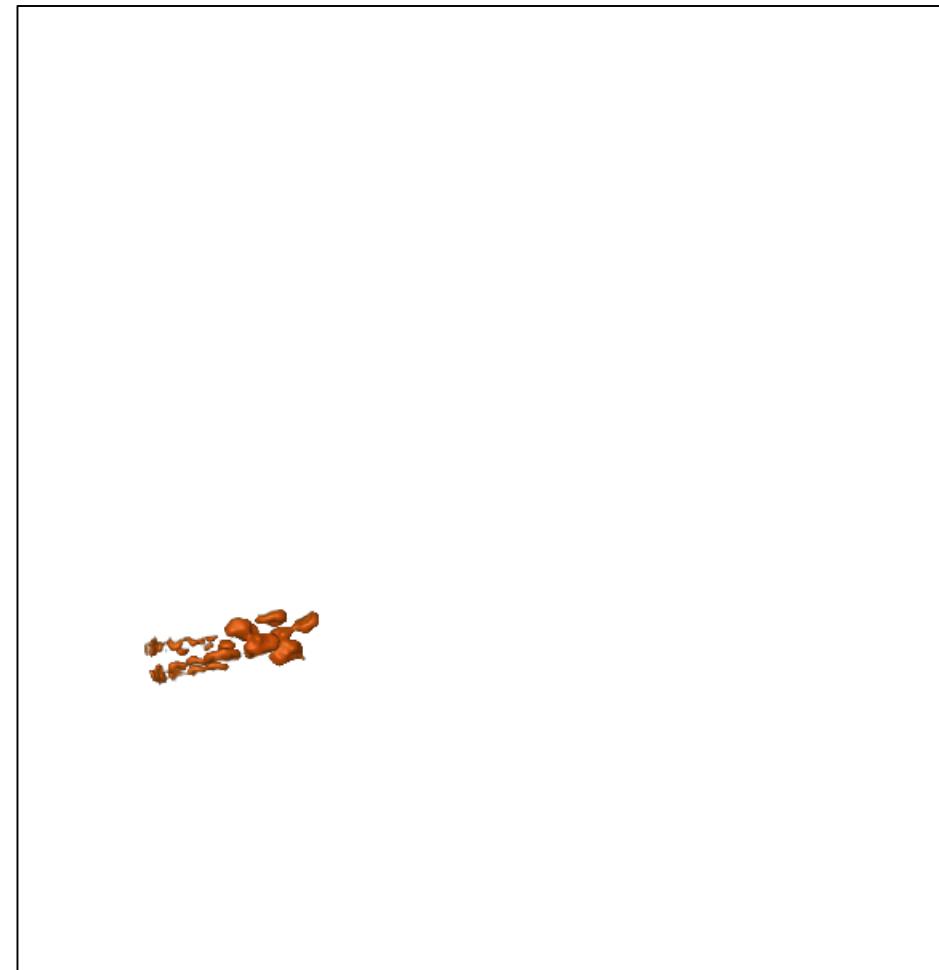
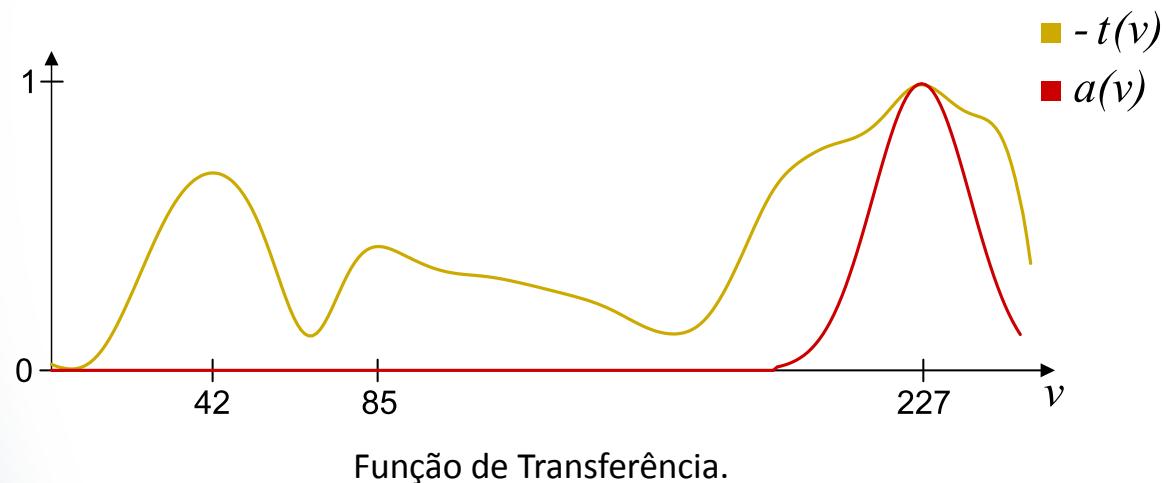
- Método proposto.
- Volume “Visible Male Head”.



Visualização do volume.

Resultados

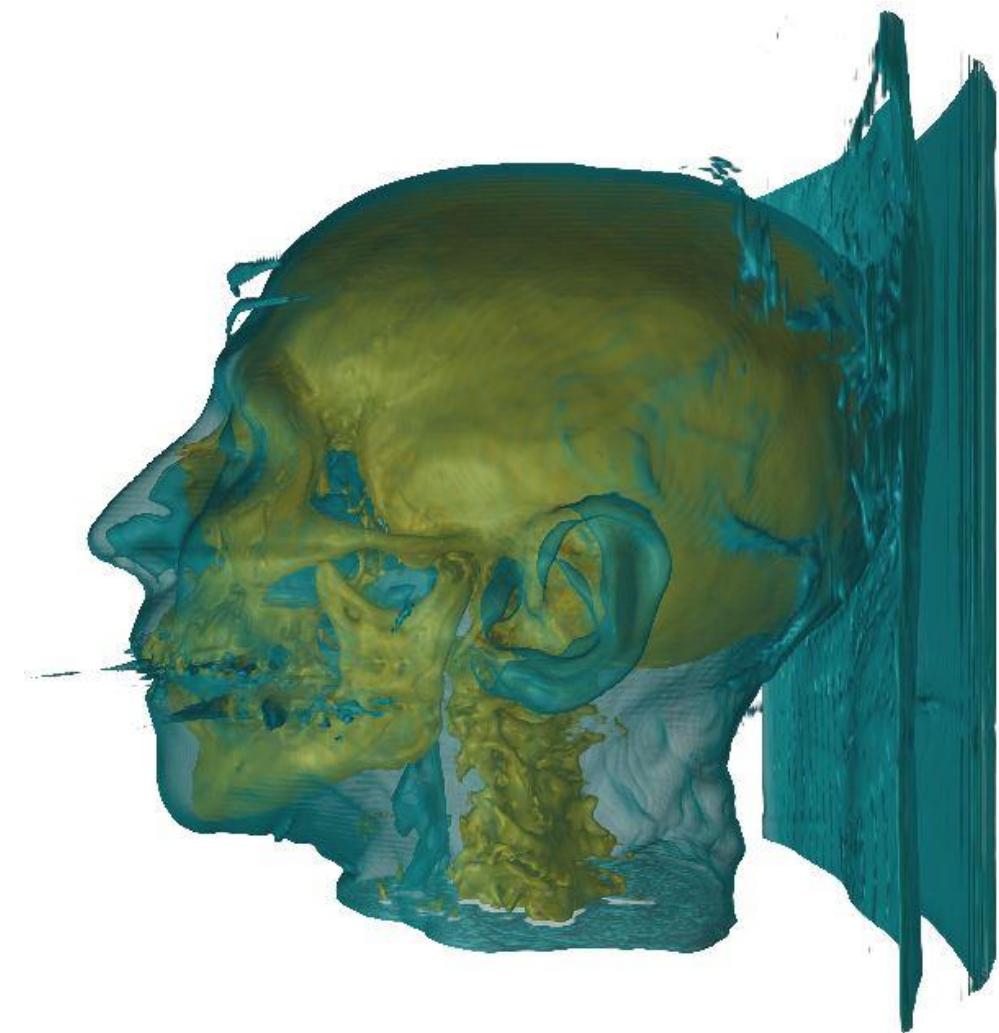
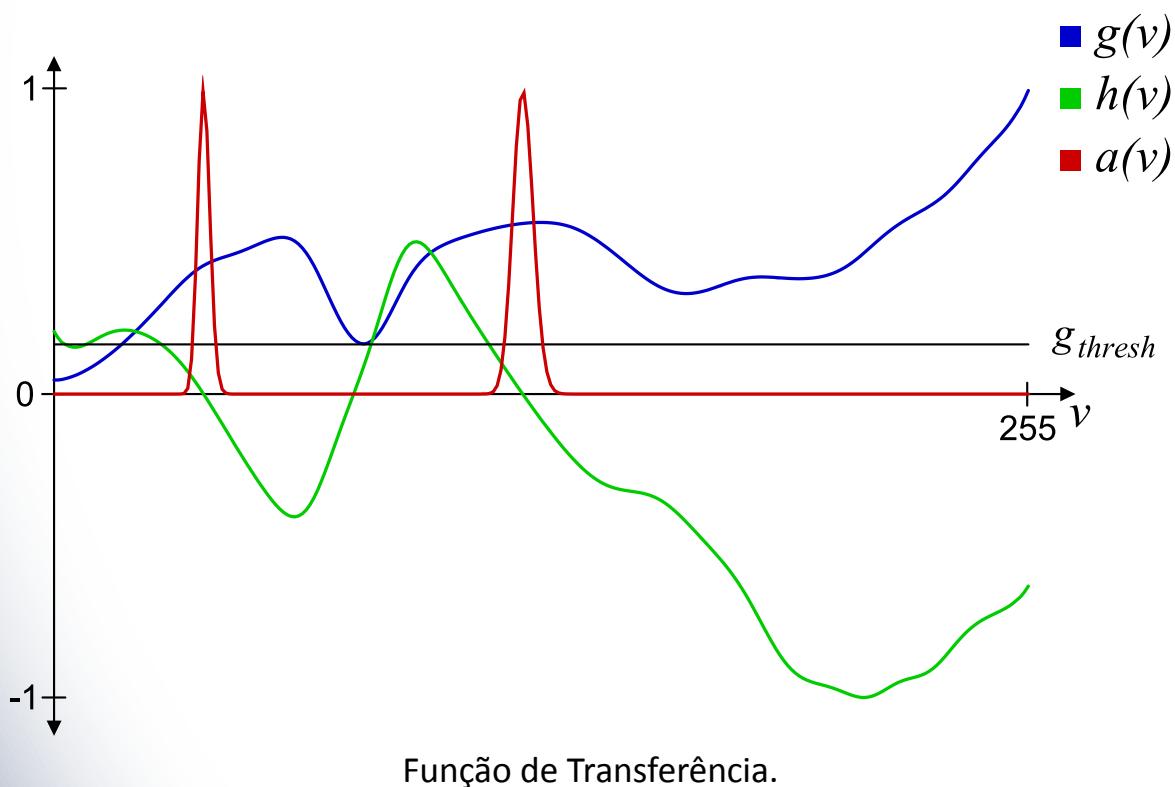
- Método proposto.
- Volume “Visible Male Head”.
- Realce dos dentes.



Visualização do volume.

Resultados

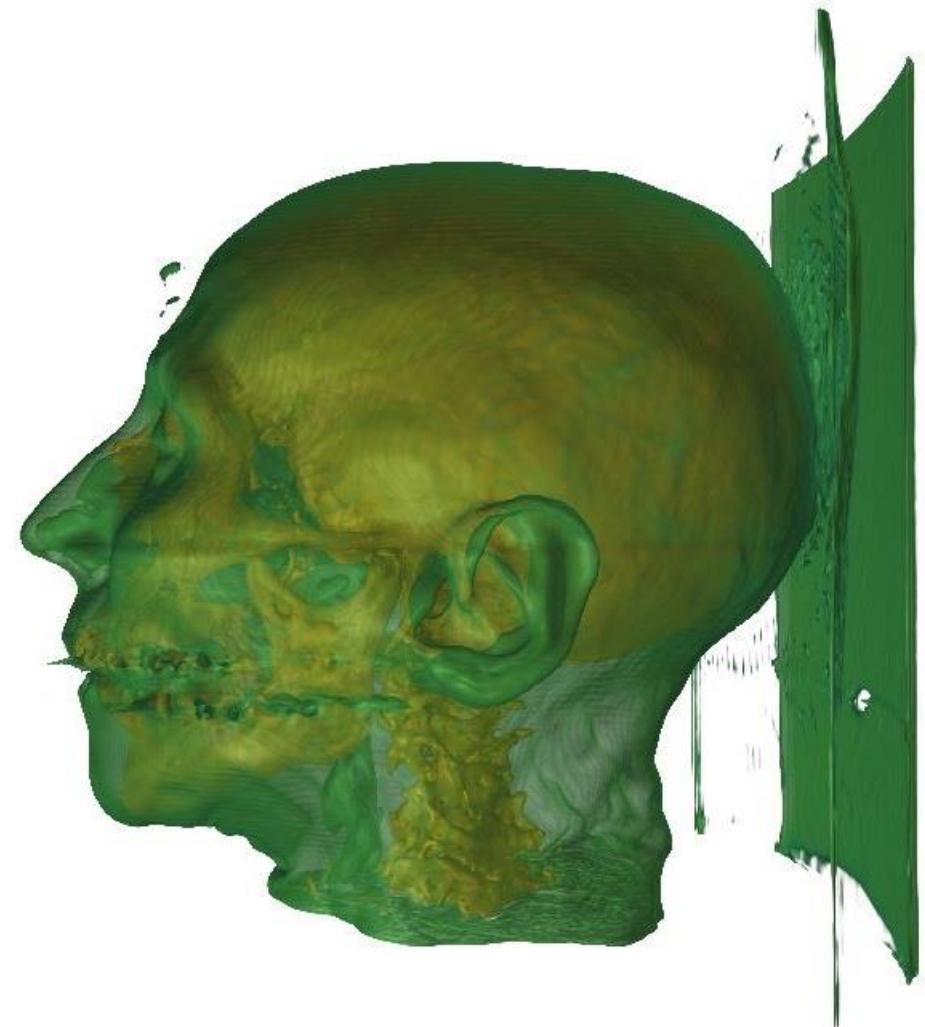
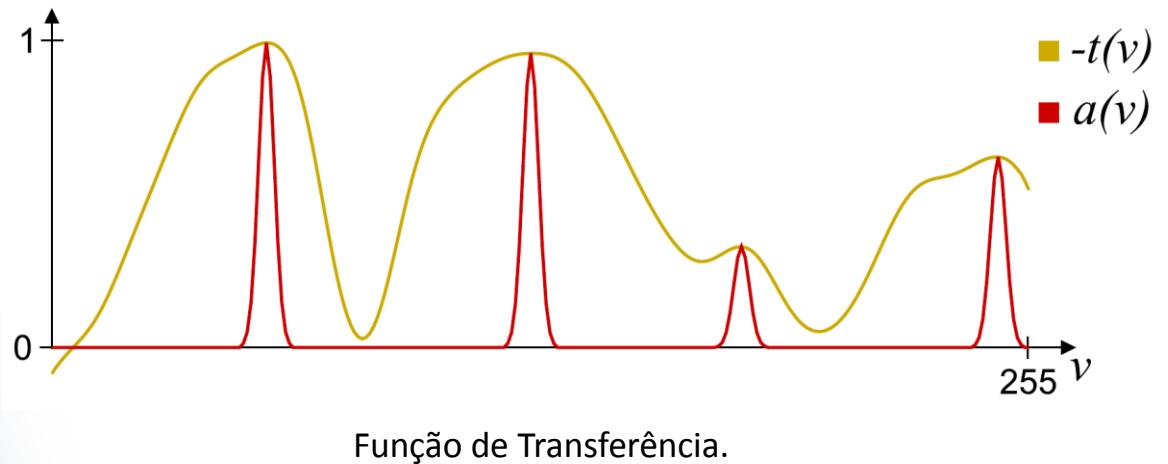
- Método de Kindlmann e Durkin.
- Volume “CT Head”.



Visualização do volume.

Resultados

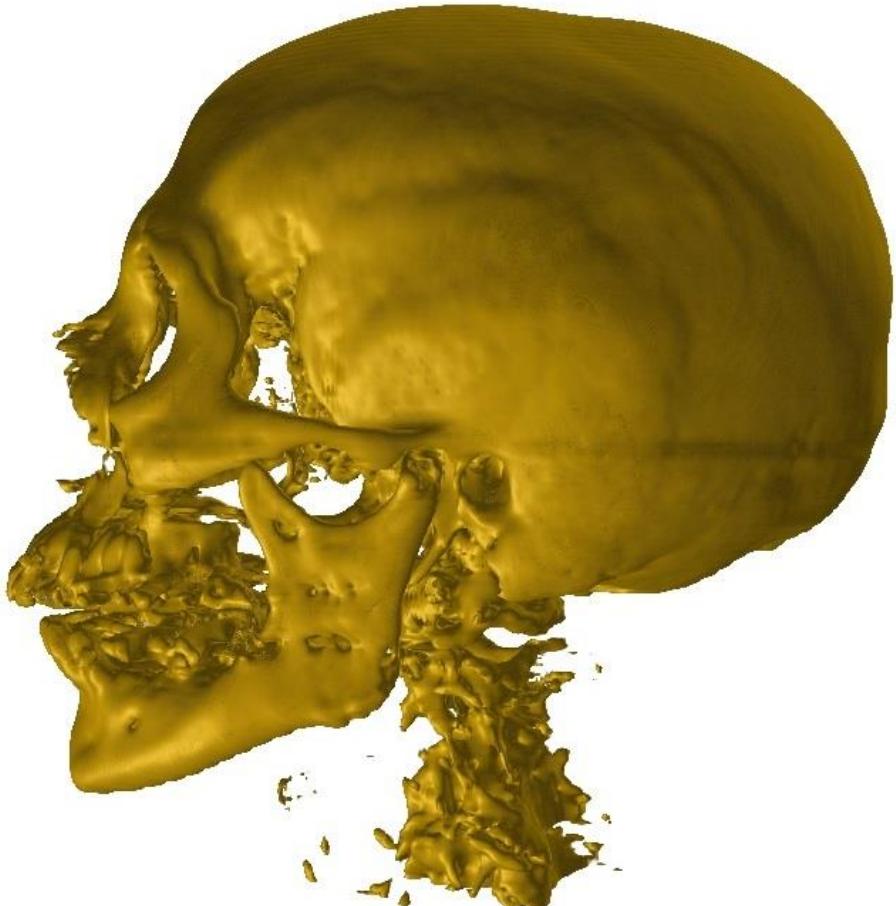
- Método proposto.
- Volume “CT Head”.



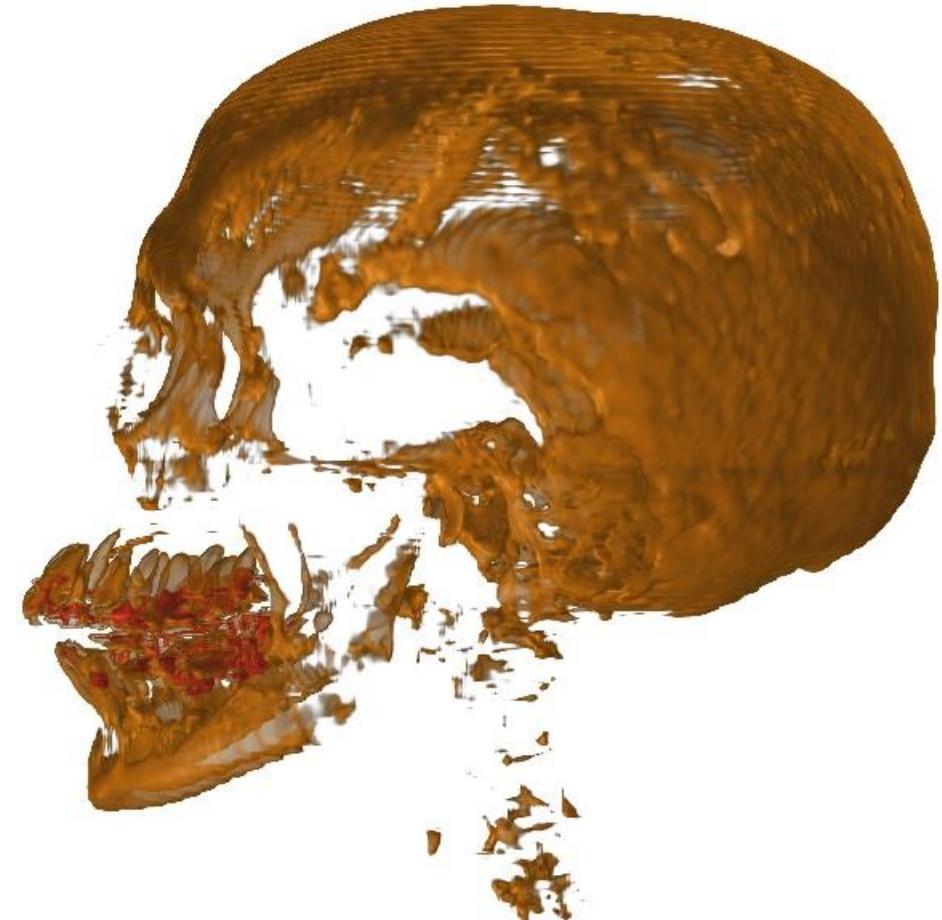
Visualização do volume.

Resultados

- Método proposto: isolando fronteiras.
- Volume “CT Head”.



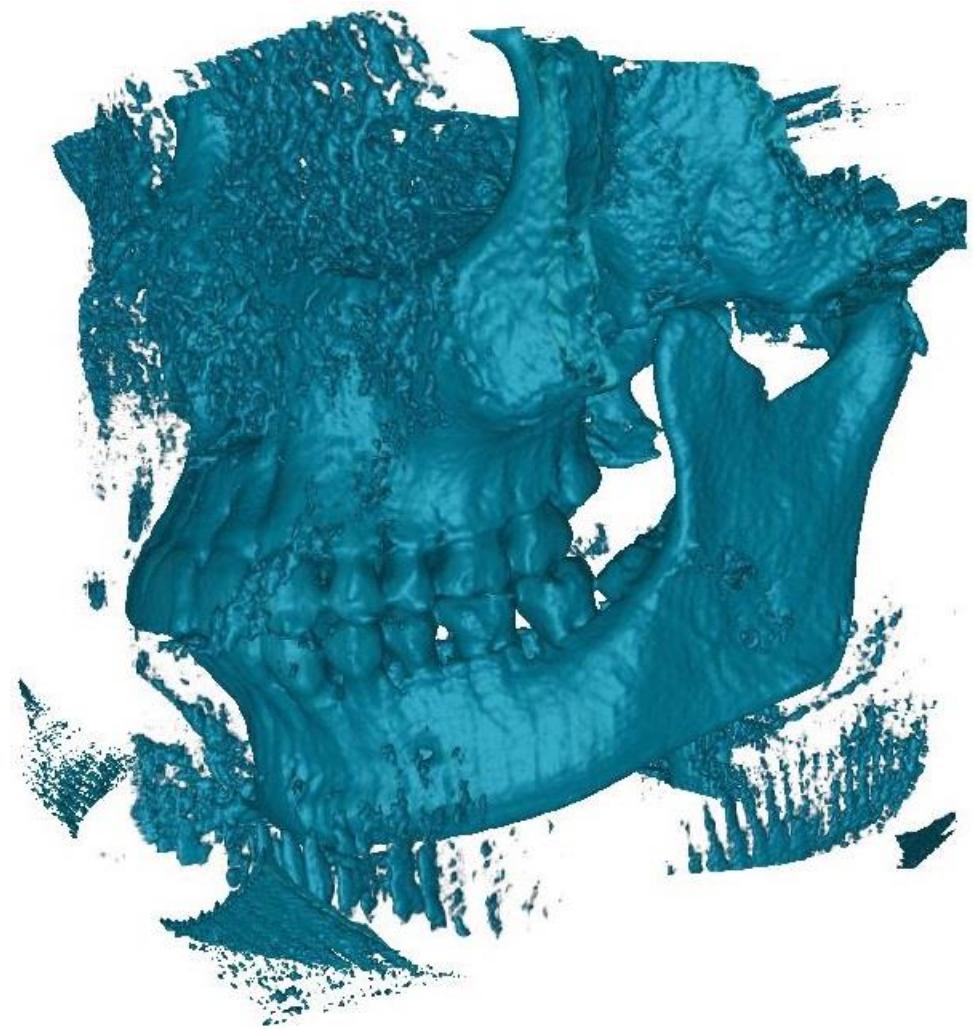
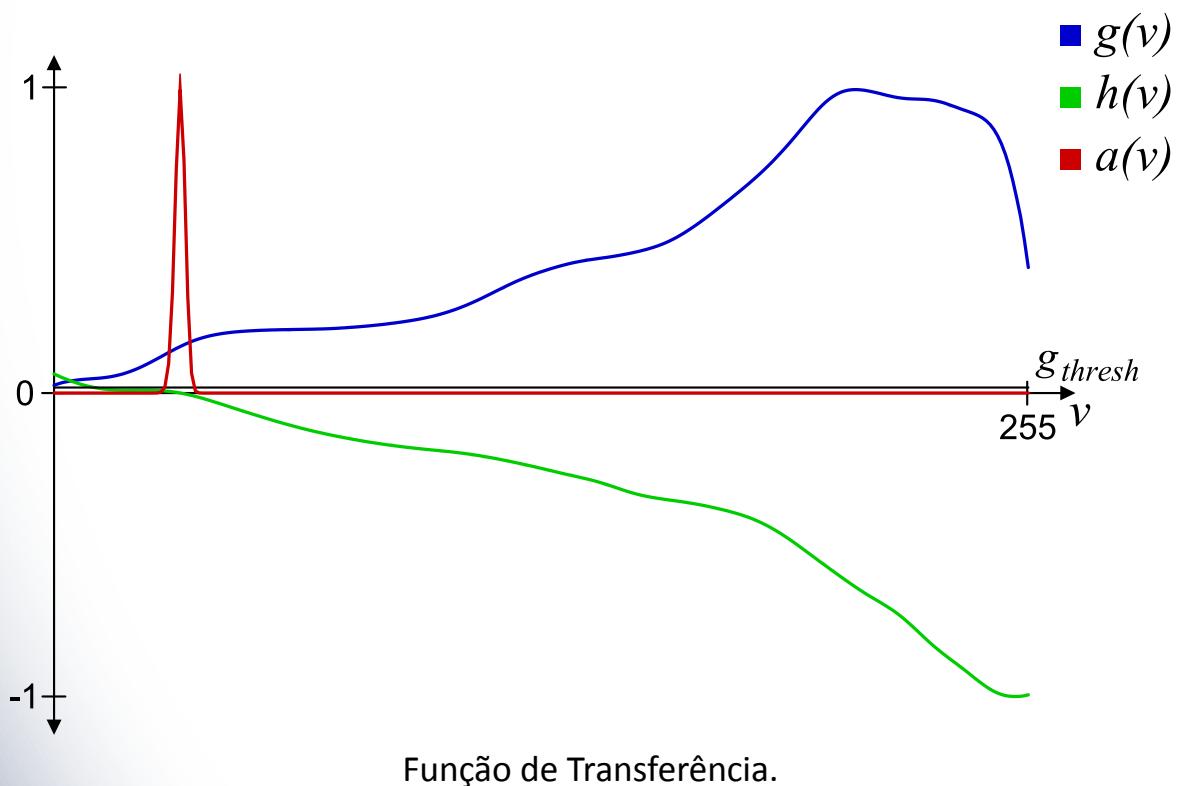
Visualização a partir da 2^a fronteira.



Visualização a partir da 3^a e 4^a fronteiras.

Resultados

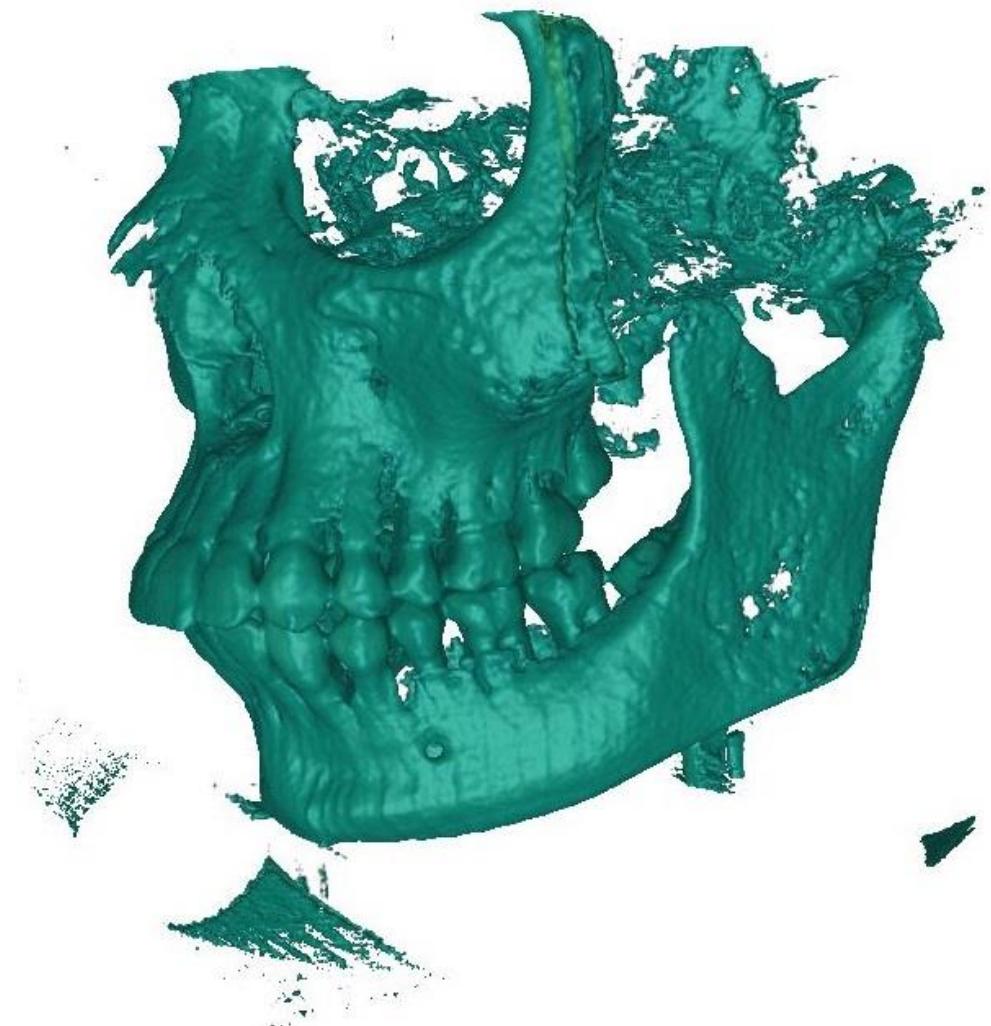
- Método de Kindlmann e Durkin.
- Volume “CT Head”.



Visualização do volume.

Resultados

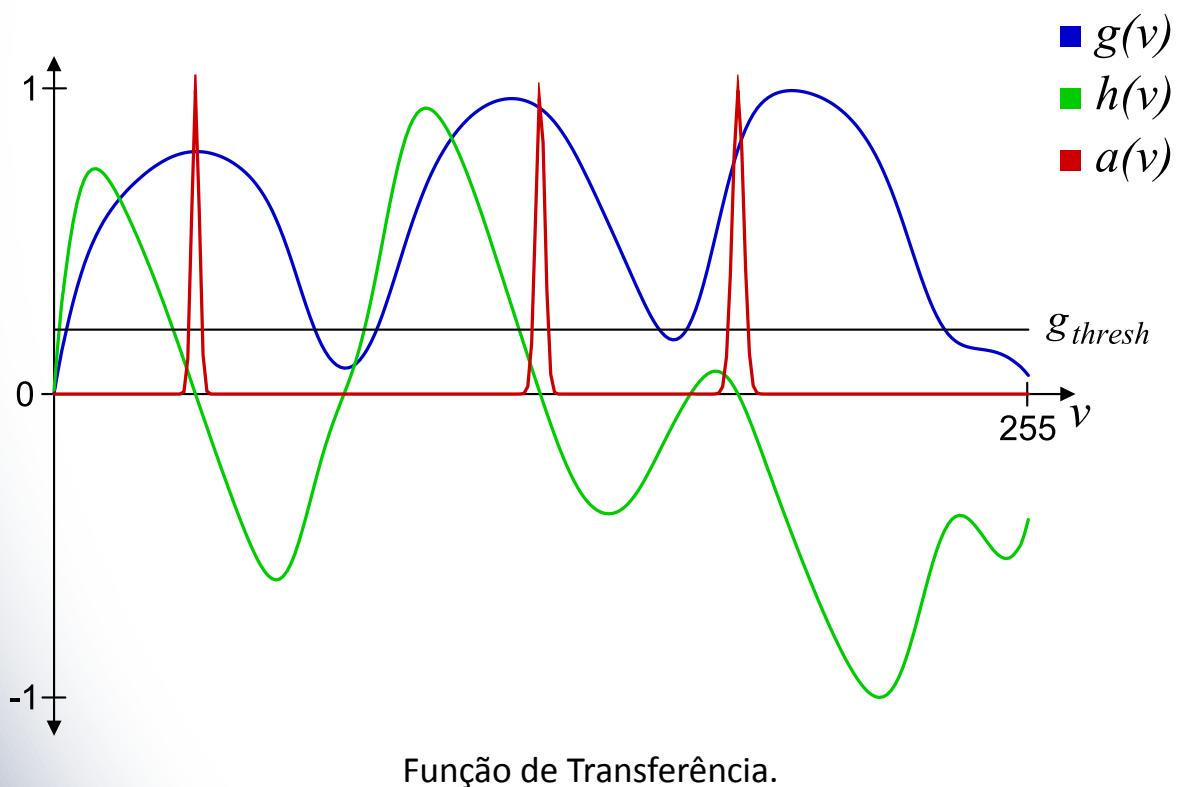
- Método proposto.
- Volume “CT Head”.



Visualização do volume.

Resultados

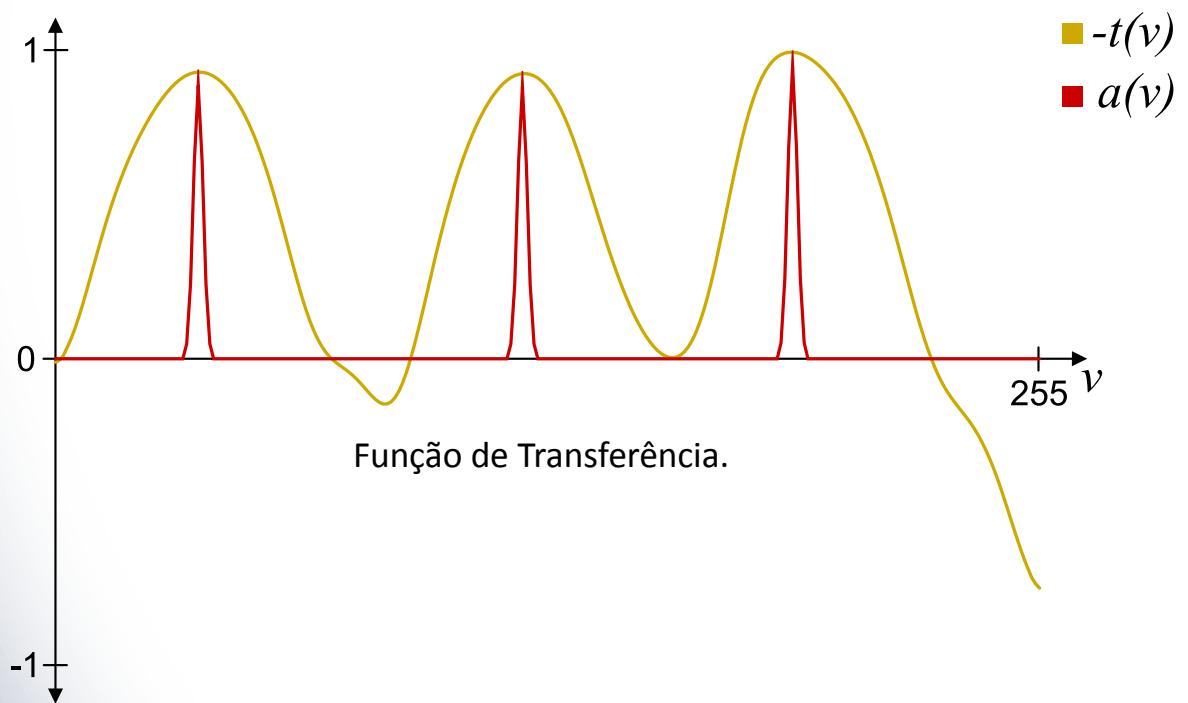
- Método de Kindlmann e Durkin.
- Volume “Tooth”.



Visualização do volume.

Resultados

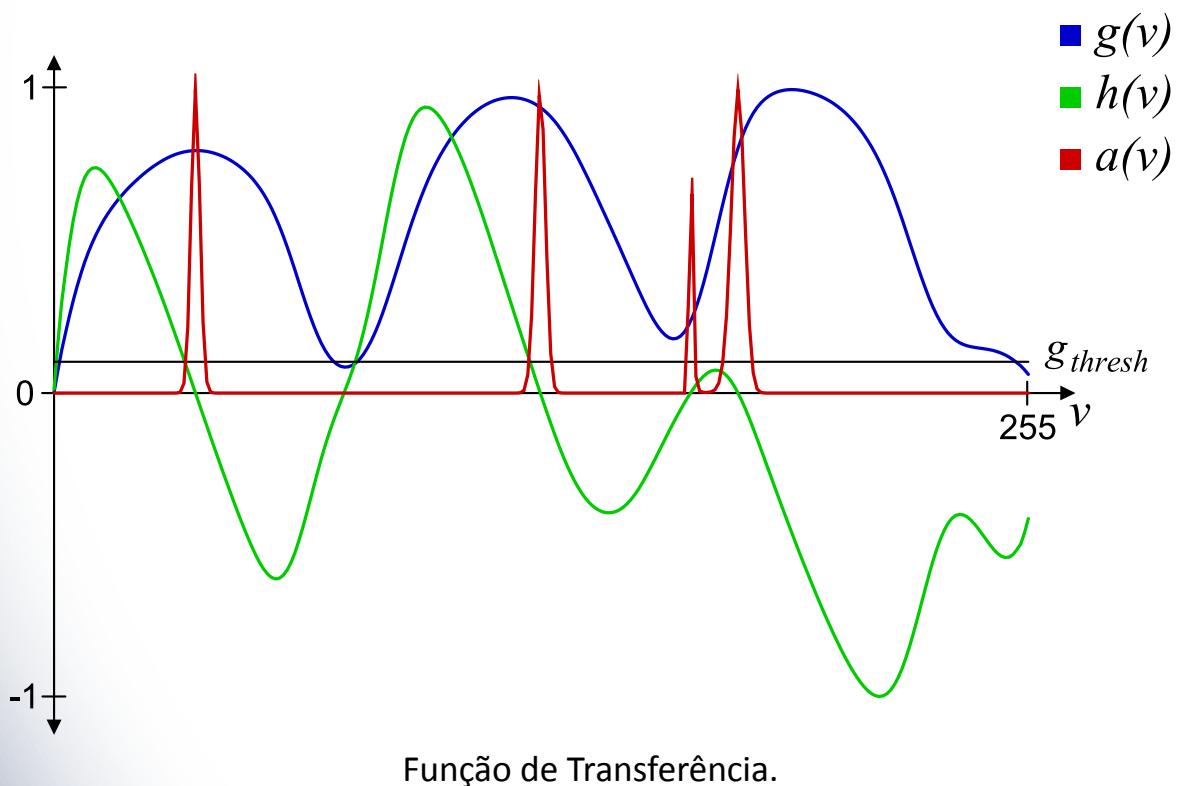
- Método proposto.
- Volume “Tooth”.



Visualização do volume.

Resultados

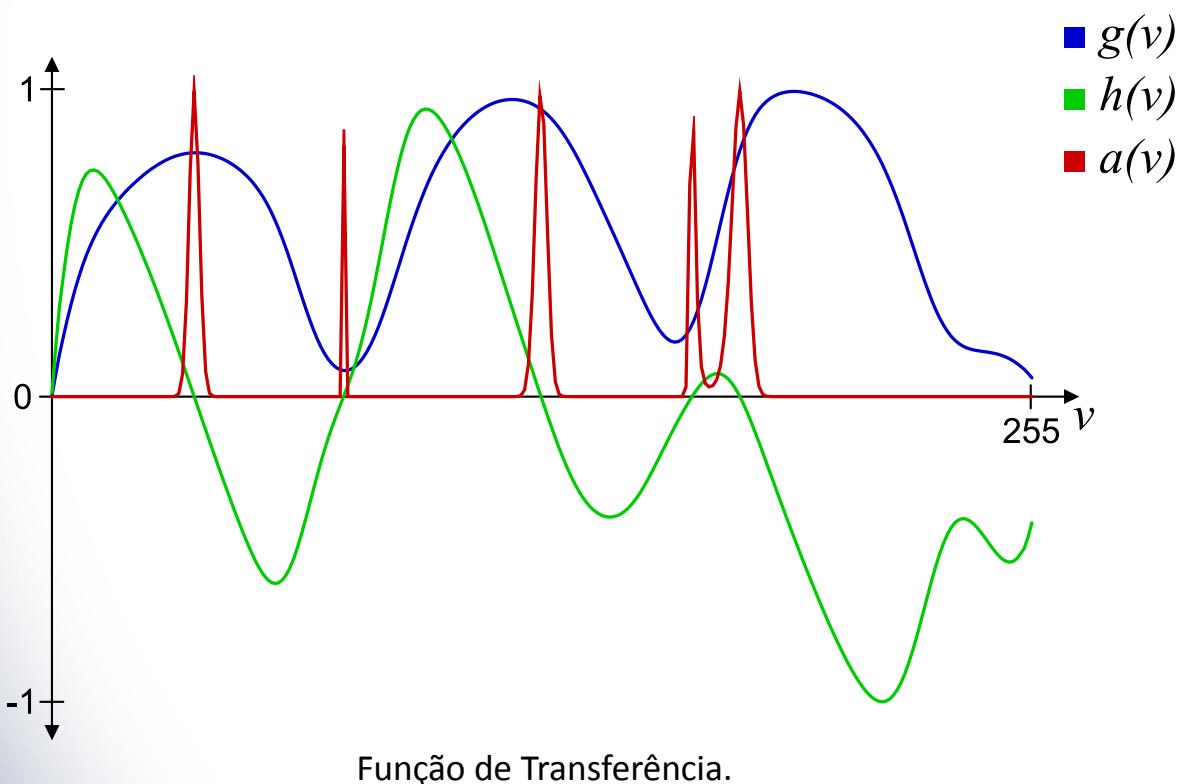
- Método de Kindlmann e Durkin.
- Volume “Tooth”.
- Metade do threshold.



Visualização do volume.

Resultados

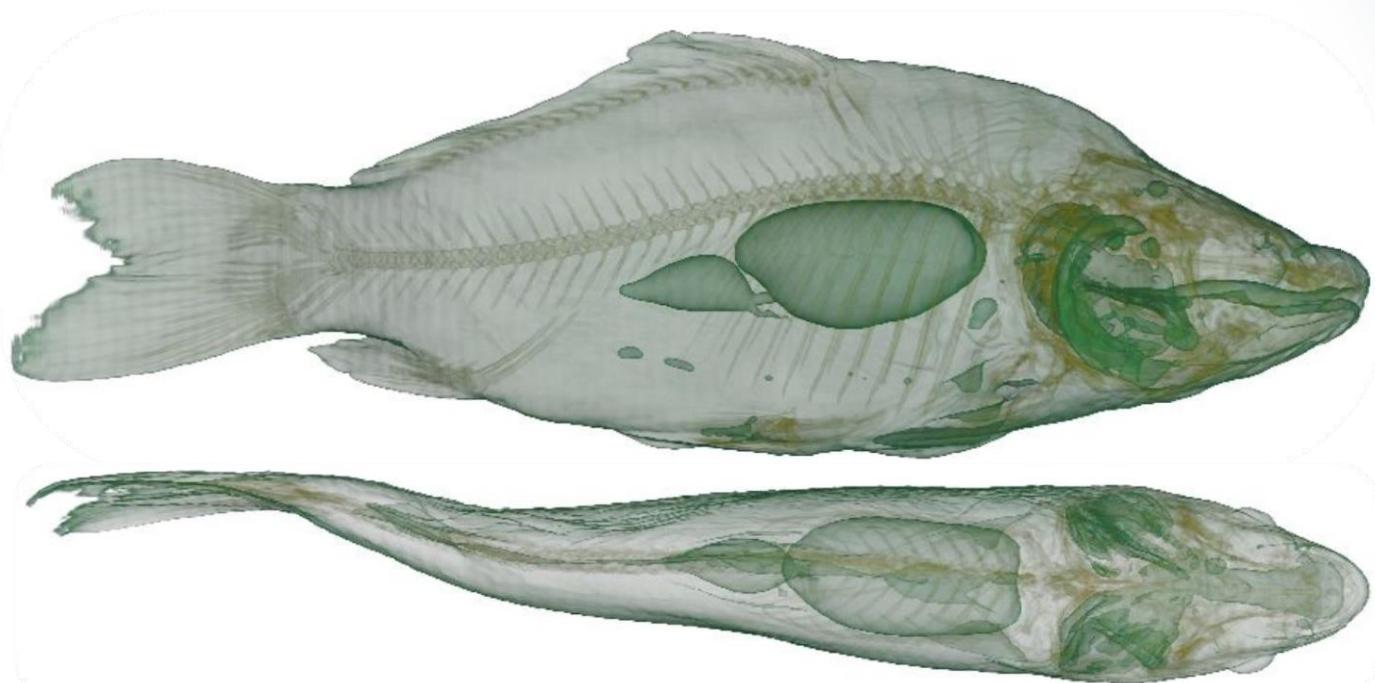
- Método de Kindlmann e Durkin.
- Volume “Tooth”.
- Sem threshold.



Visualização do volume.

Resultados

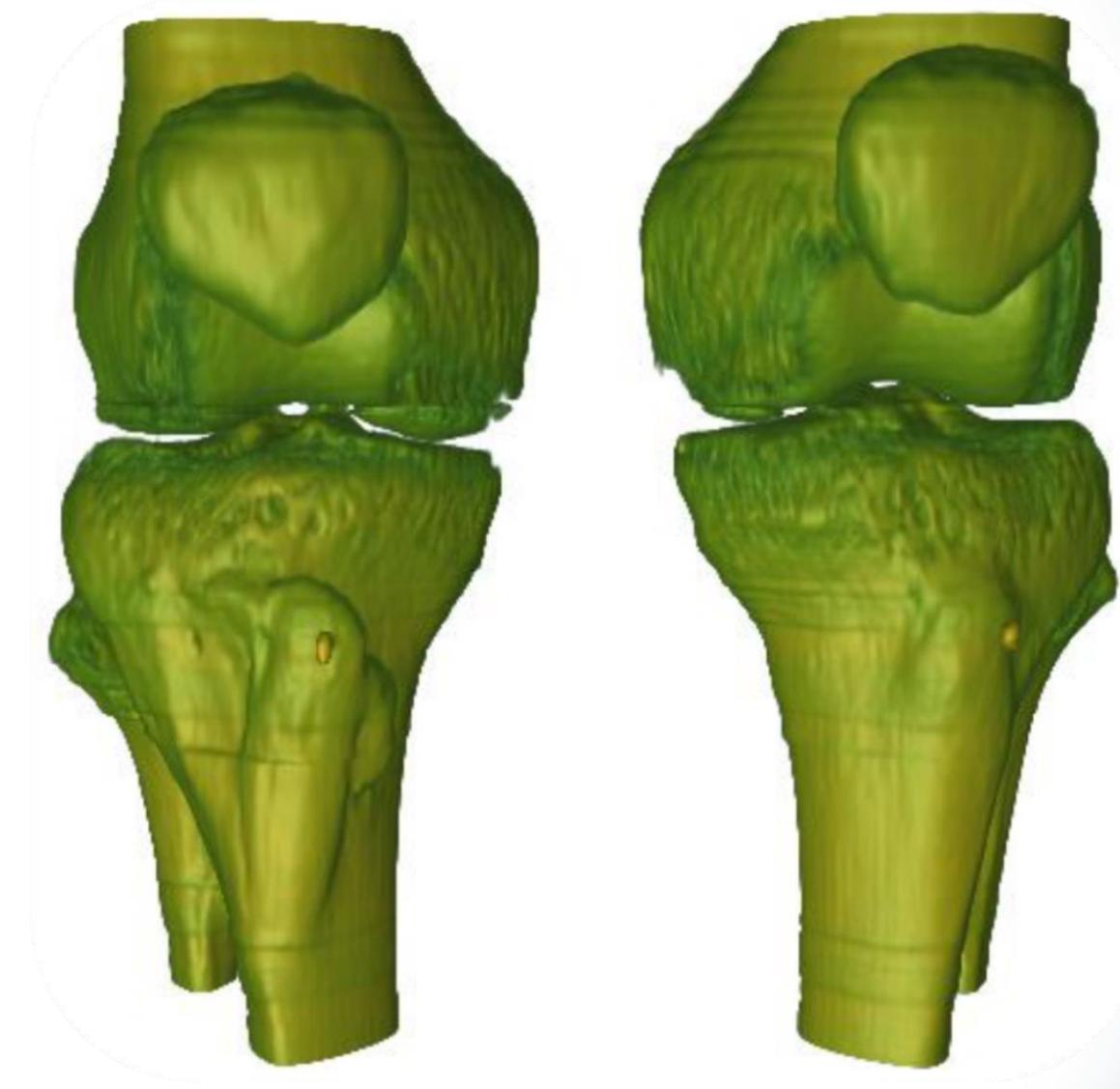
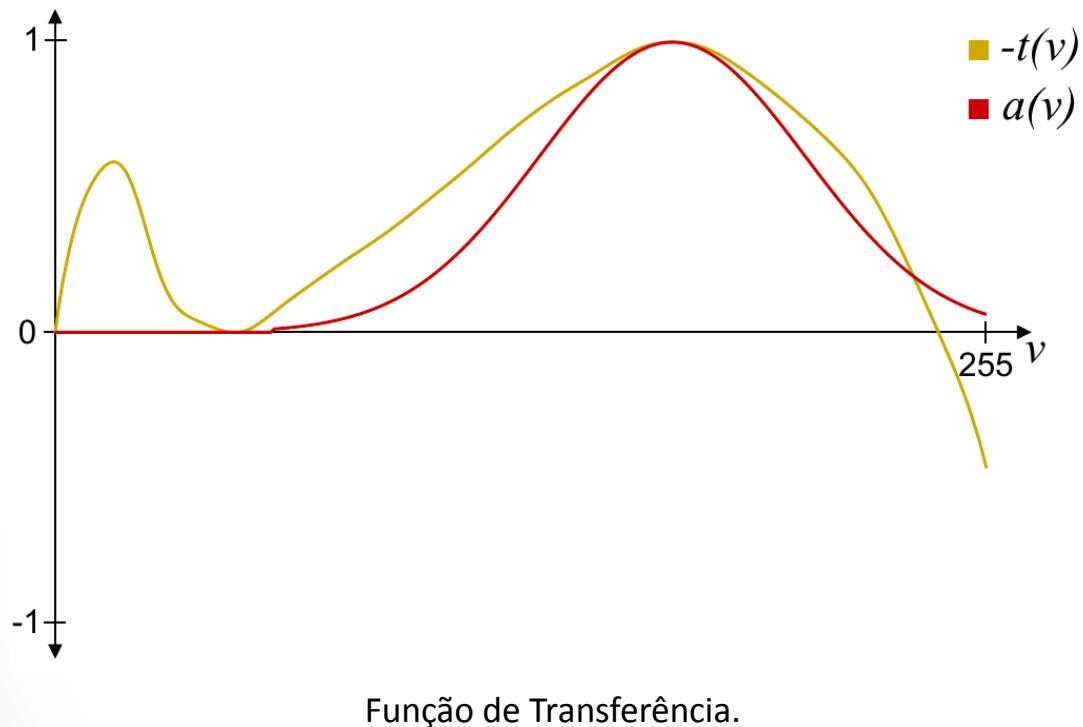
- Método proposto.
- Volume “Carpa”.
- Visualização individual de fronteira.



Visualização do volume.

Resultados

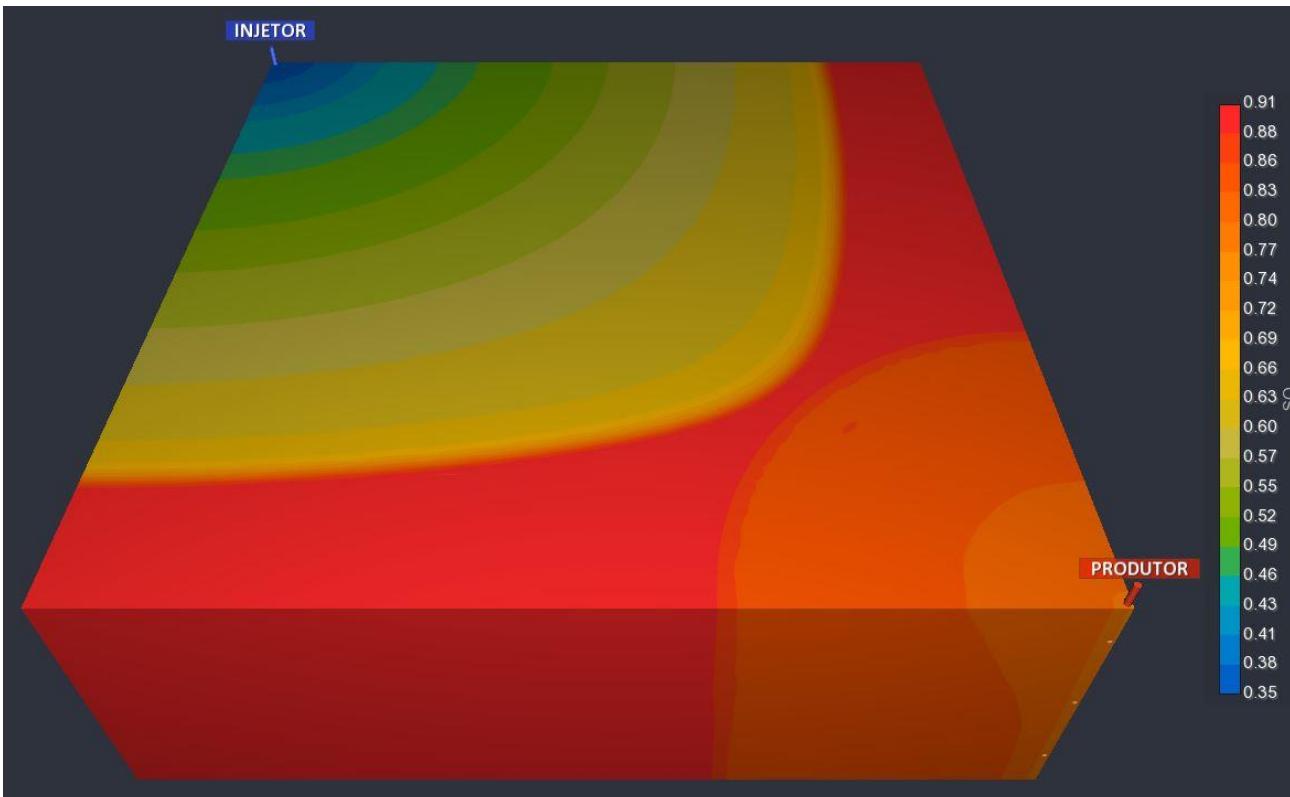
- Método proposto.
- Volume “Knees”.
- Visualização individual de fronteira.



Visualização do volume.

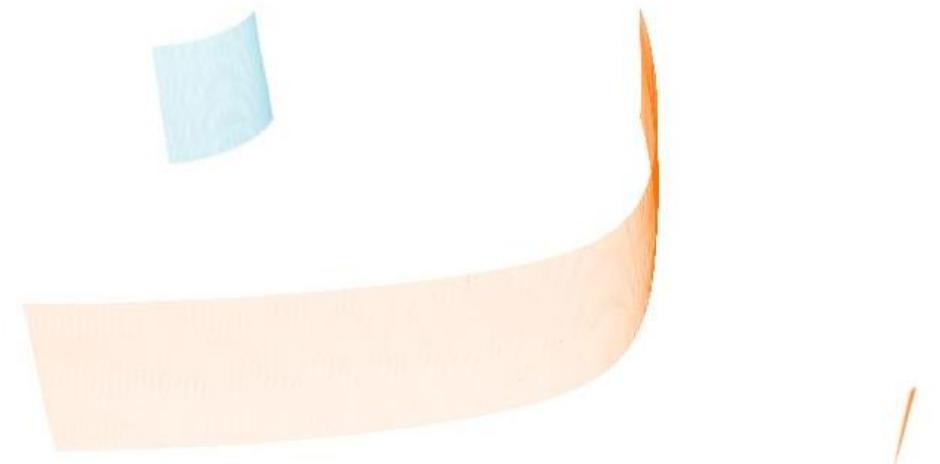
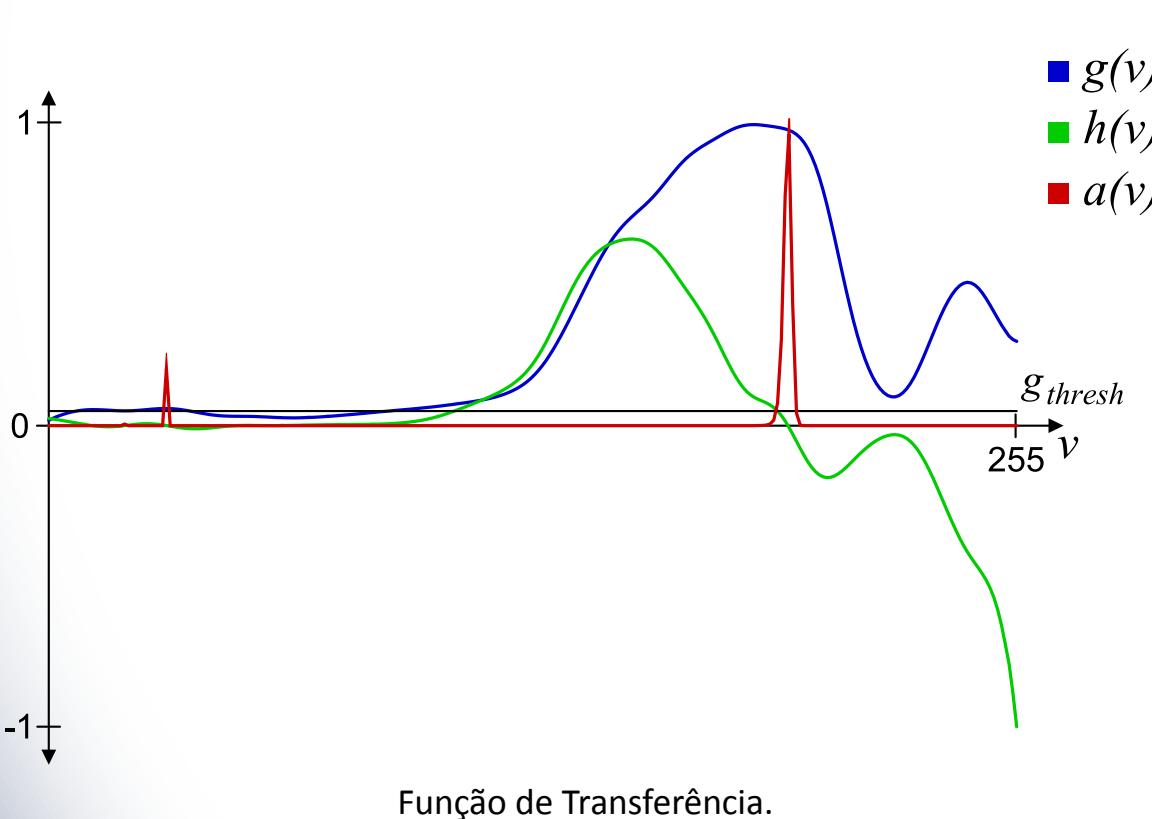
Resultados

- Saturação de óleo no modelo de reservatório A:



Resultados

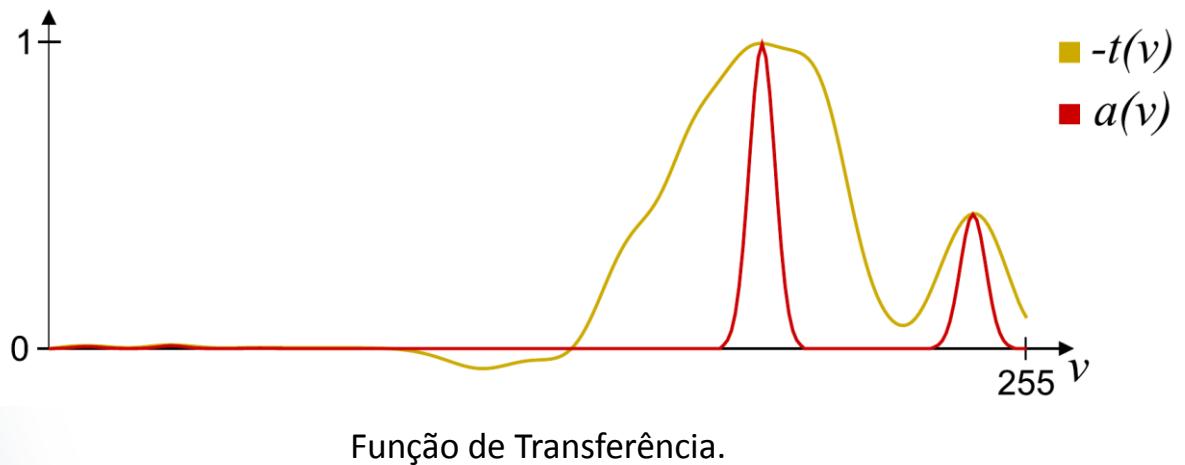
- Método de Kindlmann e Durkin.
- Modelo A – Saturação de Óleo.
- Visualizador: [Miranda e Celes, 2011].



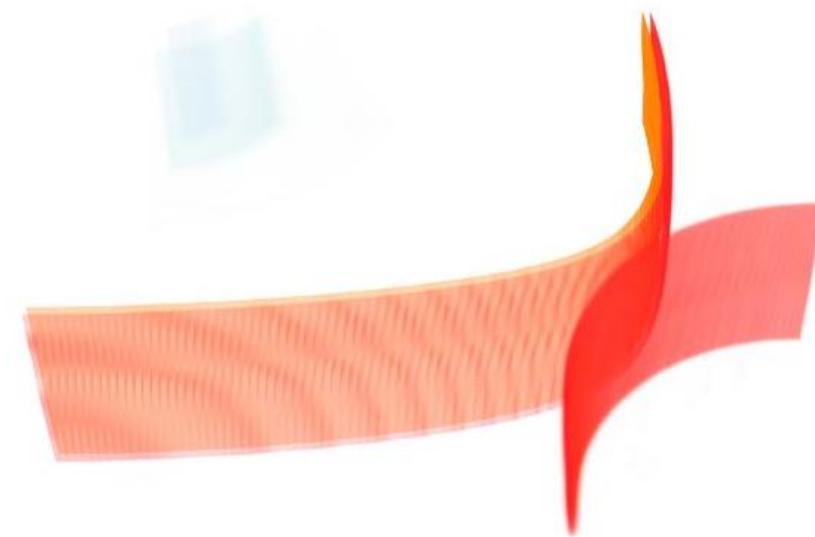
Visualização do volume.

Resultados

- Método proposto.
- Modelo A – Saturação de Óleo.



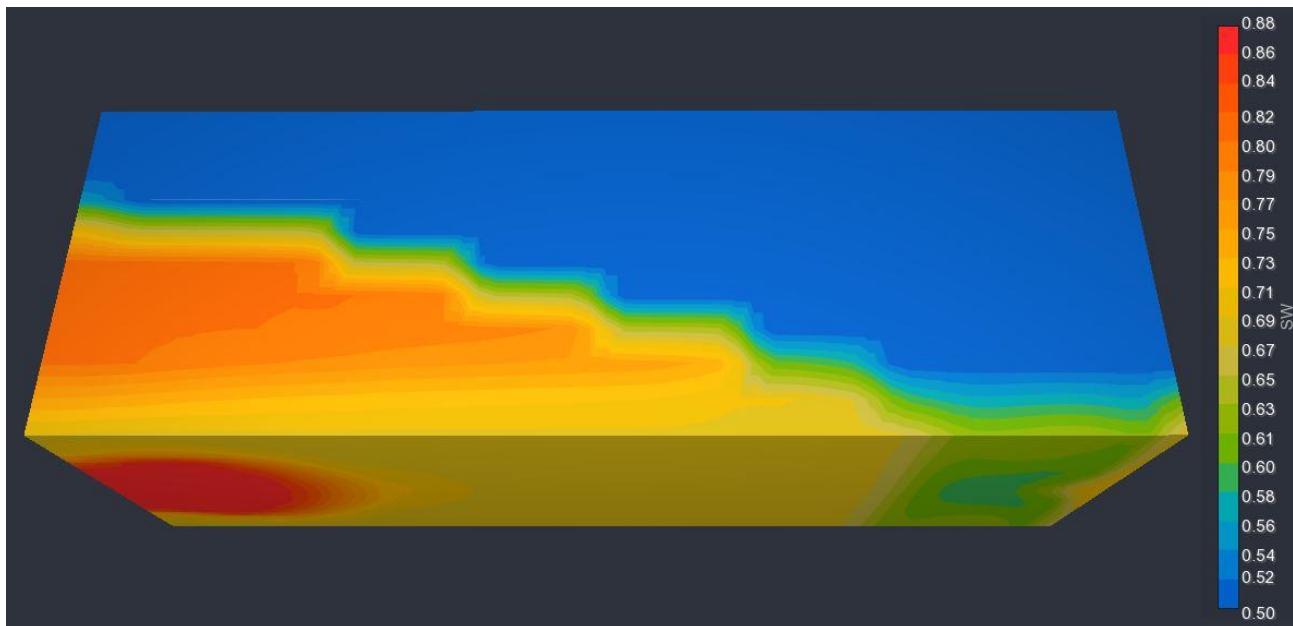
Função de Transferência.



Visualização do volume.

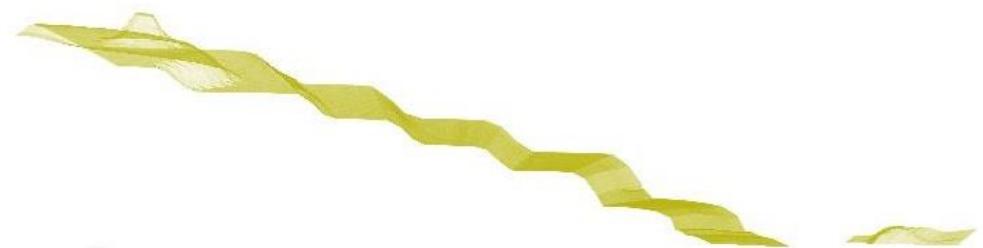
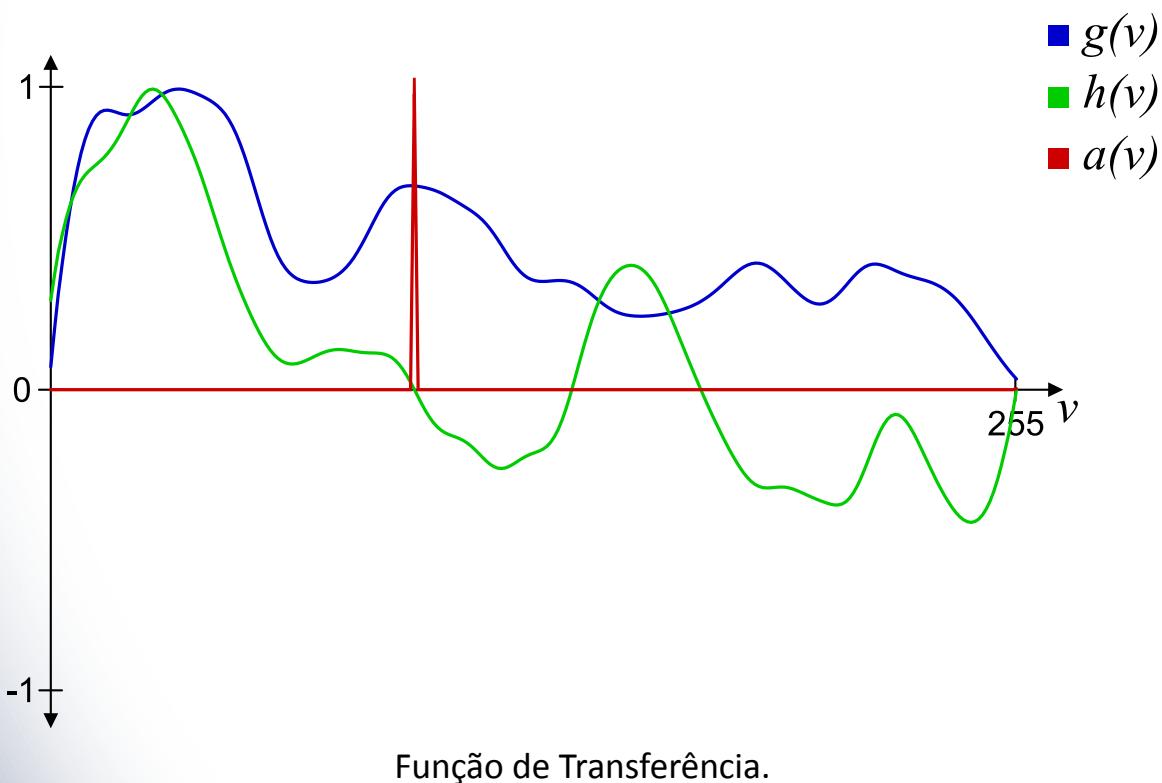
Resultados

- Saturação de água no modelo de reservatório B:



Resultados

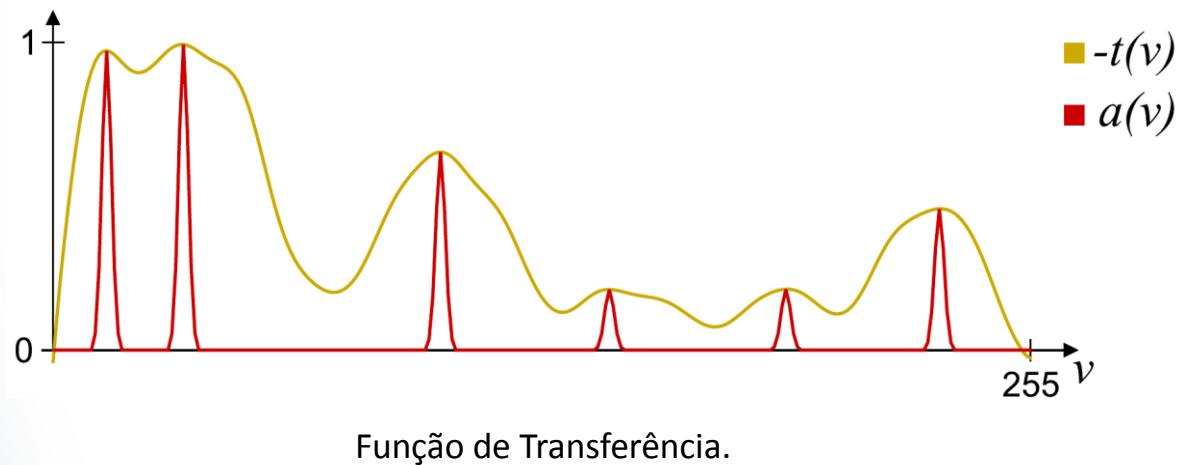
- Método de Kindlmann e Durkin.
- Modelo A – Saturação de água.



Visualização do volume.

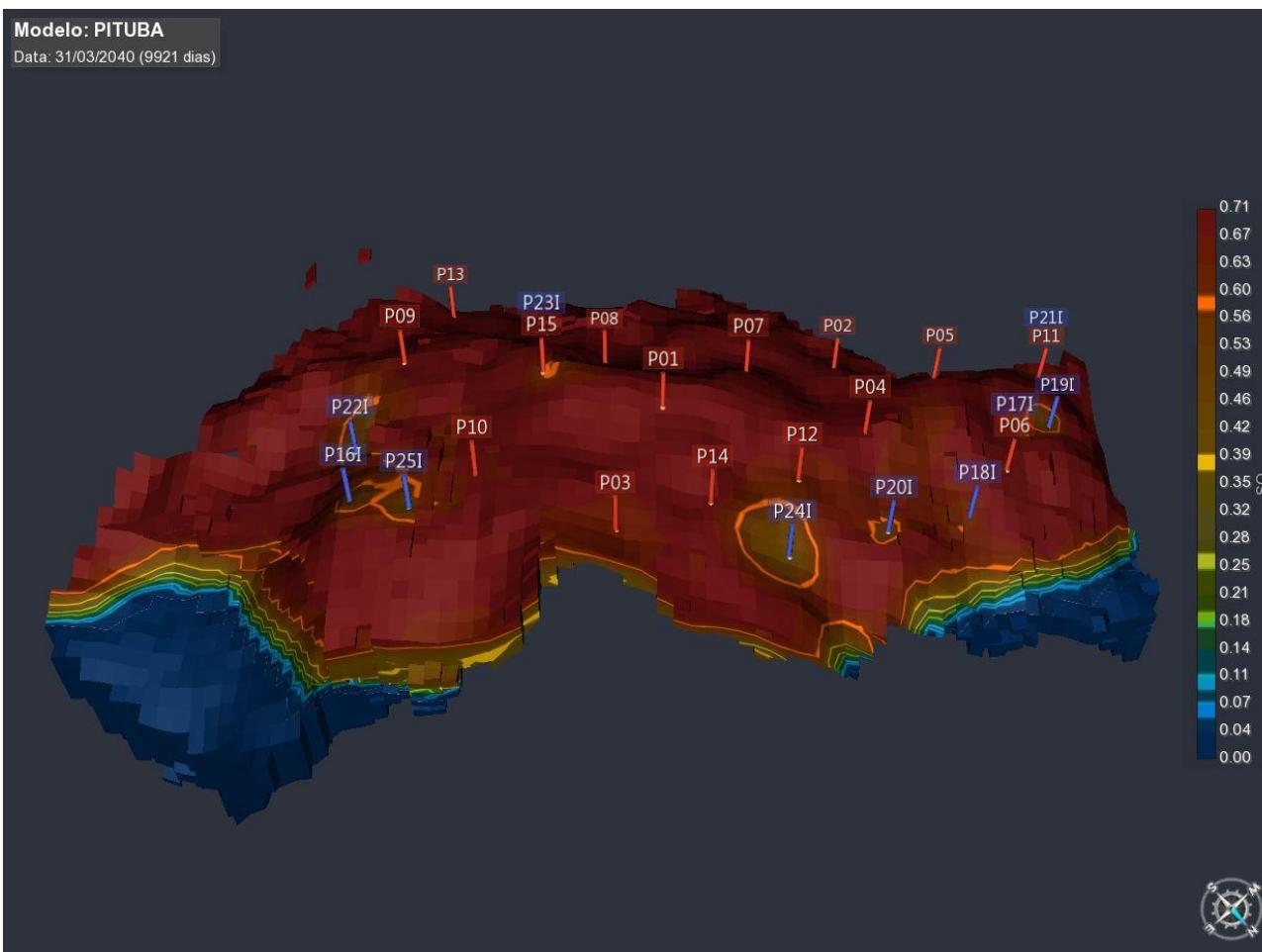
Resultados

- Método proposto.
- Modelo A – Saturação de água.



Resultados

- Saturação de óleo no modelo Pituba.



Conclusão e Trabalhos Futuros

Conclusão

- Deslocamento no método de Kindlmann e Durkin.
- Importância de um threshold apropriado.
- Novo método semiautomático.
- Aplicação em malhas não regulares.
- Resultados equivalentes e superiores.
- Interface simplificada.

Trabalhos Futuros:

- Identificar sigma da gaussiana de cada fronteira.
- Explorar mais a terceira derivada no realce da fronteira.

Obrigado!