

Fernando Akio Tamayose

Michel Povlovitsch Seixas

**Determinação da Direção e Amplitude do
Movimento do Contorno Pulmonar em
Sequências obtidas por Ressonância
Magnética**

Monografia de Conclusão de Curso
apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para
obtenção do Título de Engenheiro

Fernando Akio Tamayose

Michel Povlovitsch Seixas

**Determinação da Direção e Amplitude do
Movimento do Contorno Pulmonar em
Sequências obtidas por Ressonância
Magnética**

Monografia de Conclusão de Curso
apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para
obtenção do Título de Engenheiro

Área de concentração:
Engenharia Mecatrônica

Orientador:
Prof. Dr. Marcos de Sales Guerra
Tsuzuki

São Paulo
2008

Ficha Catalográfica

Tamayose, Fernando Akio
Seixas, Michel Povlovitsch

Determinação da Direção e Amplitude do Movimento do Contorno Pulmonar em Sequências obtidas por Ressonância Magnética. São Paulo, 2008. 43 p.

Relatório de Conclusão de Curso — Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos.

I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos.

A nossos familiares, amigos e professores
que tanto nos ajudaram até agora.

Agradecimentos

Agradecemos ao nosso orientador, Prof. Dr. Marcos de Sales Guerra Tsuzuki, pelas orientações durante a realização deste trabalho, pelos conselhos e ensinamentos durante este semestre.

Agradecemos à nossa família e amigos que indiretamente nos ajudaram neste trabalho de conclusão de curso.

Resumo

O movimento dos pulmões não é observável diretamente, pois eles se colapsam ao se abrir a caixa torácica. Uma das soluções encontradas reside na utilização de imagens obtidas por meio de ressonância magnética. Nesta monografia será determinado a direção e a amplitude do movimento bidimensional associado a um ponto sobre o contorno pulmonar em uma sequência de imagens de ressonância magnética. O imageamento por ressonância magnética da caixa torácica fica prejudicado devido à grande quantidade de sangue em movimento, isso traz algumas dificuldades quando é utilizado as técnicas convencionais de processamento de imagens. Em um pulmão sadio, é possível associar uma função respiração representando a sua inspiração e expiração como função do tempo. A partir de imagens obtidas por MR, é possível visualizar a movimentação dos pontos em um plano vertical que passa pelo diafragma. A seguir, empregando-se um filtro detector de bordas, que no neste caso foi algoritmo Sobel. Depois é aplicado o algoritmo Snakes para se determinar as coordenadas dos pontos que constituem as bordas. Através da função estimativa calculada depois de se efetuar a verredura angular ao redor de um ponto sobre o contorno do pulmão pode ser determinado o ângulo-escala da função respiração deste ponto.

Abstract

The movement of the lungs is not directly observable, because they collapse when you open the chest. Using images obtained by magnetic resonance (MR) imaging is one of the solutions. This monograph will determine the direction and magnitude of the two-dimensional movement associated with a point on the outline lung in a sequence of images from magnetic resonance imaging. The magnetic-resonance imaging does not show a good image when there is a large amount of blood in motion, it brings some difficulties when using conventional techniques of image processing. In a healthy lung, the breathing function can represent its inspiration and expiration as a function of time. From images MR, you can view the movement of points in a vertical plane passing through the diaphragm. Then, using Sobel algorithm we set the edge of this image. After, using Snakes algorithm we determine the coordinates of the points of the edges. Through the function estimate, calculated after making the verredura turn around a point on the outline of the lung, we may determine the angle-scale of the breathing function of this point.

Conteúdo

Lista de Figuras

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Introdução | 11 |
| 2 | Conceitos Básicos | 13 |
| 2.1 | Arquivo DICOM | 13 |
| 2.2 | Função Respiração | 16 |
| 2.3 | Algoritmo Sobel | 18 |
| 2.4 | Algoritmo Snakes | 21 |
| 2.5 | Aritmética intervalar | 22 |
| 2.5.1 | Propriedades | 22 |
| 3 | Metodologia | 24 |
| 3.1 | Determinação da Função Respiração Base | 24 |
| 3.2 | Varredura Angular | 26 |
| 3.3 | Aplicação da Aritmética Intervalar | 27 |
| 4 | Resultados | 29 |
| 5 | Resultados Utilizando Aritmética Intervalar | 39 |
| 6 | Conclusão | 42 |
| | Referências | 43 |

Listas de Figuras

| | | |
|------|--|----|
| 2.1 | Estrutura de dados do formato DICOM. | 14 |
| 2.2 | Imagen de Ressonância Magnética (a) coronal e (b) sagital. | 16 |
| 2.3 | (a) plano de análise em uma imagem coronal e (b) movimento da borda. | 17 |
| 2.4 | Sequencia de imagens coronais do pulmão em função do tempo. | 17 |
| 2.5 | Gráfico da $f(t)$ em (a) e $f'(t)$ em (b). | 19 |
| 2.6 | Representação dos cálculos em Sobel. | 19 |
| 2.7 | Gradiente em x. | 20 |
| 2.8 | Gradiente em y. | 20 |
| 2.9 | Gradiente em x e y. | 20 |
| 2.10 | Resultados do algoritmo Snakes. | 22 |
| 3.1 | (a) máxima e (b) mínima expansão pulmonar. | 25 |
| 3.2 | (a) Plano de corte e (b) Slice (c) aplicação do algoritmo Sobel e (d) aplicação dop algoritmo Snakes. | 25 |
| 3.3 | Intensidade dos pixels: dois pixels (a) e com apenas um pixel (b). | 28 |
| 4.1 | Plano para função respiração, Slice, Sobel e Snakes ($\text{ângulo}=45^\circ$). | 30 |
| 4.2 | Média das intensidades dos pixels para os ângulos de 0° até 45° para escalas de 0.1 até 1.0. | 30 |
| 4.3 | Desvio Padrão das intensidades dos pixels para os ângulos de 0° até 45° para escalas de 0.1 até 1.0. | 31 |
| 4.4 | Resultado da função estimativa para os ângulos de 0° até 45° para escalas de 0.1 até 1.0. | 31 |
| 4.5 | Plano para função respiração, Slice, Sobel e Snakes ($\text{ângulo}=80^\circ$). | 32 |
| 4.6 | Média das intensidades dos pixels para os ângulos de 45° até 90° para escalas de 0.1 até 1.0. | 33 |

| | | |
|------|---|----|
| 4.7 | Desvio padrão das intensidades dos pixels para os ângulos de 45° até 90° para escalas de 0.1 até 1.0. | 33 |
| 4.8 | Resultados da função estimativa para os ângulos de 45° até 90° para escalas de 0.1 até 1.0. | 34 |
| 4.9 | Plano para função respiração, Slice, Sobel e Snakes (ângulo=99°). | 34 |
| 4.10 | Média das intensidades dos pixels para os ângulos de 90° até 135° para escalas de 0.1 até 1.0. | 35 |
| 4.11 | Desvio padrão das intensidades dos pixels para os ângulos de 90° até 135° para escalas de 0.1 até 1.0. | 35 |
| 4.12 | Resultados da função estimativa para os ângulos de 90° até 135° para escalas de 0.1 até 1.0. | 36 |
| 4.13 | Plano para função respiração, Slice, Sobel e Snakes (ângulo=135°). | 36 |
| 4.14 | Média das intensidades dos pixels para os ângulos de 135° até 180° para escalas de 0.1 até 1.0. | 37 |
| 4.15 | Desvio padrão das intensidades dos pixels para os ângulos de 135° até 180° para escalas de 0.1 até 1.0. | 37 |
| 4.16 | Resultados da função estimativa para os ângulos de 135° até 180° para escalas de 0.1 até 1.0. | 38 |
| 5.1 | Resultados da função estimativa para os ângulos de 0° até 45° para escalas de 0.1 até 1.0. | 40 |
| 5.2 | Resultados da função estimativa para os ângulos de 45° até 90° para escalas de 0.1 até 1.0. | 40 |
| 5.3 | Resultados da função estimativa para os ângulos de 90° até 135° para escalas de 0.1 até 1.0. | 41 |
| 5.4 | Resultados da função estimativa para os ângulos de 135° até 180° para escalas de 0.1 até 1.0. | 41 |

1 Introdução

No decorrer da história as técnicas e os procedimentos vinculados à medicina vêm se desenvolvendo bastante. Tal fato ocorreu principalmente no século XX graças às inovações tecnológicas. Acompanhando esta trajetória surgiu a necessidade do desenvolvimento de instrumentos e técnicas capazes de permitir o estudo de um dos órgãos mais importantes no corpo humano, o pulmão. As dificuldades inerentes ao seu estudo residem na impossibilidade da visualização direta de seu movimento. Diferente do coração, que possui músculos próprios para a realização de seu movimento, o pulmão depende das contrações do diafragma e de outros músculos que, ao se movimentarem, criam uma diferença de pressão no interior da caixa torácica ocasionando a compressão e a expansão do pulmão.

Sabe-se que o pulmão não se movimenta apenas em uma direção, mas os pontos de seu contorno o fazem sincronamente com a função respiração base, obtida das contrações do diafragma, logo é necessário averiguar qual o ângulo e a escala na qual tal fato ocorre. Utilizando as imagens de Ressonância Magnética é possível determinar a direção e a amplitude da chamada função respiração (item 2.2) em qualquer ponto no contorno do pulmão.

Inicialmente, são determinados dois pontos sobre a imagem MR (Ressonância Magnética, em inglês) que ilustra a maior expansão do pulmão, originando uma reta que indica os pixels que serão analisados para a obtenção da função respiração base. Em seguida, as outras imagens de MR, obtidas de uma seqüência de imagens em função do tempo, passam pelo mesmo procedimento, no entanto, usando as mesmas coordenadas dos pontos que foram coletados na primeira imagem. Utiliza-se, a seguir, o algoritmo Sobel (item 2.3) com o intuito de descobrir as arestas da imagem (Espaço x Tempo). O próximo passo consiste na utilização o algoritmo Snakes (item 2.4) que permite a determinação dos vértices das arestas que surgiram da aplicação do Sobel.

A seguir, é realizada uma varredura angular ao redor de um ponto escolhido sobre o contorno do pulmão. Para cada ângulo é criada uma imagem Slice (item 3.1) que depois é submetido ao algoritmo Sobel. Nas posições indicadas

pelas coordenadas escaladas da função respiração base são coletas as intensidades dos pixels. Obtém-se, então, a função estimativa (item 3.2) para cada ângulo-escala. Quanto maior o valor da função estimativa maior será a probabilidade de se tratar do ângulo-escala procurado. Portanto, o objetivo desta monografia é a determinação deste ângulo-escala, ou seja, a direção e amplitude da função respiração para um ponto escolhido do contorno do pulmão.

Após a determinação do ângulo-escala de todos os pontos do contorno do pulmão, é possível criar um modelo 4D do pulmão de uma pessoa sadia com maior precisão do que o obtido se não for levado em consideração a peculiaridade de cada ponto. No entanto, esta tarefa foge do escopo desta monografia.

2 Conceitos Básicos

2.1 Arquivo DICOM

A Associação Americana de Fabricantes de Aparelhos Elétricos (NEMA, sigla em inglês) criou um formato de arquivos chamado Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) com o intuito de padronizar as imagens médicas e, desta forma, facilitar a sua distribuição. A extensão do arquivo DICOM é o dcm. Ele contém inúmeras informações do exame, pois armazena as informações do paciente, do aparelho utilizado, características específicas do exame, o plano de exame e outras informações. O arquivo pode ser dividido em blocos chamados Data Sets [3]. Um Data Set pode ser considerado como uma instância de informação do mundo real. Por exemplo, há um Data Set para informações de paciente e outro para informações do exame. Cada Data Set pode ser dividido em outras partes menores, chamadas Data Elements. Um Data Element é uma informação específica de um Data Set. Por exemplo, dentro do Data Set Patient, há o Data Element Patient Name, cujo valor é o nome do paciente. Cada Data Element é composto por até quatro campos, Data Element Tag, obrigatório a todos, Value Representation, que pode ser omitido dependendo do caso, Value Length, sempre presente, e, por fim, Value Field, também sempre presente. O Data Element possui três estruturas possíveis, sendo duas com Value Representation explícito e diferentes entre si apenas na forma como Value Length é apresentado. A terceira estrutura possível possui Value Representation implícito. A Figura (2.1) ilustra a estrutura de dados do formato, com ênfase no Data Element.

O Data Element Tag consiste em um par de inteiros de 16 bits, sem sinal, logo, seu tamanho é de 4 bytes. O primeiro inteiro representa o Group Number e o segundo representa o Element Number. O Group Number identifica o Data Set, enquanto o Element Number identifica o Data Element. Por exemplo, (0040) como primeiro inteiro significa que aquele Data Element se refere ao paciente, ou seja, pertence ao Data Set de paciente, e se o segundo inteiro for (1102), significa que este Data Element é o endereço do paciente. O Data Element Tag

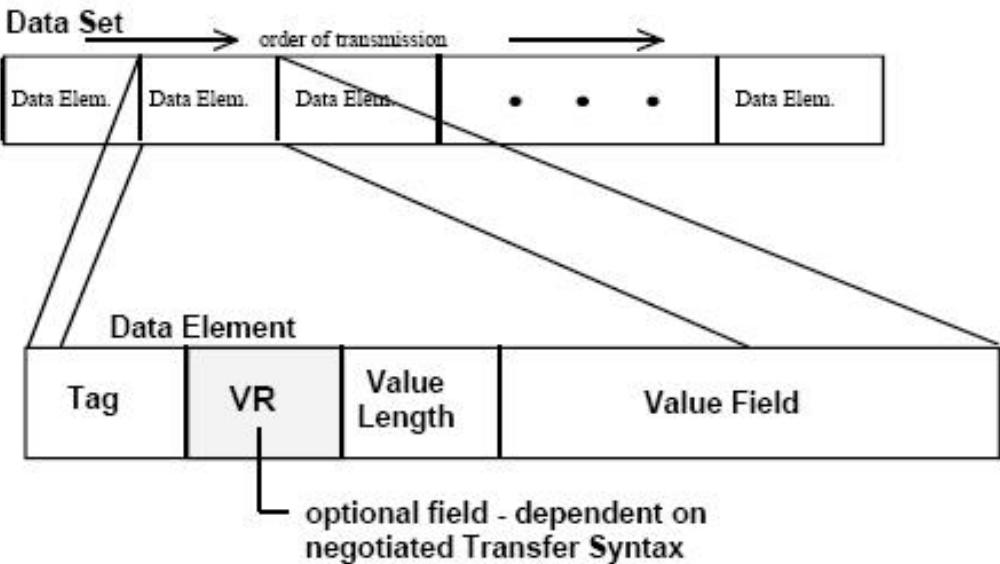


Figura 2.1: Estrutura de dados do formato DICOM.

é um número único e identifica o atributo. Além disso, também é utilizado na ordenação, já que sempre deve ser apresentado em ordem crescente.

Logo depois do Tag vem o Value Representation. Ele possui 2 bytes de tamanho, é uma string e, quando presente, indica a estrutura do Data Element e o formato do dado contido em Value Field. Por exemplo, PN em Value Representation significa que o Value Field está no formato de Patient Name. Quando ausente, só há uma única estrutura disponível. Se o valor de Value Representation for "OB", "OW", "OF", "SQ" ou "UM", os próximos 16 bits são reservados e fixos em 0000H. Além disso, Value Length será um inteiro sem sinal de 32 bits, mas não precisa ter um valor explícito.

Se Value Representation for "UT", os próximos 16 bits também estarão reservados e fixos em 0000H e Value Length também deverá ser um inteiro sem sinal de 32 bits. No entanto, agora, Value Length precisa ser um número explícito. Para qualquer outro valor em Value Representation, Value Length será um inteiro sem sinal de 16 bits.

Caso os dois primeiros bytes no lugar onde deveria haver Value Representation, ao serem transformados em string, não assumirem um valor de Value Representation possível, então o mesmo está implícito, e os bytes lidos são do campo Value Length. Neste caso, Value Length é um inteiro sem sinal de 32 bits. Há uma lista de 27 valores possíveis para Value Representation. Observa-se que em um mesmo Data Set, ou todos os Value Representation são explícitos ou são todos implícitos, não podendo haver dos dois tipos. No caso de ser implícito, o

tipo de dado em Value Field está definido no Data Set Transfer Syntax.

Value Length indica o tamanho do campo Value Field. Como Value Field é um campo livre, essa informação é necessária, ou não seria possível saber quando se inicia outro Data Element apenas examinando os bytes. A única restrição ao Value Field é a do número de bytes, que deve ser sempre par.

O último Data Set do arquivo é o que possui a imagem. Seu Tag é (7FE0,0010), seu Value Representation é OW ou OB. Value Length determina o tamanho da imagem, em bytes, os quais deverão ser lidos e armazenados para que a imagem seja remontada. Porém, outras informações importantes da imagem estão no Data Set (0028). Por exemplo, (0028,0100) indica quantos bits formam cada amostra e se chama Bits Allocated. (0028,0101), ou Bits Stored, indica quantos bits realmente estão sendo usados em cada amostra, sendo os demais não utilizados normalmente fixos em zero, e deve ser sempre um número menor do que o apresentado em Bits Allocated. (0028,0102), High Bit, indica qual o bit mais significativo e onde se inicia a leitura dos valores da amostra. (0028,0010) e (0028,0011) são, respectivamente, Rows e Columns (linhas e colunas, em inglês) e indicam o tamanho da imagem. A imagem é sempre construída da esquerda para direita e de cima para baixo, e assim deve ser montada a matriz de pixels. (0028,0002), Samples per Pixel, indica o número de amostras para cada pixel. Em conjunto com (0028,0004), Photometric Interpretation, indica qual o padrão de cor da imagem. Por exemplo, se Photometric Interpretation tem valor RGB, Samples per Pixel deve ter valor 3, ou seja, cada três amostras, de número de bytes definidos por Bits Allocated, formam um pixel e, neste caso, cada uma amostra representa uma das três cores básicas do sistema RGB. Se Photometric Interpretation tem valor MONOCHROME1, então Samples per Pixel deve ser 1, e temos uma única amostra por pixel. Em (0002,0010), chamada de Transfer Syntax Unique Identification, está a informação sobre o tipo de arquivo. Por exemplo, se o seu valor for '1.2.840.10008.1.2', isto significa que a imagem está em formato RAW. Porém, o valor '1.2.840.10008.1.2.4.65' indica que a imagem está no formato JPEG, sem perda de qualidade. Neste caso, não é necessário receber os demais dados de imagem e podemos utilizar bibliotecas de JPEG comuns para a leitura dos bytes e geração da imagem. A Figura 2.2 (a) apresenta uma imagem coronal e a Figura 2.2 (b) apresenta uma imagem sagital. Ambas são imagens de ressonância magnética. Por fim, observa-se ainda que todo arquivo DICOM possui seus primeiros 128 bytes vazios, geralmente fixos em zero. Em seguida, estão as quatro letras 'D', 'I', 'C' e 'M', para só então iniciar o cabeçalho.

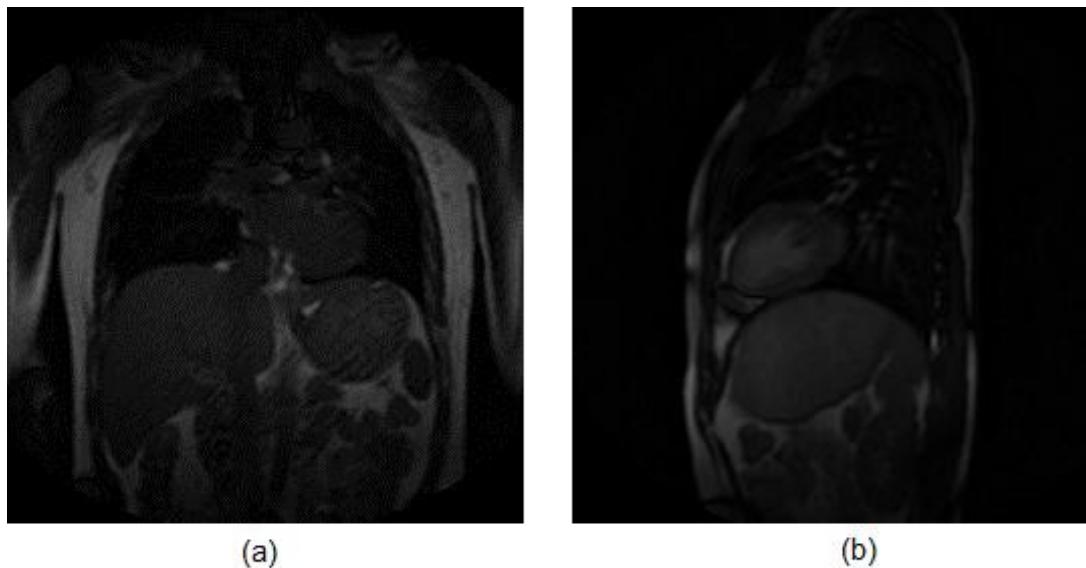


Figura 2.2: Imagem de Ressonância Magnética (a) coronal e (b) sagital.

2.2 Função Respiração

Todo o estudo desta monografia se baseia no conceito de função respiração [1] que representa o movimento da borda no decorrer do tempo. Ela é obtida a partir de uma sequência de imagens de ressonância magnética que foram tomadas durante o processo de inspiração e expiração do pulmão. Tendo tal fato em vista, nota-se que a função respiração não contínua, visto que é utilizado uma sequência de imagens, ela é, portanto, discreta. Deve-se ressaltar também que ela não é cíclica já que as imagens utilizadas representam apenas um certo período analisado.

Outro fato a ser considerado é o sincronismo dos outros órgãos com o movimento do pulmão para uma pessoa sadia. Isso faz sentido, visto que o coração é o único órgão que possui movimento próprio. Logo, toda a borda do pulmão se movimenta sincronamente. A figura 2.3 (a) mostra o plano de corte em uma imagem coronal e a figura 2.3 (b) ilustra o movimento da borda no para as imagens utilizadas.

Utilizando uma sequência de imagens de ressonância magnética, figura 2.4, é possível visualizar o gráfico da função respiração. Este gráfico é oriundo da intersecção do plano de análise utilizado e a sequência de imagens.

Note que o movimento da borda do pulmão representa apenas o deslocamento do ponto que está situado na borda onde o plano de análise intersecciona. O objetivo desta monografia é a determinação da direção e da escala da função respiração na qual cada ponto do contorno do pulmão se desloca, tendo em vista

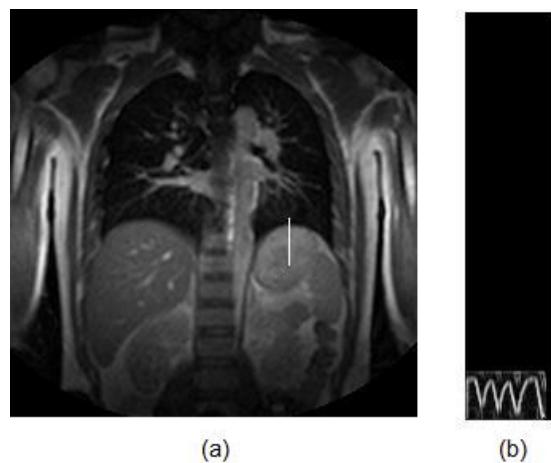


Figura 2.3: (a) plano de análise em uma imagem coronal e (b) movimento da borda.

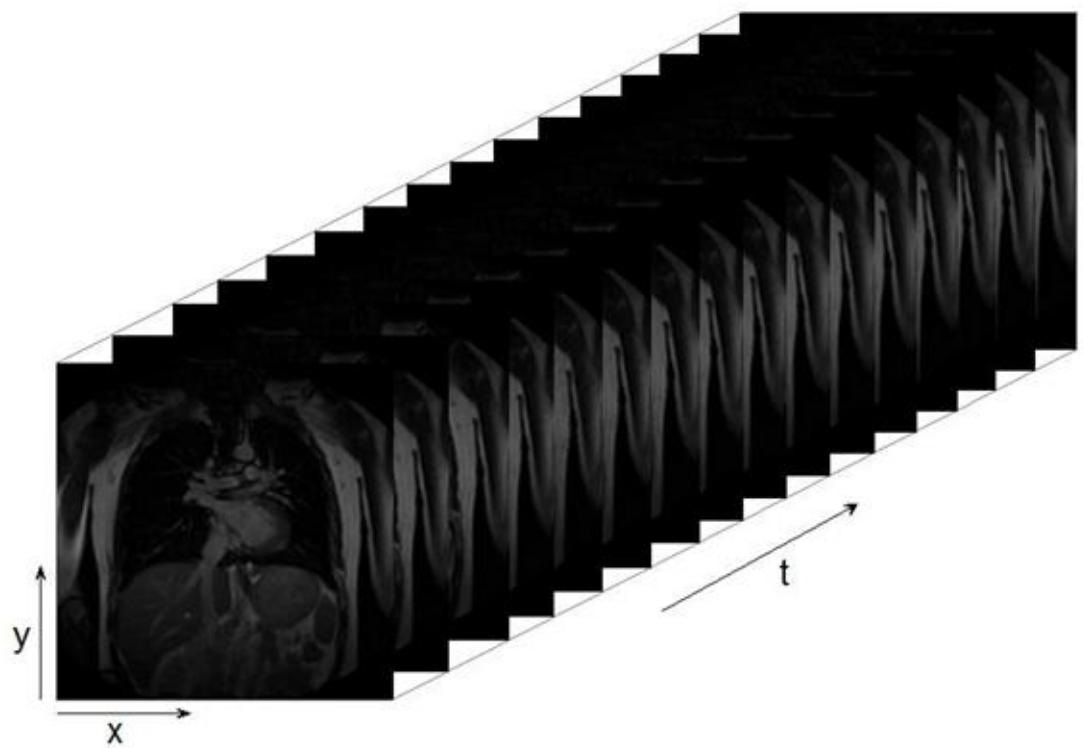


Figura 2.4: Sequencia de imagens coronais do pulmão em função do tempo.

que todos os pontos se movimentam sincronamente. Tendo tais informações é possível criar um modelo 4D do pulmão, com uma maior precisão [4].

2.3 Algoritmo Sobel

O algoritmo Sobel, filtro Sobel, consiste no cálculo do gradiente da intensidade da imagem em cada ponto. O seu resultado indica a direção da maior variação de claro para escuro e a quantidade de variação nessa direção. A variação de luminosidade é obtida em cada ponto, podendo ser uma mudança brusca ou suave. Dessa forma é possível estimar a presença de uma transição claro para escuro, ou vice-versa, e qual a sua orientação. Tendo em vista que essas variações quando intensas correspondem às fronteiras bem definidas entre objetos, pode-se determinar, assim, quais são os contornos da imagem.

Inicialmente, vejamos como a variação de intensidade pode ser obtida com o cálculo da primeira derivada. Neste caso, será ilustrada uma função $f(t)$ de uma dimensão. No gráfico de $f(t)$ Figura 2.5(a) nota-se que há uma variação brusca de intensidade próximo a $t = 0$.

Nota-se que, justamente, onde ocorreu a maior variação de intensidade é o ponto com maior valor na primeira derivada Figura 2.5(b). Portanto com este filtro é possível encontrar as variações de intensidade, através da detecção de mínimos e máximos da primeira derivada.

A partir desta análise em uma dimensão, é feita a expansão deste método para uma abordagem em duas dimensões. O operador Sobel percorre os pixels de uma imagem de entrada no intuito de calcular os seus gradientes. Nesta etapa, são utilizadas duas matrizes 3×3 (máscaras) para se fazer uma estimativa dos gradientes na direção x (colunas) e outra na y (linhas). G_x é utilizada para as variações horizontais enquanto G_y é utilizada para as verticais.

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad G_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

O operador percorre cada ponto da imagem de entrada realizando os cálculos com as máscaras (G_x e G_y) em grupo de pontos (3×3), ilustrados na figura 2.6.

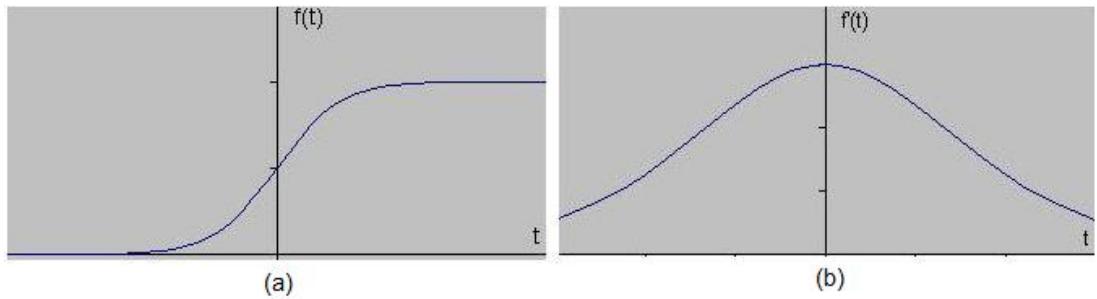
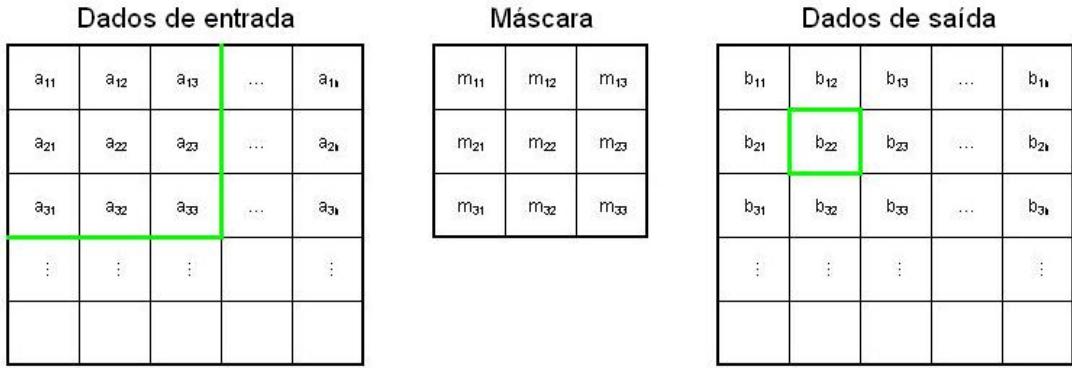
Figura 2.5: Gráfico da $f(t)$ em (a) e $f'(t)$ em (b).

Figura 2.6: Representação dos cálculos em Sobel.

$$|G| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (2.2)$$

$$\begin{aligned} b_{22} = & (a_{11} * m_{11}) + (a_{12} * m_{12}) + (a_{13} * m_{13}) + \\ & (a_{21} * m_{21}) + (a_{22} * m_{22}) + (a_{23} * m_{23}) + \\ & (a_{31} * m_{31}) + (a_{32} * m_{32}) + (a_{33} * m_{33}) \end{aligned} \quad (2.3)$$

Note que para cada grupo de nove pontos na entrada a resposta na saída é de apenas um ponto centralizado no centro da matriz, no caso b_{22} que é calculado segundo a equação 2.3. Depois de realizada esta tarefa a máscara é transladada em um pixel para a direita e os cálculos são feitos novamente para o conjunto de pontos vizinhos. Isso se repete até que seja atingida a borda da imagem, então, a máscara é aplicada na linha debaixo, recomeçando o processo. Os pontos nos limites da imagem não passam por este processo visto que para isso a máscara teria que sair do domínio da imagem de entrada. As figuras 2.7, 2.8 e 2.9 mostram alguns resultados do filtro Sobel.

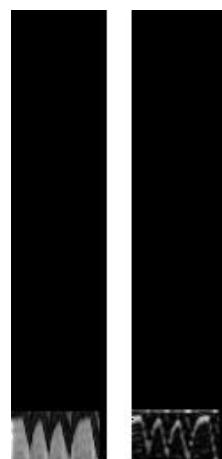


Figura 2.7: Gradiente em x.

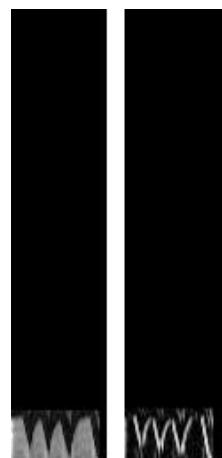


Figura 2.8: Gradiente em y.

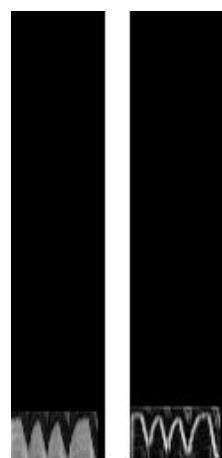


Figura 2.9: Gradiente em x e y.

2.4 Algoritmo Snakes

Para cada nó da "snake", calcula-se a energia dos pixels da vizinhança, equação 2.4 (exemplo: matriz 3×3 com centro no nó daria 8 pixels de vizinhança) mais a energia do próprio nó com a equação [2]:

$$E_{pixel} = \alpha E_{cont} + \beta E_{curv} + \gamma E_{grad} \quad (2.4)$$

Os coeficientes alpha, beta e gama são constantes e podem ser ajustados. A energia E_{cont} é dada por:

$$E_{cont} = \|\bar{d} - d\| \quad (2.5)$$

Onde; \bar{d} é a distância média entre todos os nós antes da primeira iteração e d é a distância entre o pixel atual i e o nó $i - 1$ anterior.

$$d = \sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2} \quad (2.6)$$

O valor de E_{grad} é o gradiente do pixel da imagem obtido através do Sobel. Já E_{curv} é dado da seguinte forma:

$$E_{curv} = E_{curv,X} + E_{curv,Y} \quad (2.7)$$

$$E_{curv,X} = \left(\frac{x_i - x_{i-1}}{\sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2}} - \frac{x_{i+1} - x_i}{\sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2}} \right)^2 \quad (2.8)$$

$$E_{curv,Y} = \left(\frac{y_i - y_{i-1}}{\sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2}} - \frac{y_{i+1} - y_i}{\sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2}} \right)^2 \quad (2.9)$$

Após a realização dos cálculos, o nó i é movido para o ponto da vizinhança que possui menor energia. Na figura 2.10 pode ser observado os pontos que o algoritmo Snakes obteve.

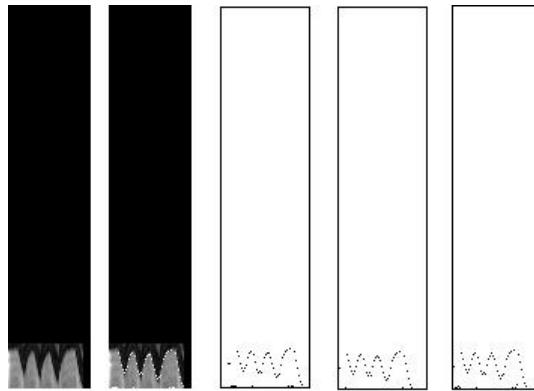


Figura 2.10: Resultados do algoritmo Snakes.

2.5 Aritmética intervalar

As imagens digitais são formadas por pixels e a sua quantidade delimita a resolução da imagem. Não é possível uma resolução maior do que a representada pelos pixels. Logo, nota-se que a intensidade de cada pixel é um valor dentro do que é possível para o intervalo que ele representa.

Trabalhar com intervalos também tem outra vantagem do que operações em ponto flutuante. O resultado final pode ser afetado por causa dos arredondamentos errados. Utilizando intervalos, é possível controlar todas as operações realizadas. Assim, a proposta é a utilização da aritmética intervalar para que a análise englobe tais erros.

2.5.1 Propriedades

Um intervalo $[a, b]$ pode ser definido da seguinte forma:

$$[a, b] = [a, b] = x | a \leq x \leq b \quad (2.10)$$

E as operações básicas são assim definidas:

$$[a, b] + [c, d] = [a + c, b + d] \quad (2.11)$$

$$[a, b] - [c, d] = [a - d, b - c] \quad (2.12)$$

$$[a, b] \cdot [c, d] = [\min(a \cdot c, a \cdot d, b \cdot c, b \cdot d), \max(a \cdot c, a \cdot d, b \cdot c, b \cdot d)] \quad (2.13)$$

$$[a, b] / [c, d] = [\min(a/c, a/d, b/c, b/d), \max(a/c, a/d, b/c, b/d)] \quad (2.14)$$

para $0 \notin [c; d]$.

A intersecção entre os intervalos $[a, b]$ e $[c, d]$ é dada por:

$$[a, b] \cap [c, d] = [\max(a, c), \min(b, d)] \quad (2.15)$$

Mas, se $a > d$ ou $b < c$ a intersecção é vazia.

Já a união entre dois intervalos com intersecção vazia é definida como:

$$[a, b] \cup [c, d] = [\min(a, c); \max(b, d)] \quad (2.16)$$

No caso da comparação entre dois intervalos, as possibilidades são certamente iguais, possivelmente iguais e certamente não iguais. Dois intervalos $[a, b]$ e $[c, d]$ são considerados certamente iguais se $a = c$ e $b = d$. Dois intervalos $[a, b]$ e $[c, d]$ são considerados certamente não iguais se a intersecção entre eles for vazia. E, por fim, dois intervalos $[a, b]$ e $[c, d]$ são considerados possivelmente iguais se a intersecção entre eles for não nula.

3 Metodologia

Tudo começa com a obtenção das imagens do pulmão obtidas por ressonância magnética. Estas imagens, cujo formato é o DICOM, ficam armazenadas em uma pasta onde o programa vai buscar para analisá-las. O passo seguinte é a identificação da imagem que representa a maior expansão do pulmão, uma das imagens imediatamente antes da expiração. As figura 3.1 (a) e (b) mostram o momento de máxima expansão e o de mínima expansão, respectivamente.

Inicialmente, deve ser escolhido um ponto sobre o contorno do pulmão que se deseja obter o ângulo-escala da função respiração, ou seja, em qual direção o ponto escolhido se movimenta durante o processo de respiração, bem como a escala em relação à função respiração base.

3.1 Determinação da Função Respiração Base

A função respiração base é a função que servirá como base de comparação para as demais que são obtidas para cada ângulo-escala. Para tal tarefa é utilizado um plano que passa pelo diafragma que é o músculo responsável pela variação de pressão dentro da caixa torácica de modo a fazer o pulmão se expandir ou contrair. A função respiração base é obtida nesta região já que nela se encontram as maiores amplitudes de deslocamento da borda do pulmão, portanto, a melhor opção para servir como base de comparação. A partir deste ponto inicia-se a varredura nas imagens MR de modo a obter a figura Slice. Ela é obtida da intersecção do plano de corte com a sequência de imagens de MR. A figura 3.2(a) mostra o plano de corte e a figura 3.2(b) o Slice.

A seguir, aplica-se o algoritmo Sobel, mencionado no item 2.3, para a obtenção das arestas a figura Slices, ou seja, o isolamento das fronteiras em relação a região interna. Como mostra a figura 3.2(c).

O algoritmo Sobel trabalha com a imagem Slice de modo a verificar os gradientes da imagem. Nos locais onde os maiores gradientes são encontrados há

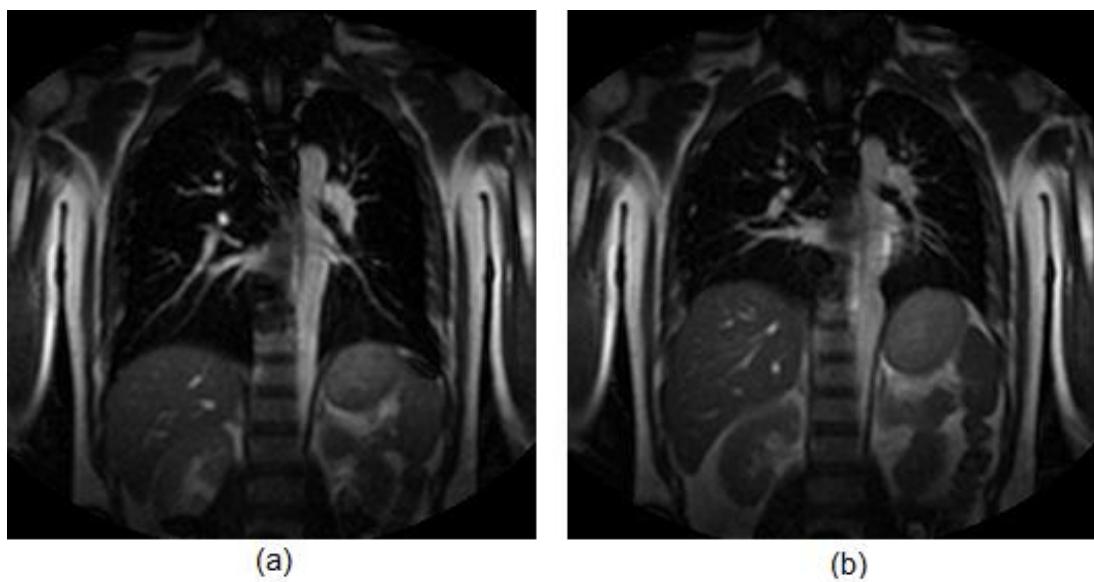


Figura 3.1: (a) máxima e (b) mínima expansão pulmonar.

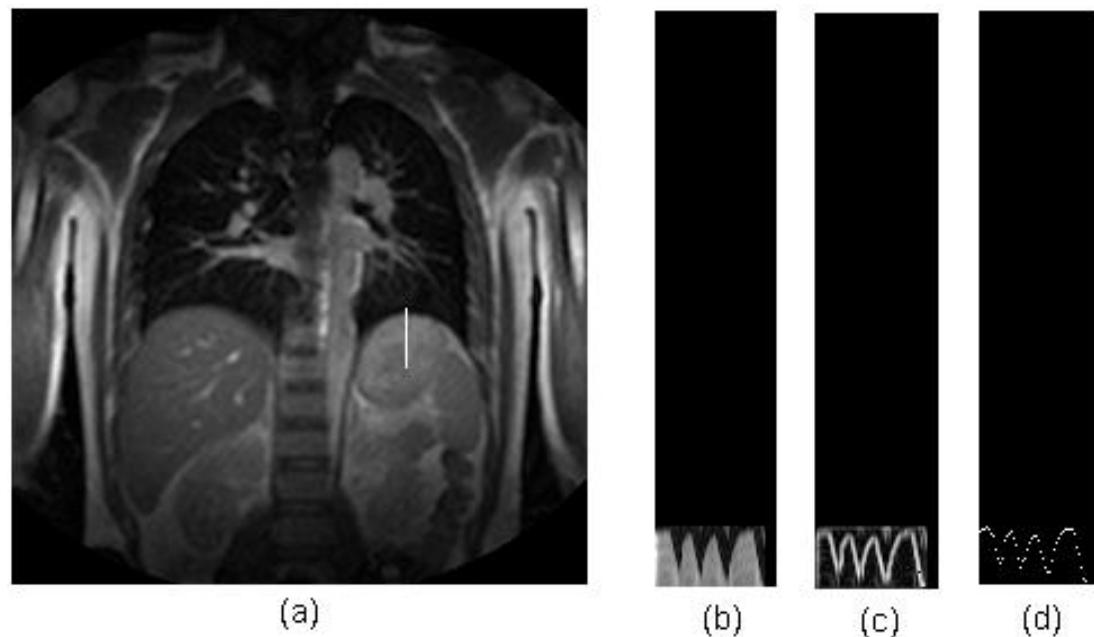


Figura 3.2: (a) Plano de corte e (b) Slice (c) aplicação do algoritmo Sobel e (d) aplicação do algoritmo Snakes.

uma grande possibilidade de se tratar de uma aresta, portanto neste local o pixel passa a ter o valor da cor branca na escala de cinza. Depois do término deste procedimento obtém-se uma nova imagem que representa o gráfico da movimentação do ponto da borda do pulmão em função de um tempo discreto que está na direção de movimento do diafragma.

Após a utilização do algoritmo Sobel, faz-se uso o algoritmo Snakes, detalhado no item 2.4. Nesta etapa, utiliza-se a imagem da movimentação do ponto para a obtenção das coordenadas dos pixels que estão na cor branca, ou seja, determina-se as coordenadas da função respiração base. A figura 3.2(c) ilustra os pontos que o algoritmo Snakes detectou.

3.2 Varredura Angular

O pulmão não se expande ou se contrai em apenas um plano de direção, ele funciona tal como uma bexiga cuja borda se movimenta em todas as direções. Portanto, cada ponto faz sua trajetória sincronamente com a função respiração base, mas cuja intensidade é diferente assim como o ângulo do plano de movimento não é 90° em relação à horizontal (plano utilizado para a obtenção da função respiração base). O objetivo agora é a determinação da função respiração escalada e do ângulo do plano em que ocorre a expansão de cada ponto do pulmão.

O primeiro passo consiste na determinação da imagem cuja expansão do pulmão seja a maior. Nesta imagem, escolhe-se um ponto sobre o contorno do pulmão onde se deseja obter o ângulo e a escala da função respiração. A seguir, cria-se uma janela ao redor deste ponto onde estão os outros pontos que passarão pela varredura para cada ângulo. Cada um destes pontos será utilizado para ser realizada a interpolação linear, definindo-se o plano a ser estudado.

Inicia-se a varredura dos vários ângulos ao redor do ponto escolhido. Para cada ângulo é obtida a imagem Slice, que representa a variação dos pixels de um corte no decorrer do tempo. Esta imagem é submetida ao algoritmo Sobel, resultando na imagem do movimento do contorno do pulmão para aquele ângulo-escala.

A seguir as coordenadas da função respiração base são multiplicadas por escalas que variam de 0,1 até 1,5 e armazenadas em uma matriz, obtendo funções respiração escaladas. Depois, utilizando a imagem obtida para cada ângulo, localiza-se o ponto indicado pelas coordenadas de cada escala, capturando a intensidade de cada um desses pixels. Então, em uma outra matriz é gravado a

média e o desvio padrão das intensidades dos pixels, bem como, o resultado da expressão empírica (3.1) para cada ângulo-escala. O maior valor para a expressão empírica representa o ângulo-escala no qual a função respiração do ponto ocorre [1].

$$E(\varphi, \zeta) = 0.9^\zeta \left(1 - \frac{S(\varphi, \zeta)}{3A(\varphi, \zeta)} \right) \quad (3.1)$$

O parâmetro φ é o ângulo do plano de corte com a horizontal, ζ é a escala, A é a média dos pontos obtidos pela função respiração escalada e S é a média entre estes pontos. A probabilidade da direção de movimento de um ponto na borda do pulmão seja um determinado ângulo-escala aumenta quanto maior for a média de suas intensidades. Isso ocorre porque quanto maior for a média maior será a certeza de que a função passou por pontos da cor branca, que é a cor que representa a borda do pulmão.

3.3 Aplicação da Aritmética Intervalar

A aritmética intervalar é aplicada no cálculo das coordenadas escaladas da função respiração base. Estas coordenadas tem um papel fundamental neste projeto já que determinanam onde serão capturadas as intensidades dos pixels nas imagens geradas pelo algoritmo Sobel para cada ângulo.

A primeira medida é considerar o valor de y da função respiração base como sendo um intervalo, então, cada ponto passa a ser tratado como um intervalo cujas extremidades são o próprio valor subtraído de meia unidade e acrescida de meia unidade, portanto se o valor de y for 56 o intervalo que ele passará a representar será $[55.5, 56.5]$. A função respiração base intervalar está representada na equação 3.2 :

$$f(t) = [y_{1,min}, y_{1,max}], [y_{2,min}, y_{2,max}], \dots, [y_{n-1,min}, y_{n-1,max}], [y_{n,min}, y_{n,max}] \quad (3.2)$$

O próximo passo é a determinação das coordenadas escaladas. Cada um dos pontos é multiplicado por uma escala, originando novos intervalos. Então, se a equação $f(t) = [46.5, 47.5], [84.5, 85.5], [13.5, 14.5]$ for multiplicada por uma escala cujo valor seja 0.3 teremos $f(t) = [13.95, 14.25], [25.35, 25.65], [4.05, 4.35]$. Note que a escala foi multiplicada por cada uma das extremidades dos intervalos.

A seguir, utiliza-se as coordenadas escaladas para capturar as intensidades

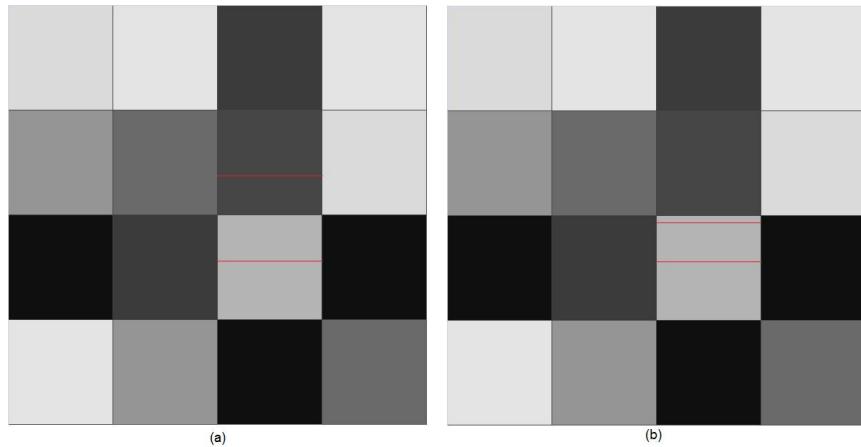


Figura 3.3: Intensidade dos pixels: dois pixels (a) e com apenas um pixel (b).

dos pixel. Ao localizar a posição a ser estudada na imagem gerada pelo algoritmo Sobel, temos duas situações: as coordenadas indicam dois pixels vizinho ou um pixel apenas. No primeiro caso a região encontrada trata-se de partes de pixels vizinhos, por exemplo, a parte inferior de um pixel e a superior de um pixel logo abaixo. Já o segundo caso, a localização indica uma parte de um pixel. Nestes casos a intensidade registrada para a realização dos cálculos é a multiplicação entre a intensidade do pixel pela área que a coordenada escalada indicou. A figura 3.3(a) mostra o caso quando pixels vizinhos são usados para a obtenção da intensidade e a figura 3.3(b) mostra quando apenas um é utilizado. Se, por exemplo, na figura 3.3(a) as intensidades dos pixel forem 100 e 150 e as área forem 0.6 e 0.3, o resultado será 105. Este será o valor da intensidade da regiaão indicada pela coordenada escalada da função respiração base para a realização do cálculo da função estimativa.

4 Resultados

A varredura angular ocorrerá entre 0° e 180° para escalas variando entre 0.1 e 1.0. A análise do terceiro e quarto quadrante não é necessária já que o ponto escolhido poderá se movimentar apenas no primeiro ou no segundo quadrante, pois o escolhemos quando o pulmão estava em sua expansão máxima. O intervalo adotado para a escala tem em vista que a função respiração base tem as maiores amplitudes, logo não é necessário escalas maiores que 1.0.

A tabela ilustrada na figura 4.2 mostra as médias para das intensidades dos pixels para ângulos de 0° até 45° para escalas que variam 0.1 até 1.0. A tabela da figura 4.3 mostra o desvio padrão das intensidades dos pixels. Já o resultado da função estimativa está na figura 4.4. Note que o maior valor da função estimativa para intervalo estudado é 0.514892 para o ângulo em torno de 4° e escala igual a 0.1. A figura 4.1 mostra um corte feito a 45° , bem como o imagem Slice, o resultado do algoritmo Sobel e o resultado do algoritmo Snakes.

Agora, vejamos a tabela ilustrada na figura 4.6 que mostra as médias para das intensidades dos pixels para ângulos de 45° até 90° para escalas que variam 0.1 até 1.0. A tabela da figura 4.7 mostra o desvio padrão das intensidades dos pixels. Já o resultado da função estimativa está na figura 4.8. Note que o maior valor da função estimativa para intervalo estudado é 0.528901 para o ângulo em torno de 70° e escala igual a 0.1. A figura 4.5 mostra um corte feito a 80° , bem como o imagem Slice, o resultado do algoritmo Sobel e o resultado do algoritmo Snakes.

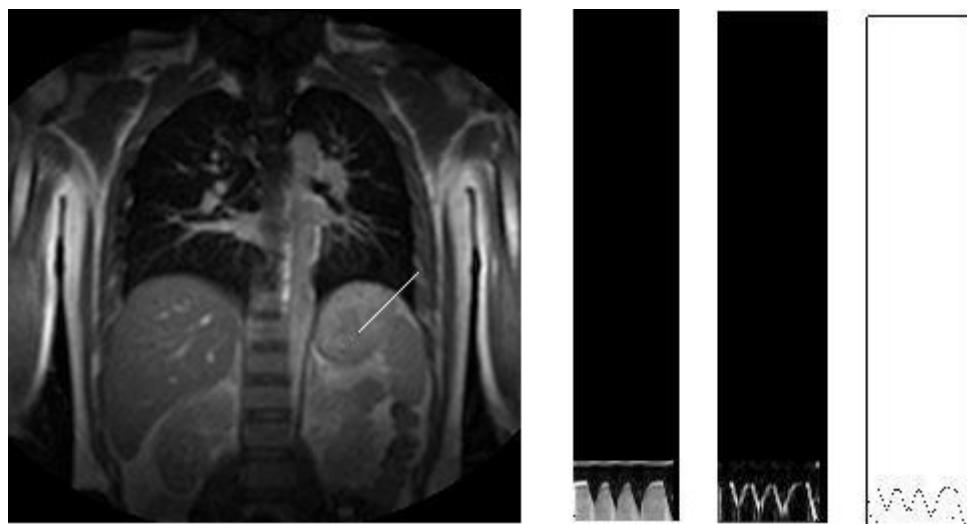


Figura 4.1: Plano para função respiração, Slice, Sobel e Snakes ($\text{ângulo}=45^\circ$).

| | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1 |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 0 | 391,75 | 219,625 | 158,833 | 281,167 | 358,25 | 261,375 | 236,417 | 255,292 | 378,375 | 310,792 |
| 2,29061 | 386,875 | 214,75 | 167,083 | 293,625 | 342,208 | 275,667 | 303,542 | 302,042 | 384,208 | 337,667 |
| 4,57392 | 389,833 | 209,458 | 163,375 | 308,458 | 323,583 | 272,333 | 365,542 | 337,5 | 373,667 | 305,792 |
| 6,84277 | 423,792 | 260,125 | 202,958 | 308,917 | 353,167 | 318,75 | 414,083 | 359,875 | 450,083 | 321,917 |
| 9,09028 | 456,917 | 332,75 | 273,292 | 326,042 | 377 | 354,958 | 432,708 | 373,875 | 477,458 | 375,042 |
| 11,3099 | 451 | 358,667 | 312,917 | 338,083 | 357,083 | 344,792 | 446,167 | 391,583 | 495,042 | 380,5 |
| 13,4957 | 411,625 | 335,042 | 301,333 | 307,625 | 331,458 | 333,125 | 414,625 | 411,375 | 495,625 | 373,292 |
| 15,6422 | 368,125 | 293 | 276,417 | 301,583 | 360,417 | 330,083 | 389,417 | 436,625 | 507,167 | 368,333 |
| 17,7447 | 382,708 | 287,417 | 278,25 | 312,083 | 393,208 | 318,958 | 358,5 | 462,125 | 510,375 | 376,25 |
| 19,7989 | 384,542 | 276,042 | 267,708 | 316,125 | 406,667 | 303,625 | 331,875 | 480,917 | 516,083 | 384,292 |
| 21,8014 | 392,792 | 279,125 | 265,667 | 329,917 | 415,5 | 300,833 | 295,083 | 470,375 | 514,583 | 385,458 |
| 23,7495 | 396,708 | 284,917 | 270,083 | 348,458 | 403,75 | 293 | 266,792 | 429,625 | 493,667 | 376,5 |
| 25,641 | 401,833 | 290,167 | 274,708 | 359,208 | 390,792 | 280,333 | 275,458 | 385,625 | 455,125 | 350,625 |
| 27,4744 | 399,292 | 294,042 | 286,958 | 378,75 | 379,458 | 280,792 | 284,083 | 368,542 | 449,792 | 339,75 |
| 29,2488 | 396,083 | 291,75 | 289,042 | 392,542 | 359 | 295 | 300,292 | 356,333 | 420,208 | 315,167 |
| 30,9638 | 379,625 | 296,417 | 283,958 | 398,125 | 346 | 298,167 | 305,5 | 356,542 | 402,625 | 293,542 |
| 32,6192 | 381,25 | 294,042 | 286,25 | 411 | 344,417 | 297,583 | 313,417 | 358,125 | 393,708 | 293,667 |
| 34,2157 | 354,958 | 271,958 | 271,042 | 416,458 | 356,125 | 286,417 | 318,583 | 338,917 | 387,292 | 286,333 |
| 35,7539 | 336,333 | 268,25 | 276,208 | 418,417 | 354,708 | 305,75 | 331 | 357,458 | 382,833 | 292,167 |
| 37,2348 | 308,333 | 278,125 | 280,625 | 413,917 | 336,333 | 306,625 | 328,875 | 360,75 | 369,375 | 289,5 |
| 38,6598 | 270,292 | 249 | 257,333 | 390,958 | 318,208 | 298 | 326,917 | 379 | 381,5 | 310,667 |
| 40,0303 | 273,292 | 219,5 | 228,042 | 366,417 | 297,458 | 287,667 | 333,833 | 406,792 | 388,917 | 296,375 |
| 41,3478 | 279,167 | 223,083 | 217 | 364,25 | 251,25 | 263,125 | 299,667 | 398,458 | 393,75 | 287,708 |
| 42,6141 | 270,667 | 192,167 | 196,167 | 362,917 | 233,042 | 245,333 | 288,292 | 389,208 | 396,417 | 269,667 |
| 43,8309 | 286,125 | 195,417 | 192,125 | 360,708 | 234,5 | 251,875 | 283 | 393,917 | 401,833 | 261,708 |
| 45 | 292,667 | 184,75 | 191,292 | 342 | 200,417 | 225,75 | 259,458 | 370,417 | 379,583 | 234,208 |

Figura 4.2: Média das intensidades dos pixels para os ângulos de 0° até 45° para escalas de 0,1 até 1,0.

| | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1 |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 0 | 564,461 | 341,722 | 255,968 | 563,059 | 704,716 | 522,709 | 403,506 | 454,15 | 663,666 | 551,694 |
| 2,29061 | 559,86 | 339,13 | 268,56 | 590,887 | 677,169 | 524,433 | 586,976 | 529,952 | 673,44 | 547,576 |
| 4,57392 | 560,956 | 344,186 | 314,941 | 639,2 | 629,227 | 548,27 | 744,587 | 631,62 | 633,054 | 510,272 |
| 6,84277 | 636,996 | 433,041 | 428,057 | 657,076 | 633,97 | 621,659 | 850,305 | 701,378 | 763,187 | 500,3 |
| 9,09028 | 716,666 | 599,773 | 575,211 | 631,457 | 661,094 | 679,643 | 887,923 | 722,364 | 852,284 | 613,641 |
| 11,3099 | 743,139 | 718,375 | 703,84 | 714,274 | 650,124 | 668,878 | 922,643 | 769,069 | 858,065 | 630,13 |
| 13,4957 | 712,52 | 707,487 | 698,64 | 691,848 | 624,414 | 653,874 | 863,428 | 789,767 | 879,81 | 653,15 |
| 15,6422 | 664,411 | 652,289 | 647,813 | 665,9 | 622,435 | 606,131 | 799,845 | 808,322 | 873,529 | 670,61 |
| 17,7447 | 652,575 | 615,62 | 605,701 | 643,469 | 623,812 | 570,497 | 695,074 | 854,417 | 829,709 | 678,049 |
| 19,7989 | 634,949 | 596,718 | 578,191 | 629,87 | 658,652 | 556,371 | 599,561 | 869,722 | 789,806 | 659,008 |
| 21,8014 | 617,714 | 575,455 | 549,42 | 617,754 | 671,541 | 559,1 | 501,198 | 833,081 | 780,852 | 626,073 |
| 23,7495 | 604,211 | 560,769 | 534,726 | 630,382 | 680,855 | 494,619 | 492,803 | 745,34 | 751,392 | 613,641 |
| 25,641 | 598,554 | 561,509 | 531,868 | 632,609 | 675,545 | 428,395 | 559,235 | 660,305 | 697,124 | 621,924 |
| 27,4744 | 609,367 | 564,031 | 525,074 | 634,892 | 666,144 | 419,027 | 594,446 | 619,797 | 673,469 | 645,414 |
| 29,2488 | 609,802 | 579,816 | 544,024 | 631,744 | 617,479 | 466,176 | 640 | 621,017 | 621,578 | 590,602 |
| 30,9638 | 597,877 | 566,692 | 530,805 | 622,222 | 569,364 | 533,135 | 633,105 | 646,127 | 597,457 | 507,021 |
| 32,6192 | 626,357 | 591,621 | 557,111 | 662,301 | 588,956 | 593,059 | 635,23 | 643,866 | 595,732 | 496,945 |
| 34,2157 | 563,053 | 577,979 | 536,299 | 656,782 | 598,885 | 584,609 | 611,771 | 630,515 | 575,495 | 495,018 |
| 35,7539 | 543,745 | 589,557 | 556,234 | 685,465 | 639,063 | 614,458 | 646,078 | 646,976 | 568,13 | 511,452 |
| 37,2348 | 478,84 | 587,518 | 561,384 | 662,701 | 627,424 | 593,641 | 649,527 | 630,044 | 565,593 | 515,915 |
| 38,6598 | 439,185 | 527,821 | 538,276 | 638,316 | 577,795 | 570,013 | 604,201 | 597,966 | 566,2 | 580,178 |
| 40,0303 | 434,281 | 483,041 | 487,819 | 610,589 | 542,465 | 552,51 | 614,326 | 617,461 | 587,536 | 585,495 |
| 41,3478 | 465,537 | 436,902 | 392,422 | 578,877 | 466,208 | 524,855 | 581,55 | 621,976 | 597,966 | 569,484 |
| 42,6141 | 461,454 | 381,943 | 321,229 | 539,181 | 376,963 | 480,354 | 536,352 | 605,119 | 597,272 | 528,063 |
| 43,8309 | 490,578 | 417,124 | 362,376 | 550,68 | 409,831 | 497,536 | 541,773 | 618,114 | 580,27 | 508,009 |
| 45 | 458,158 | 370,684 | 352,892 | 543,2 | 369,287 | 431,094 | 480,391 | 594,393 | 550,414 | 444,738 |

Figura 4.3: Desvio Padrão das intensidades dos pixels para os ângulos de 0° até 45° para escalas de 0,1 até 1,0.

| | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1 |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 0 | 0,514263 | 0,471318 | 0,448416 | 0,318752 | 0,326629 | 0,312963 | 0,400432 | 0,374118 | 0,377762 | 0,367463 |
| 2,29061 | 0,512197 | 0,46373 | 0,449775 | 0,315618 | 0,322926 | 0,343449 | 0,330144 | 0,381587 | 0,378123 | 0,413506 |
| 4,57392 | 0,514892 | 0,44283 | 0,346307 | 0,29649 | 0,33376 | 0,308773 | 0,298195 | 0,34577 | 0,395899 | 0,399393 |
| 6,84277 | 0,493741 | 0,435805 | 0,287731 | 0,27898 | 0,381023 | 0,328465 | 0,293079 | 0,32203 | 0,395447 | 0,433761 |
| 9,09028 | 0,472171 | 0,390853 | 0,289132 | 0,339795 | 0,394157 | 0,339601 | 0,293529 | 0,327192 | 0,368348 | 0,409142 |
| 11,3099 | 0,446023 | 0,325435 | 0,242452 | 0,283556 | 0,372943 | 0,331704 | 0,2886 | 0,317419 | 0,384029 | 0,403183 |
| 13,4957 | 0,418569 | 0,289946 | 0,2201 | 0,240003 | 0,352962 | 0,324539 | 0,28411 | 0,330954 | 0,371346 | 0,375089 |
| 15,6422 | 0,394207 | 0,252541 | 0,211989 | 0,253101 | 0,402562 | 0,364139 | 0,292927 | 0,35195 | 0,387349 | 0,353802 |
| 17,7447 | 0,427093 | 0,280066 | 0,265854 | 0,299812 | 0,446999 | 0,379056 | 0,328571 | 0,352688 | 0,416661 | 0,359363 |
| 19,7989 | 0,444893 | 0,273608 | 0,271359 | 0,321983 | 0,43651 | 0,365349 | 0,369521 | 0,365072 | 0,445554 | 0,385541 |
| 21,8014 | 0,470805 | 0,306264 | 0,300975 | 0,360338 | 0,437589 | 0,357189 | 0,402989 | 0,376521 | 0,449478 | 0,412731 |
| 23,7495 | 0,487153 | 0,336766 | 0,329468 | 0,380597 | 0,41542 | 0,410506 | 0,356963 | 0,387624 | 0,448077 | 0,411043 |
| 25,641 | 0,498204 | 0,347557 | 0,343594 | 0,395918 | 0,402034 | 0,460557 | 0,300284 | 0,394537 | 0,44515 | 0,367872 |
| 27,4744 | 0,486144 | 0,353081 | 0,377933 | 0,42303 | 0,393541 | 0,471778 | 0,280992 | 0,403895 | 0,455587 | 0,330098 |
| 29,2488 | 0,481704 | 0,330505 | 0,361018 | 0,444414 | 0,404773 | 0,444256 | 0,268991 | 0,385193 | 0,461068 | 0,337819 |
| 30,9638 | 0,47005 | 0,355167 | 0,365171 | 0,45927 | 0,428311 | 0,379237 | 0,28723 | 0,363927 | 0,459646 | 0,381824 |
| 32,6192 | 0,447625 | 0,322456 | 0,340325 | 0,443753 | 0,407931 | 0,315129 | 0,301338 | 0,368316 | 0,450786 | 0,392338 |
| 34,2157 | 0,46631 | 0,285504 | 0,329854 | 0,454737 | 0,416892 | 0,300048 | 0,334316 | 0,349165 | 0,459027 | 0,381355 |
| 35,7539 | 0,456272 | 0,261828 | 0,318499 | 0,435189 | 0,378949 | 0,309886 | 0,324528 | 0,364623 | 0,459613 | 0,374836 |
| 37,2348 | 0,477279 | 0,289689 | 0,322807 | 0,447073 | 0,358766 | 0,332924 | 0,317375 | 0,384064 | 0,445302 | 0,365373 |
| 38,6598 | 0,453577 | 0,287294 | 0,293332 | 0,436959 | 0,374485 | 0,340201 | 0,356643 | 0,435762 | 0,459575 | 0,339742 |
| 40,0303 | 0,465379 | 0,260896 | 0,278016 | 0,426195 | 0,371989 | 0,33774 | 0,359108 | 0,454105 | 0,451522 | 0,307344 |
| 41,3478 | 0,43948 | 0,339938 | 0,384843 | 0,45085 | 0,361906 | 0,314572 | 0,328009 | 0,440907 | 0,449114 | 0,306186 |
| 42,6141 | 0,427182 | 0,330442 | 0,440026 | 0,483939 | 0,43716 | 0,326066 | 0,352844 | 0,44281 | 0,452742 | 0,312538 |
| 43,8309 | 0,42399 | 0,282472 | 0,359733 | 0,470845 | 0,396018 | 0,320633 | 0,336141 | 0,438396 | 0,471727 | 0,317662 |
| 45 | 0,473169 | 0,324292 | 0,373091 | 0,451146 | 0,366003 | 0,341198 | 0,35561 | 0,427517 | 0,469911 | 0,330331 |

Figura 4.4: Resultado da função estimativa para os ângulos de 0° até 45° para escalas de 0,1 até 1,0.

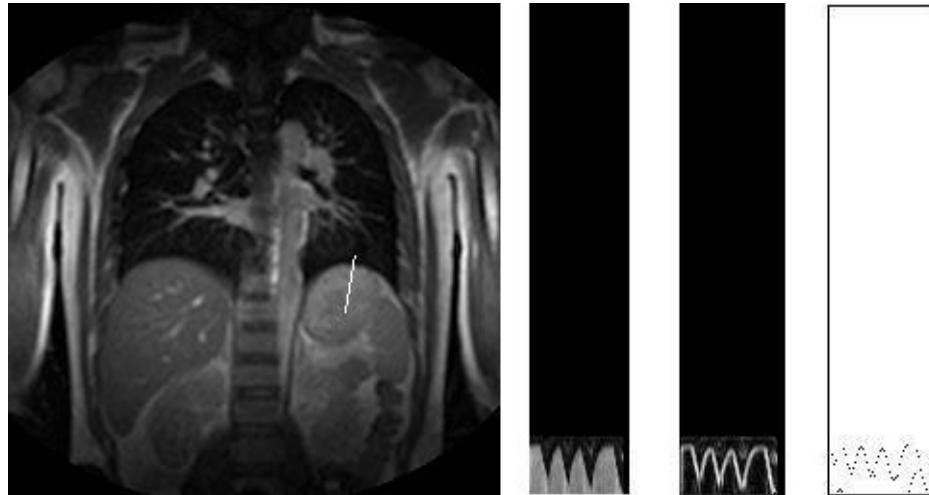


Figura 4.5: Plano para função respiração, Slice, Sobel e Snakes ($\text{ângulo}=80^\circ$).

Para as próximas tabelas temos a figura 4.10 que mostra as médias para das intensidades dos pixels para ângulos de 90° até 135° para escalas que variam 0.1 até 1.0. A tabela da figura 4.11 mostra o desvio padrão das intensidades dos pixels. Já o resultado da função estimativa está na figura 4.12. Note que o maior valor da função estimativa para intervalo estudado é 0.610439 para o ângulo de 95° e escala igual a 0.1. A figura 4.9 mostra um corte feito a 99° , bem como o imagem Slice, o resultado do algoritmo Sobel e o resultado do algoritmo Snakes.

Por fim temos a tabela na figura 4.14 que mostra as médias para das intensidades dos pixels para ângulos de 135° até 180° para escalas que variam 0.1 até 1.0. A tabela da figura 4.15 mostra o desvio padrão das intensidades dos pixels. Já o resultado da função estimativa está na figura 4.16. Note que o maior valor da função estimativa para intervalo estudado é 0.537362 para o ângulo em torno de 138° e escala igual a 0.4. Portanto, conclui-se que o resultado para o ponto escolhido é 95° e escala 0.1.

| | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1 |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 45 | 292,667 | 184,75 | 191,292 | 342 | 200,417 | 225,75 | 259,458 | 370,417 | 379,583 | 234,208 |
| 46,1691 | 297,458 | 170,333 | 168,375 | 332,917 | 204,458 | 238,667 | 269,667 | 378,625 | 383,583 | 242,75 |
| 47,3859 | 304,25 | 170,083 | 163,75 | 332,917 | 206,542 | 230,833 | 278,833 | 377,5 | 390,75 | 247,542 |
| 48,6522 | 296,75 | 161,625 | 158,708 | 337,917 | 203,833 | 241,333 | 279,042 | 383,417 | 384,833 | 246,458 |
| 49,9697 | 301,083 | 151,667 | 161,458 | 329,958 | 206,208 | 239,125 | 279,417 | 380,792 | 381,583 | 246,625 |
| 51,3402 | 300,667 | 159,583 | 167,125 | 334,625 | 207,375 | 229,25 | 279,375 | 378,125 | 385,75 | 246,5 |
| 52,7652 | 297,75 | 162,583 | 160,792 | 348,5 | 222 | 229,708 | 270,708 | 382,333 | 390,5 | 251,25 |
| 54,2461 | 302,75 | 165,917 | 167,708 | 362,208 | 233,042 | 238 | 272,792 | 378,042 | 396,875 | 262,333 |
| 55,7843 | 299,417 | 169,25 | 172,542 | 372 | 233,958 | 232,292 | 268,458 | 388,708 | 410,542 | 274,25 |
| 57,3808 | 303,458 | 181,083 | 183,833 | 384 | 242,5 | 244,875 | 273,625 | 389,042 | 420 | 280,958 |
| 59,0362 | 304 | 197,167 | 189,167 | 388,583 | 260,833 | 263,25 | 284,042 | 395,458 | 419,958 | 287,25 |
| 60,7512 | 317,375 | 205 | 195,333 | 396,583 | 269,042 | 268 | 277,042 | 396,625 | 424,625 | 298,417 |
| 62,5256 | 329,458 | 210,75 | 199,917 | 400,792 | 262,125 | 257 | 267,042 | 401,792 | 421,167 | 303,333 |
| 64,359 | 340,042 | 211,417 | 197,208 | 394,792 | 262,708 | 260,75 | 273,042 | 404,708 | 423,5 | 304,75 |
| 66,2505 | 349,708 | 214,792 | 194,333 | 382,667 | 270,833 | 266,875 | 282,833 | 403,667 | 430,458 | 323,625 |
| 68,1986 | 354,833 | 215,708 | 199,875 | 382,167 | 275,375 | 269,167 | 281,75 | 403,542 | 434,292 | 330,75 |
| 70,2011 | 353,167 | 225,167 | 198 | 384,125 | 279 | 274,5 | 280,542 | 407,083 | 432,083 | 343,5 |
| 72,2553 | 351,167 | 235,167 | 196,083 | 385,083 | 270,875 | 270,375 | 282,458 | 419,667 | 427,708 | 332,5 |
| 74,3578 | 358,292 | 242,25 | 198,458 | 388,958 | 268,042 | 267,333 | 287 | 425 | 418,833 | 321,333 |
| 76,5043 | 365,208 | 246,667 | 196,458 | 382,292 | 262 | 273 | 288,292 | 423,542 | 413,208 | 323,417 |
| 78,6901 | 371,208 | 246,833 | 194,208 | 382,875 | 259,917 | 270,417 | 290,875 | 426,958 | 419,708 | 335,833 |
| 80,9097 | 367,167 | 250,458 | 197,25 | 381 | 262,625 | 261,917 | 284,042 | 417 | 424,333 | 344,917 |
| 83,1572 | 356,333 | 243,917 | 193,208 | 384,667 | 267,292 | 265,792 | 283,125 | 412,583 | 423,75 | 351,208 |
| 85,4261 | 352,167 | 255,833 | 196,292 | 376,042 | 260,333 | 261,708 | 281,333 | 398,167 | 411,333 | 347,417 |
| 87,7094 | 343,333 | 248,792 | 205,542 | 381,542 | 253,375 | 254,292 | 282,542 | 391,583 | 395 | 342 |
| 90 | 345 | 254,917 | 211,25 | 375,875 | 251,167 | 239,292 | 283,625 | 382,417 | 397,208 | 344,417 |

Figura 4.6: Média das intensidades dos pixels para os ângulos de 45° até 90° para escalas de 0,1 até 1,0.

| | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1 |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 45 | 458,158 | 370,684 | 352,892 | 543,2 | 369,287 | 431,094 | 480,391 | 594,393 | 550,414 | 444,738 |
| 46,1691 | 453,579 | 344,435 | 305,255 | 493,381 | 352,096 | 436,615 | 480,615 | 600,258 | 549,063 | 458,856 |
| 47,3859 | 471,606 | 337,253 | 283,398 | 500,628 | 343,534 | 432,229 | 491,673 | 598,665 | 571,67 | 460,854 |
| 48,6522 | 446,314 | 300,396 | 243,312 | 493,14 | 338,909 | 427,34 | 484,478 | 605,912 | 567,329 | 461,317 |
| 49,9697 | 438,187 | 281,371 | 243,753 | 494,885 | 340,073 | 403,717 | 470,217 | 599,77 | 562,656 | 453,04 |
| 51,3402 | 432,921 | 283,303 | 256,32 | 507,743 | 334,104 | 392,215 | 458,788 | 594,169 | 568,028 | 447,52 |
| 52,7652 | 434,545 | 276,3 | 234,52 | 521,443 | 333,984 | 381,985 | 467,185 | 584,216 | 579,352 | 460,97 |
| 54,2461 | 445,107 | 278,087 | 237,722 | 526,485 | 334,404 | 401,234 | 473,756 | 583,268 | 586,561 | 468,426 |
| 55,7843 | 449,997 | 299,799 | 257,9 | 550,35 | 345,695 | 398,391 | 483,448 | 584,872 | 600,608 | 491,984 |
| 57,3808 | 457,672 | 330,945 | 278,184 | 559,722 | 363,111 | 415,899 | 489,711 | 591,262 | 614,662 | 520,705 |
| 59,0362 | 459,085 | 393,401 | 327,033 | 576,531 | 384,889 | 426,154 | 505,253 | 598,214 | 616,249 | 532,237 |
| 60,7512 | 474,332 | 413,747 | 347,024 | 588,719 | 391,571 | 424,988 | 501,785 | 601,064 | 615,122 | 528,456 |
| 62,5256 | 493,906 | 445,896 | 358,737 | 587,419 | 398,134 | 416,582 | 499,81 | 610,466 | 612,697 | 525,931 |
| 64,359 | 496,258 | 453,451 | 363,658 | 582,679 | 399,921 | 414,827 | 500,679 | 617,134 | 619,681 | 531,523 |
| 66,2505 | 504,178 | 430,901 | 341,419 | 576,353 | 405,355 | 420,764 | 520,045 | 626,813 | 620,866 | 542,41 |
| 68,1986 | 499,433 | 423,966 | 338,581 | 565,725 | 414,373 | 434,935 | 532,345 | 636,928 | 628,499 | 547,634 |
| 70,2011 | 493,194 | 425,452 | 335,845 | 559,594 | 422,141 | 444,616 | 556,58 | 646,933 | 633,981 | 562,078 |
| 72,2553 | 491,888 | 437,681 | 346,934 | 565,089 | 434,727 | 461,739 | 565,908 | 664,016 | 643,991 | 565,576 |
| 74,3578 | 503,606 | 451,739 | 360,554 | 576,729 | 444,103 | 462,32 | 560,763 | 674,777 | 645,907 | 561,627 |
| 76,5043 | 523,612 | 439,194 | 345,072 | 570,917 | 445,982 | 472,102 | 561,762 | 672,877 | 643,947 | 553,152 |
| 78,6901 | 533,077 | 428,626 | 337,498 | 578,252 | 431,517 | 464,113 | 550,097 | 669,87 | 634,211 | 547,236 |
| 80,9097 | 527,78 | 410,07 | 322,115 | 574,333 | 427,487 | 458,748 | 534,919 | 657,271 | 633,095 | 548,018 |
| 83,1572 | 511,72 | 403,837 | 322,069 | 573,205 | 421,483 | 452,244 | 539,484 | 639,037 | 622,139 | 546,005 |
| 85,4261 | 510,13 | 408,548 | 326,388 | 559,138 | 412,669 | 440,117 | 537,544 | 626,846 | 611,588 | 551,03 |
| 87,7094 | 494,52 | 399,996 | 329,449 | 559,633 | 395,432 | 442,539 | 541,555 | 625,163 | 600,506 | 552,198 |
| 90 | 483,517 | 391,171 | 322,569 | 543,696 | 395,767 | 419,042 | 533,843 | 623,08 | 596,316 | 547,044 |

Figura 4.7: Desvio padrão das intensidades dos pixels para os ângulos de 45° até 90° para escalas de 0,1 até 1,0.

| | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1 |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 45 | 0,473169 | 0,324292 | 0,373091 | 0,451146 | 0,366003 | 0,341198 | 0,35561 | 0,427517 | 0,469911 | 0,330331 |
| 46,1691 | 0,486563 | 0,319162 | 0,383373 | 0,485119 | 0,40411 | 0,366299 | 0,377055 | 0,433429 | 0,475563 | 0,332927 |
| 47,3859 | 0,478248 | 0,331974 | 0,409943 | 0,478163 | 0,422712 | 0,352819 | 0,382917 | 0,433274 | 0,465981 | 0,341483 |
| 48,6522 | 0,493438 | 0,372534 | 0,473761 | 0,492355 | 0,422898 | 0,38465 | 0,391308 | 0,434981 | 0,462582 | 0,338465 |
| 49,9697 | 0,509481 | 0,373646 | 0,481311 | 0,479417 | 0,42717 | 0,410445 | 0,407833 | 0,436585 | 0,462488 | 0,348913 |
| 51,3402 | 0,514592 | 0,399732 | 0,473559 | 0,473821 | 0,439205 | 0,403389 | 0,420423 | 0,437721 | 0,463095 | 0,355351 |
| 52,7652 | 0,508141 | 0,424482 | 0,497835 | 0,480564 | 0,47294 | 0,418393 | 0,394539 | 0,450996 | 0,459734 | 0,349588 |
| 54,2461 | 0,504585 | 0,432111 | 0,511097 | 0,494213 | 0,494911 | 0,411213 | 0,391162 | 0,446449 | 0,461451 | 0,364316 |
| 55,7843 | 0,493799 | 0,401014 | 0,48615 | 0,485938 | 0,481428 | 0,402079 | 0,371303 | 0,458157 | 0,465995 | 0,361822 |
| 57,3808 | 0,492059 | 0,382657 | 0,480167 | 0,492913 | 0,475175 | 0,407283 | 0,374745 | 0,45352 | 0,465838 | 0,344005 |
| 59,0362 | 0,491413 | 0,327927 | 0,410546 | 0,484583 | 0,482053 | 0,43219 | 0,378125 | 0,455689 | 0,464648 | 0,344139 |
| 60,7512 | 0,496558 | 0,320418 | 0,39512 | 0,484327 | 0,488436 | 0,442529 | 0,368084 | 0,454851 | 0,470343 | 0,36874 |
| 62,5256 | 0,495041 | 0,288601 | 0,389352 | 0,490344 | 0,468374 | 0,431526 | 0,349373 | 0,453652 | 0,468482 | 0,379848 |
| 64,359 | 0,50815 | 0,279116 | 0,373335 | 0,487062 | 0,467289 | 0,440927 | 0,361124 | 0,451959 | 0,465912 | 0,376762 |
| 66,2505 | 0,513986 | 0,32438 | 0,401483 | 0,477401 | 0,475387 | 0,445391 | 0,359579 | 0,443406 | 0,472249 | 0,397186 |
| 68,1986 | 0,525265 | 0,337657 | 0,4218 | 0,485658 | 0,472837 | 0,433117 | 0,343872 | 0,435579 | 0,47078 | 0,40328 |
| 70,2011 | 0,528901 | 0,362448 | 0,421082 | 0,493171 | 0,470214 | 0,431904 | 0,314604 | 0,432256 | 0,46469 | 0,409102 |
| 72,2553 | 0,527505 | 0,3717 | 0,397463 | 0,489769 | 0,441169 | 0,404356 | 0,308548 | 0,434383 | 0,453045 | 0,389705 |
| 74,3578 | 0,525905 | 0,370522 | 0,382137 | 0,484878 | 0,424744 | 0,397595 | 0,323915 | 0,432709 | 0,441985 | 0,37566 |
| 76,5043 | 0,516616 | 0,398018 | 0,401615 | 0,481473 | 0,410394 | 0,397616 | 0,325553 | 0,432409 | 0,437059 | 0,386898 |
| 78,6901 | 0,51585 | 0,412385 | 0,407637 | 0,476077 | 0,423678 | 0,40169 | 0,343328 | 0,438462 | 0,451408 | 0,411154 |
| 80,9097 | 0,515395 | 0,444769 | 0,441479 | 0,47699 | 0,433944 | 0,390671 | 0,345786 | 0,436239 | 0,457199 | 0,423347 |
| 83,1572 | 0,515846 | 0,438778 | 0,430525 | 0,482519 | 0,450034 | 0,406319 | 0,338906 | 0,444611 | 0,464415 | 0,433606 |
| 85,4261 | 0,511731 | 0,457937 | 0,431875 | 0,483551 | 0,447413 | 0,412511 | 0,337284 | 0,436809 | 0,458755 | 0,424177 |
| 87,7094 | 0,514435 | 0,454405 | 0,451232 | 0,489986 | 0,455159 | 0,394183 | 0,335418 | 0,430016 | 0,448621 | 0,415615 |
| 90 | 0,527249 | 0,478312 | 0,475738 | 0,496469 | 0,450398 | 0,390774 | 0,346105 | 0,41996 | 0,454382 | 0,423504 |

Figura 4.8: Resultados da função estimativa para os ângulos de 45° até 90° para escalas de 0.1 até 1.0.

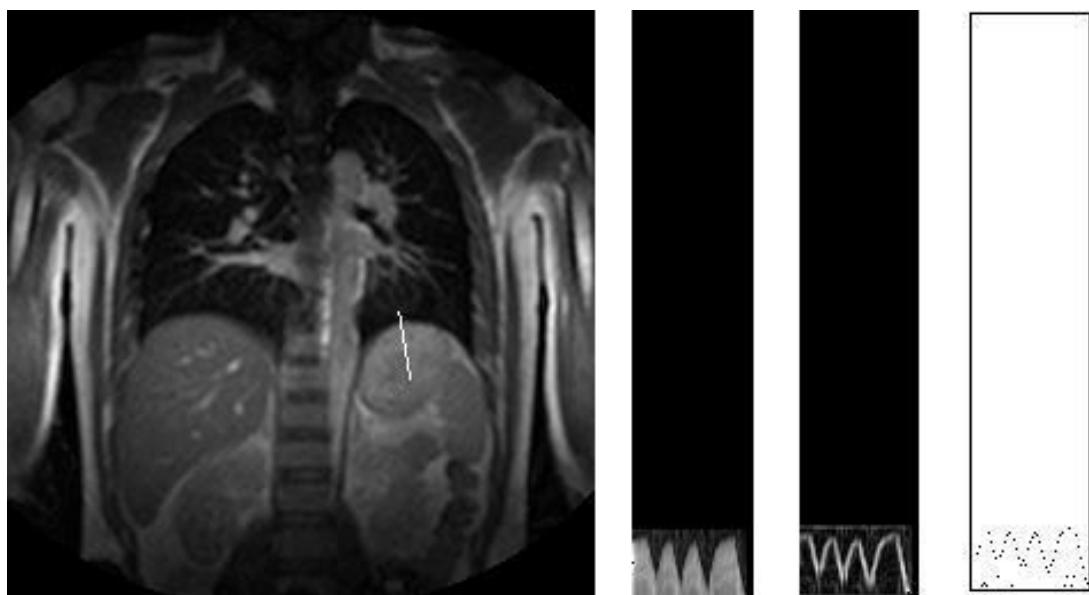


Figura 4.9: Plano para função respiração, Slice, Sobel e Snakes (ângulo=99°).

| | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1 |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 90 | 345 | 254,917 | 211,25 | 375,875 | 251,167 | 239,292 | 283,625 | 382,417 | 397,208 | 344,417 |
| 92,2906 | 344,167 | 261,708 | 207,292 | 364,5 | 244,375 | 229,917 | 279,542 | 382,5 | 410,167 | 344,917 |
| 94,5739 | 401,667 | 264,125 | 213,417 | 362,875 | 232,708 | 223,417 | 278,917 | 391,5 | 417,625 | 347,25 |
| 96,8428 | 342,125 | 253,5 | 215,542 | 351,958 | 229,458 | 222,833 | 278,375 | 371 | 397,25 | 345,917 |
| 99,0903 | 335,792 | 248,542 | 211,042 | 349,208 | 234,5 | 231,542 | 281,958 | 356,75 | 387,875 | 348,875 |
| 101,31 | 316,25 | 232,958 | 215,833 | 345,958 | 237,458 | 239,167 | 272,417 | 348,208 | 385,417 | 340,875 |
| 103,496 | 308,583 | 240,75 | 222,25 | 353,375 | 229 | 247,458 | 271,75 | 349,083 | 376,417 | 326,042 |
| 105,642 | 297,417 | 245,708 | 215,333 | 349,25 | 226,042 | 250,833 | 278,75 | 350,042 | 371,75 | 320,917 |
| 107,745 | 286,708 | 239,208 | 211,917 | 353,542 | 221,25 | 262,042 | 286,083 | 349,417 | 353,208 | 309,583 |
| 109,799 | 274,25 | 227,542 | 202,417 | 358,75 | 225,208 | 264,125 | 287,542 | 355,667 | 357,292 | 292,25 |
| 111,801 | 268,875 | 210,417 | 179,125 | 367,833 | 229,375 | 279,25 | 301,458 | 367,833 | 367,833 | 300,625 |
| 113,749 | 254,5 | 209,917 | 178,417 | 374,25 | 245,125 | 296,25 | 303,708 | 374,083 | 379,042 | 303,917 |
| 115,641 | 255,292 | 194,333 | 168,458 | 367,583 | 243,083 | 297,833 | 293,792 | 375,792 | 387,75 | 306,792 |
| 117,474 | 264,333 | 192 | 164,167 | 364,083 | 245,333 | 300,292 | 291,458 | 376,958 | 394,042 | 305,625 |
| 119,249 | 273,042 | 188 | 160,083 | 360 | 227,875 | 290,042 | 284,125 | 368,708 | 400,708 | 292,792 |
| 120,964 | 281,917 | 183,917 | 168,083 | 360,375 | 220,75 | 290,208 | 284,083 | 362,667 | 412,125 | 287,5 |
| 122,619 | 290,208 | 187,75 | 176,583 | 354,292 | 201,458 | 285,292 | 267,167 | 370,625 | 412 | 275,667 |
| 124,216 | 277,542 | 185,208 | 182,667 | 342,625 | 205,875 | 287,083 | 267,333 | 374,375 | 403,042 | 270,958 |
| 125,754 | 268,583 | 180,292 | 184,292 | 327,958 | 198,458 | 294,208 | 273 | 373,542 | 387,917 | 259,625 |
| 127,235 | 268,5 | 189,125 | 191,792 | 321,792 | 195,75 | 289,458 | 276,333 | 386,792 | 385,375 | 257,25 |
| 128,66 | 256 | 193,542 | 200,417 | 300,542 | 186,583 | 290,958 | 276,583 | 385,583 | 378,458 | 249,375 |
| 130,03 | 253,375 | 191,208 | 216,542 | 301,042 | 193,75 | 290,083 | 280,833 | 386,958 | 377,833 | 239,375 |
| 131,348 | 258,208 | 194,458 | 213,292 | 290,083 | 204,542 | 291 | 285,833 | 377,458 | 393,958 | 238,708 |
| 132,614 | 264,542 | 192,875 | 212 | 280,167 | 245,25 | 307,125 | 325,833 | 389,333 | 419,917 | 274,333 |
| 133,831 | 288,458 | 225,667 | 253,25 | 319,208 | 296,667 | 368,5 | 386,125 | 435,042 | 471,25 | 326,167 |
| 135 | 332,625 | 275,875 | 294,667 | 353,375 | 376,375 | 402,583 | 462,25 | 513,75 | 554,958 | 389,333 |

Figura 4.10: Média das intensidades dos pixels para os ângulos de 90° até 135° para escalas de 0,1 até 1,0.

| | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1 |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 90 | 483,517 | 391,171 | 322,569 | 543,696 | 395,767 | 419,042 | 533,843 | 623,08 | 596,316 | 547,044 |
| 92,2906 | 470,569 | 391,81 | 318,88 | 533,877 | 399,135 | 394,803 | 521,904 | 607,741 | 593,544 | 543,07 |
| 94,5739 | 461,639 | 402,372 | 330,957 | 547,754 | 386,463 | 382,05 | 503,37 | 591,786 | 597,028 | 554,695 |
| 96,8428 | 466,166 | 384,988 | 312,122 | 513,958 | 371,568 | 385,102 | 504,827 | 562,284 | 574,597 | 532,025 |
| 99,0903 | 480,912 | 373,072 | 295,073 | 500,342 | 373,849 | 387,877 | 498,098 | 547,14 | 564,169 | 517,828 |
| 101,31 | 463,153 | 388,868 | 317,664 | 490,216 | 368,411 | 390,522 | 487,298 | 541,172 | 567,236 | 504,86 |
| 103,496 | 456,268 | 397,734 | 328,98 | 502,349 | 360,953 | 403,975 | 495,143 | 536,787 | 550,84 | 484,916 |
| 105,642 | 440,473 | 408,778 | 339,499 | 506,316 | 356,815 | 411,283 | 490,264 | 541,405 | 537,108 | 484,847 |
| 107,745 | 429,134 | 409,255 | 340,075 | 512,593 | 352,45 | 427,533 | 509,228 | 536,748 | 525,883 | 491,805 |
| 109,799 | 415,658 | 404,345 | 339,247 | 529,186 | 351,62 | 426,976 | 515,67 | 540,682 | 532,569 | 505,513 |
| 111,801 | 406,553 | 377,091 | 336,947 | 545,668 | 354,093 | 445,341 | 521,498 | 549,767 | 534,472 | 515,369 |
| 113,749 | 381,883 | 383,728 | 340,347 | 543,789 | 378,457 | 445,565 | 528,958 | 557,41 | 538,888 | 526,094 |
| 115,641 | 398,336 | 343,486 | 303,101 | 545,251 | 373,246 | 444,411 | 525,102 | 560,829 | 555,756 | 538,127 |
| 117,474 | 419,449 | 326,654 | 284,29 | 544,861 | 373,047 | 449,181 | 528,768 | 569,007 | 568,976 | 534,505 |
| 119,249 | 447,529 | 306,905 | 264,08 | 560,24 | 361,829 | 454,587 | 521,25 | 571,096 | 585,52 | 526,707 |
| 120,964 | 466,432 | 295,942 | 250,534 | 565,405 | 354,611 | 473,732 | 510,867 | 577,628 | 583,747 | 514,505 |
| 122,619 | 495,176 | 303,685 | 263,931 | 568,744 | 332,099 | 483,757 | 496,45 | 589,254 | 581,685 | 483,016 |
| 124,216 | 470,456 | 295,782 | 264,145 | 552,661 | 334,259 | 491,891 | 485,059 | 595,281 | 573,306 | 463,533 |
| 125,754 | 448,2 | 287,024 | 281,83 | 518,467 | 319,625 | 505,588 | 472,449 | 612,193 | 562,683 | 452,318 |
| 127,235 | 455,494 | 286,073 | 285,212 | 493,003 | 305,903 | 494,147 | 477,689 | 623,015 | 569,096 | 448,371 |
| 128,66 | 422,878 | 279,421 | 302,828 | 436,18 | 301,085 | 500,704 | 477,025 | 616,773 | 569,346 | 444,166 |
| 130,03 | 409,387 | 274,77 | 325,815 | 420,858 | 309,826 | 487,553 | 494,087 | 631,178 | 572,142 | 432,216 |
| 131,348 | 424,684 | 291,676 | 337,027 | 406,607 | 319,283 | 484,803 | 497,869 | 633,365 | 574,474 | 441,082 |
| 132,614 | 423,532 | 303,314 | 356,618 | 406,088 | 382,608 | 478 | 544,365 | 652,255 | 613,523 | 484,722 |
| 133,831 | 446,755 | 324,663 | 387,376 | 461,398 | 558,207 | 599,348 | 641,775 | 663,306 | 691,884 | 587,201 |
| 135 | 491,298 | 421,944 | 473,464 | 542,153 | 771,95 | 709,655 | 778,513 | 738,246 | 817,967 | 732,742 |

Figura 4.11: Desvio padrão das intensidades dos pixels para os ângulos de 90° até 135° para escalas de 0,1 até 1,0.

| | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1 |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 90 | 0,527249 | 0,478312 | 0,475738 | 0,496469 | 0,450398 | 0,390774 | 0,346105 | 0,41996 | 0,454382 | 0,423504 |
| 92,2906 | 0,538539 | 0,490513 | 0,472068 | 0,490652 | 0,432192 | 0,401419 | 0,350816 | 0,432356 | 0,470811 | 0,427651 |
| 94,5739 | 0,610439 | 0,481932 | 0,468052 | 0,476335 | 0,423518 | 0,403648 | 0,370095 | 0,456033 | 0,476116 | 0,420782 |
| 96,8428 | 0,540093 | 0,483474 | 0,501211 | 0,492059 | 0,436607 | 0,397961 | 0,367387 | 0,454806 | 0,471006 | 0,438595 |
| 99,0903 | 0,517132 | 0,489233 | 0,517329 | 0,500845 | 0,444541 | 0,41455 | 0,381913 | 0,449264 | 0,468557 | 0,454716 |
| 101,31 | 0,506464 | 0,434331 | 0,493549 | 0,505897 | 0,458063 | 0,427801 | 0,375029 | 0,442988 | 0,463332 | 0,455679 |
| 103,496 | 0,501821 | 0,439943 | 0,49083 | 0,504429 | 0,450241 | 0,42791 | 0,364732 | 0,448031 | 0,465869 | 0,453815 |
| 105,642 | 0,501028 | 0,436154 | 0,459697 | 0,495433 | 0,449506 | 0,425667 | 0,384319 | 0,445278 | 0,471499 | 0,446754 |
| 107,745 | 0,495828 | 0,420748 | 0,45061 | 0,495383 | 0,444935 | 0,428208 | 0,377754 | 0,448515 | 0,458139 | 0,423419 |
| 109,799 | 0,489608 | 0,399161 | 0,427607 | 0,487329 | 0,454953 | 0,432894 | 0,373612 | 0,453396 | 0,457625 | 0,381081 |
| 111,801 | 0,490784 | 0,394233 | 0,361371 | 0,48465 | 0,460512 | 0,439714 | 0,39326 | 0,461235 | 0,469008 | 0,385703 |
| 113,749 | 0,494587 | 0,38252 | 0,352806 | 0,494382 | 0,460448 | 0,468114 | 0,389623 | 0,462626 | 0,478502 | 0,380686 |
| 115,641 | 0,474865 | 0,402264 | 0,387792 | 0,48469 | 0,463126 | 0,471827 | 0,375484 | 0,461914 | 0,474993 | 0,373786 |
| 117,474 | 0,466123 | 0,423865 | 0,409608 | 0,480475 | 0,467837 | 0,470679 | 0,367159 | 0,456682 | 0,471759 | 0,375332 |
| 119,249 | 0,448896 | 0,446337 | 0,436114 | 0,461398 | 0,446565 | 0,448306 | 0,360853 | 0,444598 | 0,466526 | 0,360326 |
| 120,964 | 0,443798 | 0,453963 | 0,487499 | 0,457336 | 0,440697 | 0,427945 | 0,372087 | 0,431174 | 0,480102 | 0,363125 |
| 122,619 | 0,426721 | 0,451226 | 0,486169 | 0,445715 | 0,42739 | 0,408146 | 0,353539 | 0,432041 | 0,481489 | 0,374348 |
| 124,216 | 0,430414 | 0,457908 | 0,501867 | 0,443247 | 0,435255 | 0,402592 | 0,367091 | 0,431988 | 0,478278 | 0,386785 |
| 125,754 | 0,439098 | 0,459547 | 0,474993 | 0,453515 | 0,439386 | 0,401008 | 0,393054 | 0,417029 | 0,469766 | 0,377341 |
| 127,235 | 0,429967 | 0,485457 | 0,488611 | 0,469121 | 0,454507 | 0,404552 | 0,393647 | 0,425659 | 0,461821 | 0,377118 |
| 128,66 | 0,444667 | 0,507942 | 0,480893 | 0,494925 | 0,438395 | 0,400254 | 0,394874 | 0,429072 | 0,453437 | 0,365665 |
| 130,03 | 0,456585 | 0,51013 | 0,482949 | 0,511961 | 0,443003 | 0,412816 | 0,384144 | 0,419407 | 0,45044 | 0,358319 |
| 131,348 | 0,44702 | 0,489594 | 0,458567 | 0,510783 | 0,455062 | 0,41743 | 0,389577 | 0,405054 | 0,467436 | 0,345664 |
| 132,614 | 0,461444 | 0,465882 | 0,425612 | 0,49552 | 0,455345 | 0,451731 | 0,411601 | 0,405869 | 0,466572 | 0,369928 |
| 133,831 | 0,478674 | 0,509587 | 0,474877 | 0,496801 | 0,353671 | 0,429801 | 0,414262 | 0,452017 | 0,464411 | 0,359907 |
| 135 | 0,502335 | 0,479954 | 0,449958 | 0,468431 | 0,300096 | 0,387151 | 0,407422 | 0,478893 | 0,462671 | 0,335387 |

Figura 4.12: Resultados da função estimativa para os ângulos de 90° até 135° para escalas de 0.1 até 1.0.

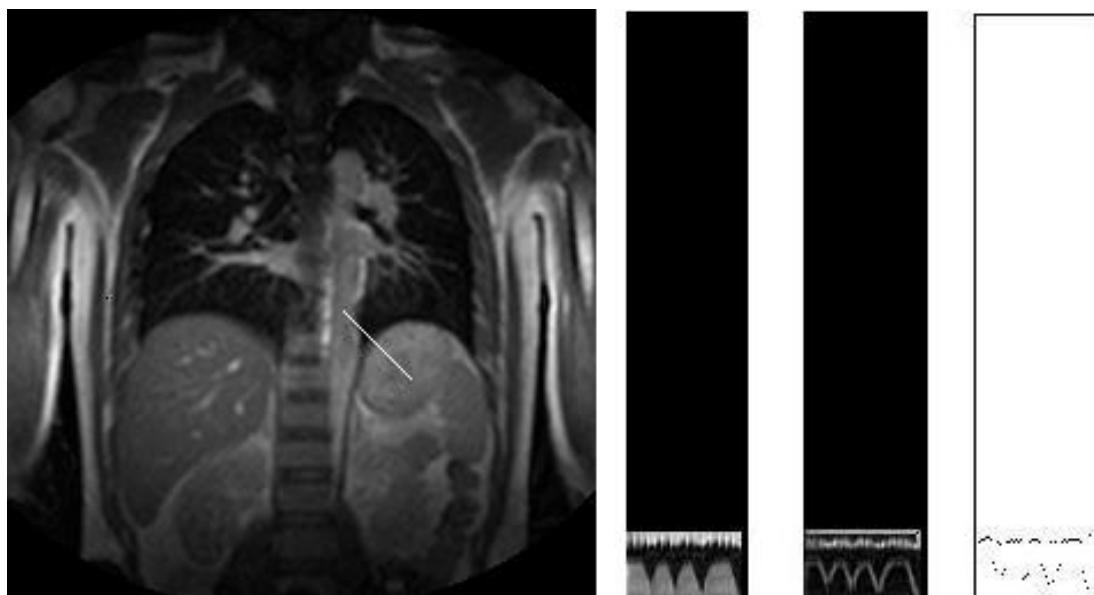


Figura 4.13: Plano para função respiração, Slice, Sobel e Snakes (ângulo=135°).

| | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1 |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 135 | 332,625 | 275,875 | 294,667 | 353,375 | 376,375 | 402,583 | 462,25 | 513,75 | 554,958 | 389,333 |
| 136,169 | 357,792 | 290,667 | 302,083 | 364,292 | 343,083 | 384,5 | 406 | 474,292 | 512,667 | 362,458 |
| 137,386 | 371,833 | 319,833 | 310,667 | 382,167 | 330,833 | 377,208 | 378,667 | 451,708 | 507,708 | 356,042 |
| 138,652 | 386,833 | 350,833 | 347,833 | 421,833 | 330,708 | 368,792 | 354,625 | 445,583 | 496,292 | 355,583 |
| 139,97 | 409,333 | 383,5 | 388,167 | 459,708 | 322,292 | 360,583 | 344,708 | 444,625 | 483,75 | 375,667 |
| 141,34 | 440,292 | 400,583 | 418,125 | 507,542 | 342,417 | 367,375 | 351,917 | 448,333 | 472 | 401,625 |
| 142,765 | 448,208 | 395,167 | 407,667 | 515,917 | 359,125 | 380,583 | 366,167 | 438,667 | 447,167 | 410,917 |
| 144,246 | 472,625 | 408,125 | 419,917 | 529,292 | 369,042 | 387,25 | 375,625 | 444,333 | 434,292 | 411,083 |
| 145,784 | 474,75 | 400,583 | 404,583 | 520,542 | 375,417 | 390,5 | 376,958 | 450,75 | 434,167 | 409,917 |
| 147,381 | 465,542 | 397,5 | 393,833 | 509,708 | 394,208 | 394,625 | 379,625 | 450,75 | 445 | 419,292 |
| 149,036 | 447,625 | 384,292 | 371,375 | 494,625 | 403,125 | 408,5 | 381,542 | 441,875 | 455,833 | 431,667 |
| 150,751 | 432,833 | 377,458 | 358,667 | 484,75 | 425,792 | 417,958 | 383,458 | 434,75 | 472,958 | 439,917 |
| 152,526 | 433,25 | 366,625 | 350,333 | 466,083 | 422,083 | 414,375 | 382,917 | 425 | 468,125 | 436,792 |
| 154,359 | 425,875 | 363,75 | 341,333 | 450,875 | 430,5 | 417,542 | 378,708 | 422,25 | 467,667 | 438,083 |
| 156,251 | 425,917 | 362,417 | 340,667 | 433,167 | 429,917 | 409,542 | 367,625 | 403,417 | 458,042 | 431,667 |
| 158,199 | 423,417 | 354,292 | 329,5 | 398,875 | 422,125 | 404,167 | 359,458 | 391,458 | 447,208 | 424,875 |
| 160,201 | 410,5 | 348 | 314,667 | 376,875 | 416,375 | 385,333 | 361,167 | 394,25 | 440,375 | 413,875 |
| 162,255 | 392,083 | 362,917 | 307,458 | 360,25 | 423,792 | 388,583 | 359,708 | 383,458 | 430,75 | 405,083 |
| 164,358 | 386,167 | 363,75 | 301,375 | 348,833 | 425,042 | 366,208 | 359,792 | 371,583 | 423,417 | 399,167 |
| 166,504 | 371,125 | 349,5 | 293,625 | 337,708 | 416,333 | 369,125 | 352,25 | 369,75 | 413,708 | 382,958 |
| 168,69 | 356,042 | 317 | 264,083 | 304,625 | 393,958 | 337,083 | 328,083 | 344,792 | 398,292 | 356,958 |
| 170,91 | 347,125 | 301,208 | 250,125 | 295,417 | 376,708 | 337,875 | 315,875 | 323,375 | 381,625 | 329,083 |
| 173,157 | 328,167 | 277,708 | 239,75 | 272,625 | 366,667 | 323,625 | 298,417 | 293,375 | 351,25 | 300,208 |
| 175,426 | 302,667 | 240,5 | 219 | 254,125 | 357,667 | 305,083 | 279,458 | 283,583 | 329,792 | 296,125 |
| 177,709 | 289,458 | 220 | 205,125 | 223,958 | 344,167 | 274,833 | 252,958 | 259 | 309,958 | 276,208 |
| 180 | 286,792 | 210,583 | 210,583 | 203,875 | 317,208 | 255,125 | 230,75 | 245,333 | 298,083 | 259,917 |

Figura 4.14: Média das intensidades dos pixels para os ângulos de 135° até 180° para escalas de 0.1 até 1.0.

| | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1 |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 135 | 491,298 | 421,944 | 473,464 | 542,153 | 771,95 | 709,655 | 778,513 | 738,246 | 817,967 | 732,742 |
| 136,169 | 527,64 | 471,371 | 471,299 | 510,032 | 618,227 | 655,566 | 687,496 | 687,994 | 734,838 | 631,338 |
| 137,386 | 550,357 | 512,773 | 461,899 | 511,097 | 556,857 | 631,118 | 616,164 | 646,709 | 699,201 | 586,666 |
| 138,652 | 569,082 | 563,753 | 494,406 | 556,197 | 522,22 | 596,159 | 571,122 | 634,287 | 675,245 | 557,687 |
| 139,97 | 651,45 | 659,853 | 606,348 | 649,925 | 513,735 | 590,678 | 543,092 | 620,251 | 652,191 | 562,91 |
| 141,34 | 729,587 | 708,493 | 679,751 | 732,5 | 539,597 | 602,071 | 560,321 | 632,096 | 619,512 | 577,494 |
| 142,765 | 741,3 | 713,057 | 694,113 | 747,135 | 551,682 | 621,677 | 557,367 | 629,86 | 590,758 | 576,134 |
| 144,246 | 802,549 | 731,711 | 725,617 | 780,714 | 561,961 | 616,11 | 583,554 | 637,256 | 594,828 | 590,167 |
| 145,784 | 815,84 | 720,36 | 713,635 | 778,509 | 580,989 | 611,67 | 596,315 | 683,004 | 612,848 | 583,996 |
| 147,381 | 799,736 | 722,706 | 699,684 | 774,226 | 618,059 | 609,384 | 596,143 | 692,638 | 640,206 | 598,689 |
| 149,036 | 763,378 | 701,501 | 677,964 | 761,097 | 647,869 | 625,615 | 600,81 | 679,114 | 668,199 | 611,746 |
| 150,751 | 722,793 | 696,078 | 668,125 | 742,808 | 679,788 | 642,752 | 605,215 | 669,915 | 672,935 | 617,795 |
| 152,526 | 715,509 | 686,396 | 658,101 | 727,143 | 683,275 | 634,694 | 599,552 | 658,695 | 671,056 | 619,291 |
| 154,359 | 690,535 | 675,425 | 642,604 | 701,12 | 685,252 | 626,837 | 595,748 | 659,996 | 653,898 | 628,849 |
| 156,251 | 685,322 | 671,891 | 642,038 | 672,193 | 676,01 | 623,461 | 591,042 | 648,89 | 649,984 | 624,618 |
| 158,199 | 685,358 | 669,978 | 632,263 | 635,53 | 669,992 | 614,919 | 589,33 | 641,976 | 631,054 | 615,295 |
| 160,201 | 678,725 | 665,285 | 611,424 | 616,877 | 653,681 | 595,098 | 595,771 | 637,639 | 617,325 | 599,398 |
| 162,255 | 659,281 | 670,512 | 589,411 | 609,693 | 662,176 | 595,506 | 597,369 | 621,134 | 605,181 | 575,596 |
| 164,358 | 654,414 | 645,201 | 552,895 | 593,854 | 637,491 | 574,873 | 605,554 | 615,378 | 598,49 | 561,362 |
| 166,504 | 626,535 | 603,833 | 504,522 | 549,87 | 615,638 | 578,196 | 607,348 | 593,023 | 585,212 | 530,151 |
| 168,69 | 599,578 | 546,82 | 447,826 | 509,706 | 582,75 | 560,648 | 568,887 | 546,02 | 560,266 | 493,064 |
| 170,91 | 569,477 | 494,202 | 411,701 | 484,293 | 559,119 | 544,062 | 523,115 | 486,173 | 538,443 | 463,138 |
| 173,157 | 536,909 | 441,782 | 381,225 | 454,462 | 539,882 | 515,746 | 472,034 | 417,762 | 496,604 | 415,318 |
| 175,426 | 494,858 | 390,528 | 358,852 | 431,924 | 543,792 | 489,684 | 437,211 | 382,536 | 476,72 | 407,421 |
| 177,709 | 459,674 | 349,952 | 334,907 | 402,88 | 516,694 | 436,622 | 383,671 | 348,103 | 458,124 | 373,856 |
| 180 | 447,462 | 333,669 | 323,698 | 374,556 | 470,777 | 393,551 | 343,321 | 333,694 | 465,426 | 367,168 |

Figura 4.15: Desvio padrão das intensidades dos pixels para os ângulos de 135° até 180° para escalas de 0.1 até 1.0.

| | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1 |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 135 | 0,502335 | 0,479954 | 0,449958 | 0,468431 | 0,300096 | 0,387151 | 0,407422 | 0,478893 | 0,462671 | 0,335387 |
| 136,169 | 0,5031 | 0,449857 | 0,465013 | 0,511302 | 0,378849 | 0,405228 | 0,404586 | 0,474727 | 0,474969 | 0,377453 |
| 137,386 | 0,501318 | 0,455875 | 0,488707 | 0,531339 | 0,416411 | 0,415196 | 0,425068 | 0,480511 | 0,492005 | 0,405676 |
| 138,652 | 0,504282 | 0,454685 | 0,509832 | 0,537362 | 0,449329 | 0,432909 | 0,430238 | 0,483023 | 0,497035 | 0,429489 |
| 139,97 | 0,464583 | 0,417572 | 0,464393 | 0,506921 | 0,444614 | 0,426152 | 0,44107 | 0,491754 | 0,500789 | 0,450471 |
| 141,34 | 0,442957 | 0,40189 | 0,443843 | 0,497508 | 0,450356 | 0,425923 | 0,435903 | 0,487195 | 0,511604 | 0,468632 |
| 142,765 | 0,443991 | 0,390208 | 0,418995 | 0,49593 | 0,462899 | 0,427601 | 0,457587 | 0,479238 | 0,509 | 0,479379 |
| 144,246 | 0,429429 | 0,39399 | 0,410807 | 0,48735 | 0,467145 | 0,440899 | 0,447869 | 0,479748 | 0,494285 | 0,469309 |
| 145,784 | 0,422702 | 0,392221 | 0,399221 | 0,48078 | 0,459294 | 0,4486 | 0,439088 | 0,454907 | 0,481582 | 0,472599 |
| 147,381 | 0,4229 | 0,385742 | 0,395112 | 0,473307 | 0,452886 | 0,455536 | 0,442669 | 0,448359 | 0,473362 | 0,471643 |
| 149,036 | 0,427012 | 0,383357 | 0,379302 | 0,466987 | 0,440469 | 0,459515 | 0,441324 | 0,44828 | 0,465109 | 0,474848 |
| 150,751 | 0,438716 | 0,37726 | 0,367272 | 0,469027 | 0,443817 | 0,45753 | 0,440204 | 0,447045 | 0,478165 | 0,478696 |
| 152,526 | 0,444792 | 0,368094 | 0,362202 | 0,460155 | 0,436769 | 0,459454 | 0,444092 | 0,444304 | 0,474928 | 0,474654 |
| 154,359 | 0,454701 | 0,373108 | 0,360868 | 0,461782 | 0,445325 | 0,468977 | 0,441815 | 0,440266 | 0,485626 | 0,469364 |
| 156,251 | 0,45879 | 0,374061 | 0,360216 | 0,462808 | 0,45144 | 0,46238 | 0,431094 | 0,426344 | 0,479308 | 0,465902 |
| 158,199 | 0,455628 | 0,361947 | 0,349169 | 0,449547 | 0,44677 | 0,462659 | 0,421259 | 0,416701 | 0,48172 | 0,465547 |
| 160,201 | 0,444159 | 0,355119 | 0,341343 | 0,435641 | 0,452227 | 0,455486 | 0,418138 | 0,423629 | 0,484533 | 0,465523 |
| 162,255 | 0,434899 | 0,376135 | 0,349754 | 0,417874 | 0,454576 | 0,459199 | 0,414691 | 0,422871 | 0,483584 | 0,473721 |
| 164,358 | 0,430559 | 0,400227 | 0,376388 | 0,414683 | 0,474395 | 0,44753 | 0,407766 | 0,411756 | 0,480998 | 0,478099 |
| 166,504 | 0,432682 | 0,415255 | 0,413956 | 0,438383 | 0,481073 | 0,448594 | 0,395032 | 0,427765 | 0,480672 | 0,484693 |
| 168,69 | 0,434065 | 0,416143 | 0,421215 | 0,424007 | 0,480914 | 0,418293 | 0,392005 | 0,433962 | 0,483061 | 0,485612 |
| 170,91 | 0,4484 | 0,443641 | 0,437297 | 0,434831 | 0,479331 | 0,434873 | 0,416123 | 0,458531 | 0,481773 | 0,477793 |
| 173,157 | 0,449873 | 0,459934 | 0,455346 | 0,426001 | 0,483067 | 0,440065 | 0,439124 | 0,482873 | 0,480895 | 0,48497 |
| 175,426 | 0,450233 | 0,449162 | 0,439682 | 0,415561 | 0,467895 | 0,436489 | 0,444481 | 0,505867 | 0,471284 | 0,487247 |
| 177,709 | 0,465717 | 0,459974 | 0,441587 | 0,383843 | 0,473933 | 0,441621 | 0,459269 | 0,507371 | 0,46143 | 0,493941 |
| 180 | 0,474893 | 0,461996 | 0,472445 | 0,371609 | 0,479362 | 0,456046 | 0,468213 | 0,502427 | 0,436153 | 0,476209 |

Figura 4.16: Resultados da função estimativa para os ângulos de 135° até 180° para escalas de 0.1 até 1.0.

5 Resultados Utilizando Aritmética Intervalar

As tabelas ilustradas nas figuras 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4 mostram os resultados da função estimativa das intensidades dos pixels para ângulos de 0° até 45° , de 45° até 90° , de 90° até 135° e de 135° até 180° , respectivamente. As escalas variam 0.1 até 1.0.

Note que na tabela da figura 5.1 o valor máximo encontrado é $E = 0,5638$ para 0° e escala de 0.1, enquanto no método sem aritmética intervalar obtivemos $E = 0.514892$ para o ângulo em torno de 4° e escala igual a 0.1. Já na tabela da figura 5.2 tivemos $E = 0,558128$ para um ângulo em torno de 53° e escala 0.1, no outro método o valor encontrado foi $E = 0.528901$ para o ângulo em torno de 70° e escala igual a 0.1. Seguindo em frente percebe-se que na tabela da figura 5.2 o máximo valor é $E = 0,573082$ para o ângulo em torno de 95° e escala igual a 0.1, o outro método indicou o mesmo ângulo e escala como o de maior valor para a função estimativa, mas o valor foi diferente $E = 0.610439$. Na última tabela figura 5.4 temos um ângulo em torno de 141° e escala 0.8 com $E = 0,525519$, no outro tivemos $E = 0.537362$ para o ângulo em torno de 138° e escala igual a 0.4.

Portanto, nota-se que o ângulo 95° e escala 0.1 é o que possui maior valor para a função estimativa, logo é o ângulo-escala no qual o ponto estudado se movimenta.

| | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1 |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 0 | 0,5638 | 0,46533 | 0,524846 | 0,321726 | 0,308019 | 0,405084 | 0,387892 | 0,455893 | 0,404413 | 0,327278 |
| 2,29061 | 0,558721 | 0,46879 | 0,466489 | 0,367673 | 0,27789 | 0,317433 | 0,405405 | 0,42168 | 0,408843 | 0,343116 |
| 4,57392 | 0,561727 | 0,426909 | 0,319366 | 0,324322 | 0,274097 | 0,278221 | 0,375255 | 0,425414 | 0,40854 | 0,372462 |
| 6,84277 | 0,532929 | 0,40173 | 0,260885 | 0,313431 | 0,329007 | 0,250241 | 0,336781 | 0,42542 | 0,44754 | 0,410543 |
| 9,09028 | 0,50223 | 0,350506 | 0,281268 | 0,308828 | 0,369944 | 0,251535 | 0,334101 | 0,421238 | 0,458301 | 0,415347 |
| 11,3099 | 0,46729 | 0,284118 | 0,266254 | 0,312503 | 0,376993 | 0,257421 | 0,334114 | 0,420424 | 0,473669 | 0,414644 |
| 13,4957 | 0,43476 | 0,255539 | 0,257412 | 0,371019 | 0,436629 | 0,287685 | 0,348584 | 0,412808 | 0,479825 | 0,41213 |
| 15,6422 | 0,4213 | 0,217368 | 0,265756 | 0,412506 | 0,469396 | 0,317511 | 0,373888 | 0,416078 | 0,465814 | 0,409484 |
| 17,7447 | 0,452873 | 0,255982 | 0,302278 | 0,402449 | 0,455137 | 0,401672 | 0,363283 | 0,438119 | 0,449255 | 0,41477 |
| 19,7989 | 0,46255 | 0,242413 | 0,296187 | 0,393172 | 0,419974 | 0,452954 | 0,371407 | 0,447389 | 0,453322 | 0,405637 |
| 21,8014 | 0,480572 | 0,270416 | 0,308177 | 0,399351 | 0,401702 | 0,440638 | 0,382122 | 0,450526 | 0,455146 | 0,406231 |
| 23,7495 | 0,491086 | 0,307051 | 0,344422 | 0,42055 | 0,39887 | 0,348873 | 0,396806 | 0,453032 | 0,448512 | 0,408428 |
| 25,641 | 0,511186 | 0,334362 | 0,375392 | 0,439705 | 0,412714 | 0,297538 | 0,40422 | 0,465949 | 0,420574 | 0,402941 |
| 27,4744 | 0,504248 | 0,362923 | 0,41115 | 0,444166 | 0,430717 | 0,288472 | 0,41264 | 0,483999 | 0,397362 | 0,40479 |
| 29,2488 | 0,487388 | 0,354465 | 0,406009 | 0,463619 | 0,458058 | 0,280673 | 0,398991 | 0,50263 | 0,403638 | 0,419368 |
| 30,9638 | 0,491439 | 0,338356 | 0,404827 | 0,491579 | 0,448912 | 0,295083 | 0,382746 | 0,499592 | 0,418224 | 0,435182 |
| 32,6192 | 0,46724 | 0,29899 | 0,391969 | 0,473245 | 0,407239 | 0,30731 | 0,384228 | 0,480467 | 0,410864 | 0,428564 |
| 34,2157 | 0,474121 | 0,288137 | 0,40912 | 0,490077 | 0,39907 | 0,341617 | 0,375259 | 0,478643 | 0,380301 | 0,413397 |
| 35,7539 | 0,449249 | 0,275164 | 0,376837 | 0,482187 | 0,379671 | 0,332172 | 0,389019 | 0,472201 | 0,34135 | 0,400425 |
| 37,2348 | 0,440353 | 0,295971 | 0,380547 | 0,473314 | 0,383227 | 0,322819 | 0,384339 | 0,477802 | 0,350502 | 0,405597 |
| 38,6598 | 0,448903 | 0,263156 | 0,36908 | 0,474176 | 0,409845 | 0,360456 | 0,450374 | 0,463346 | 0,334565 | 0,399945 |
| 40,0303 | 0,512679 | 0,241068 | 0,337812 | 0,438492 | 0,415235 | 0,358048 | 0,457681 | 0,438536 | 0,331947 | 0,407734 |
| 41,3478 | 0,489632 | 0,34403 | 0,389725 | 0,443388 | 0,405863 | 0,327858 | 0,433209 | 0,460271 | 0,335218 | 0,407855 |
| 42,6141 | 0,467003 | 0,335605 | 0,430118 | 0,457828 | 0,444189 | 0,354097 | 0,450441 | 0,467541 | 0,341484 | 0,396828 |
| 43,8309 | 0,450459 | 0,266544 | 0,384867 | 0,446667 | 0,406584 | 0,329967 | 0,441115 | 0,48593 | 0,359102 | 0,403066 |
| 45 | 0,502962 | 0,31035 | 0,373498 | 0,426454 | 0,403936 | 0,340035 | 0,446312 | 0,486036 | 0,357994 | 0,389786 |

Figura 5.1: Resultados da função estimativa para os ângulos de 0° até 45° para escalas de 0.1 até 1.0.

| | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1 |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 45 | 0,502962 | 0,31035 | 0,373498 | 0,426454 | 0,403936 | 0,340035 | 0,446312 | 0,486036 | 0,357994 | 0,389786 |
| 46,1691 | 0,513845 | 0,30154 | 0,397006 | 0,457583 | 0,426468 | 0,356755 | 0,452337 | 0,492482 | 0,373131 | 0,401328 |
| 47,3859 | 0,50896 | 0,302 | 0,417649 | 0,449389 | 0,431901 | 0,34972 | 0,457903 | 0,490035 | 0,365161 | 0,387501 |
| 48,6522 | 0,524097 | 0,348981 | 0,459221 | 0,460031 | 0,442677 | 0,364969 | 0,447388 | 0,483729 | 0,372671 | 0,391299 |
| 49,9697 | 0,541764 | 0,415759 | 0,463199 | 0,447747 | 0,461429 | 0,382767 | 0,456661 | 0,480359 | 0,372996 | 0,411169 |
| 51,3402 | 0,55797 | 0,433867 | 0,454401 | 0,447423 | 0,463122 | 0,400972 | 0,45888 | 0,480956 | 0,369372 | 0,399051 |
| 52,7652 | 0,558128 | 0,446856 | 0,471225 | 0,462216 | 0,487498 | 0,387002 | 0,472224 | 0,479496 | 0,357801 | 0,393093 |
| 54,2461 | 0,543323 | 0,454219 | 0,472092 | 0,471814 | 0,492806 | 0,38078 | 0,464059 | 0,483491 | 0,363359 | 0,377452 |
| 55,7843 | 0,536658 | 0,413011 | 0,483265 | 0,466248 | 0,49085 | 0,353866 | 0,470892 | 0,482403 | 0,369199 | 0,374194 |
| 57,3808 | 0,523562 | 0,408067 | 0,50836 | 0,466857 | 0,495398 | 0,349675 | 0,470249 | 0,484884 | 0,358902 | 0,371382 |
| 59,0362 | 0,512074 | 0,350582 | 0,493729 | 0,468841 | 0,499809 | 0,360076 | 0,475448 | 0,4844 | 0,355295 | 0,389131 |
| 60,7512 | 0,515623 | 0,33816 | 0,50118 | 0,4792 | 0,503162 | 0,35008 | 0,472792 | 0,489814 | 0,377464 | 0,411187 |
| 62,5256 | 0,505146 | 0,316039 | 0,510429 | 0,475304 | 0,487995 | 0,335713 | 0,468127 | 0,491752 | 0,393426 | 0,421331 |
| 64,359 | 0,518099 | 0,289256 | 0,503837 | 0,472616 | 0,4972 | 0,353018 | 0,465411 | 0,486241 | 0,384998 | 0,416296 |
| 66,2505 | 0,528342 | 0,332974 | 0,501607 | 0,466543 | 0,511003 | 0,361994 | 0,453231 | 0,489752 | 0,403834 | 0,424608 |
| 68,1986 | 0,547578 | 0,340435 | 0,499859 | 0,476253 | 0,51027 | 0,350446 | 0,44157 | 0,482572 | 0,407081 | 0,443847 |
| 70,2011 | 0,551105 | 0,370253 | 0,504721 | 0,491942 | 0,504998 | 0,337964 | 0,4323 | 0,479299 | 0,410312 | 0,447187 |
| 72,2553 | 0,546405 | 0,384097 | 0,47965 | 0,479174 | 0,477805 | 0,335108 | 0,429696 | 0,476984 | 0,384441 | 0,429343 |
| 74,3578 | 0,542503 | 0,388766 | 0,471277 | 0,475118 | 0,471673 | 0,344941 | 0,430195 | 0,469604 | 0,360498 | 0,430288 |
| 76,5043 | 0,537327 | 0,418378 | 0,462789 | 0,467586 | 0,463038 | 0,348074 | 0,427774 | 0,469306 | 0,365839 | 0,449779 |
| 78,6901 | 0,540443 | 0,428963 | 0,456047 | 0,459228 | 0,477005 | 0,361638 | 0,43175 | 0,481383 | 0,395363 | 0,467368 |
| 80,9097 | 0,541611 | 0,454837 | 0,464213 | 0,462517 | 0,473652 | 0,356739 | 0,433657 | 0,485734 | 0,410828 | 0,464065 |
| 83,1572 | 0,543511 | 0,449971 | 0,455038 | 0,467008 | 0,478079 | 0,353707 | 0,441319 | 0,490276 | 0,422332 | 0,457385 |
| 85,4261 | 0,53786 | 0,470741 | 0,444618 | 0,474632 | 0,465036 | 0,343367 | 0,434746 | 0,483808 | 0,412673 | 0,44711 |
| 87,7094 | 0,54028 | 0,471178 | 0,461263 | 0,475024 | 0,470814 | 0,340147 | 0,426986 | 0,475202 | 0,402748 | 0,441557 |
| 90 | 0,555749 | 0,491708 | 0,477151 | 0,484915 | 0,470919 | 0,354412 | 0,420978 | 0,483324 | 0,41516 | 0,446482 |

Figura 5.2: Resultados da função estimativa para os ângulos de 45° até 90° para escalas de 0.1 até 1.0.

| | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1 |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 90 | 0,555749 | 0,491708 | 0,477151 | 0,484915 | 0,470919 | 0,354412 | 0,420978 | 0,483324 | 0,41516 | 0,446482 |
| 92,2906 | 0,568644 | 0,491538 | 0,471528 | 0,486848 | 0,475539 | 0,381088 | 0,438446 | 0,503231 | 0,428248 | 0,443348 |
| 94,5739 | 0,573082 | 0,482061 | 0,458657 | 0,484038 | 0,499123 | 0,395753 | 0,466463 | 0,510227 | 0,427952 | 0,447037 |
| 96,8428 | 0,571359 | 0,488715 | 0,495186 | 0,498177 | 0,501241 | 0,397387 | 0,463604 | 0,506113 | 0,437135 | 0,460386 |
| 99,0903 | 0,550907 | 0,509922 | 0,507473 | 0,499826 | 0,507516 | 0,42159 | 0,462347 | 0,492543 | 0,441872 | 0,475039 |
| 101,31 | 0,539537 | 0,465531 | 0,49499 | 0,498456 | 0,515017 | 0,415106 | 0,457294 | 0,4843 | 0,439319 | 0,474934 |
| 103,496 | 0,522948 | 0,483618 | 0,486872 | 0,50214 | 0,506861 | 0,404623 | 0,462737 | 0,487237 | 0,430677 | 0,463297 |
| 105,642 | 0,520271 | 0,476186 | 0,46469 | 0,481039 | 0,502048 | 0,399055 | 0,448788 | 0,489916 | 0,41758 | 0,455179 |
| 107,745 | 0,5136 | 0,471819 | 0,435905 | 0,476384 | 0,493763 | 0,410348 | 0,440811 | 0,481209 | 0,39592 | 0,431302 |
| 109,799 | 0,509377 | 0,454768 | 0,422936 | 0,470627 | 0,49458 | 0,402386 | 0,446313 | 0,474638 | 0,360359 | 0,413247 |
| 111,801 | 0,520496 | 0,416933 | 0,390772 | 0,480236 | 0,507949 | 0,418999 | 0,451832 | 0,475577 | 0,368643 | 0,437311 |
| 113,749 | 0,513752 | 0,404435 | 0,399853 | 0,486373 | 0,511131 | 0,411725 | 0,459707 | 0,481949 | 0,366053 | 0,44252 |
| 115,641 | 0,507095 | 0,424203 | 0,405985 | 0,476243 | 0,50983 | 0,402665 | 0,462186 | 0,47657 | 0,36305 | 0,435954 |
| 117,474 | 0,500187 | 0,43581 | 0,40461 | 0,470537 | 0,507008 | 0,398703 | 0,464077 | 0,476992 | 0,357796 | 0,433843 |
| 119,249 | 0,478808 | 0,459138 | 0,415213 | 0,456894 | 0,481631 | 0,400886 | 0,450591 | 0,472811 | 0,342583 | 0,410657 |
| 120,964 | 0,471655 | 0,458173 | 0,419196 | 0,452196 | 0,471235 | 0,42834 | 0,425213 | 0,489639 | 0,342518 | 0,402609 |
| 122,619 | 0,458368 | 0,444977 | 0,417137 | 0,446099 | 0,46826 | 0,434825 | 0,426063 | 0,48862 | 0,34085 | 0,390267 |
| 124,216 | 0,483362 | 0,450459 | 0,399735 | 0,449387 | 0,4753 | 0,450566 | 0,41983 | 0,483738 | 0,354233 | 0,399303 |
| 125,754 | 0,4804 | 0,462733 | 0,36885 | 0,451752 | 0,488483 | 0,457153 | 0,407868 | 0,480357 | 0,355529 | 0,397015 |
| 127,235 | 0,490127 | 0,4927 | 0,373983 | 0,455632 | 0,509846 | 0,45395 | 0,410457 | 0,467923 | 0,363458 | 0,391296 |
| 128,66 | 0,506737 | 0,518677 | 0,385187 | 0,45654 | 0,504666 | 0,424796 | 0,422591 | 0,47129 | 0,360616 | 0,400626 |
| 130,03 | 0,504722 | 0,52016 | 0,421737 | 0,470441 | 0,501132 | 0,398638 | 0,431453 | 0,474375 | 0,358468 | 0,400851 |
| 131,348 | 0,4938 | 0,489657 | 0,411313 | 0,470452 | 0,497964 | 0,408844 | 0,430393 | 0,479926 | 0,367354 | 0,417677 |
| 132,614 | 0,49751 | 0,474624 | 0,394244 | 0,452589 | 0,482044 | 0,426911 | 0,457489 | 0,480126 | 0,397336 | 0,430887 |
| 133,831 | 0,510552 | 0,505891 | 0,449419 | 0,45314 | 0,404859 | 0,430051 | 0,499134 | 0,501348 | 0,380442 | 0,39627 |
| 135 | 0,504759 | 0,455017 | 0,44737 | 0,428848 | 0,343163 | 0,417901 | 0,498186 | 0,506617 | 0,367311 | 0,350932 |

Figura 5.3: Resultados da função estimativa para os ângulos de 90° até 135° para escalas de 0.1 até 1.0.

| | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1 |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 135 | 0,504759 | 0,455017 | 0,44737 | 0,428848 | 0,343163 | 0,417901 | 0,498186 | 0,506617 | 0,367311 | 0,350932 |
| 136,169 | 0,521577 | 0,439109 | 0,459789 | 0,475594 | 0,423679 | 0,42856 | 0,496149 | 0,498819 | 0,399655 | 0,410689 |
| 137,386 | 0,522162 | 0,451162 | 0,467427 | 0,500096 | 0,47414 | 0,459139 | 0,488289 | 0,519308 | 0,406347 | 0,42837 |
| 138,652 | 0,522659 | 0,451703 | 0,488695 | 0,511411 | 0,514826 | 0,460489 | 0,484689 | 0,523511 | 0,419644 | 0,438728 |
| 139,97 | 0,489086 | 0,41774 | 0,442253 | 0,49116 | 0,520425 | 0,478849 | 0,479144 | 0,521736 | 0,428377 | 0,444912 |
| 141,34 | 0,469573 | 0,402705 | 0,431323 | 0,481318 | 0,515691 | 0,482892 | 0,467515 | 0,525519 | 0,448296 | 0,459995 |
| 142,765 | 0,46547 | 0,394451 | 0,413155 | 0,488114 | 0,515127 | 0,506416 | 0,461382 | 0,525199 | 0,452464 | 0,468692 |
| 144,246 | 0,453329 | 0,396892 | 0,411065 | 0,485924 | 0,516312 | 0,505175 | 0,457559 | 0,508944 | 0,453517 | 0,469593 |
| 145,784 | 0,442345 | 0,390711 | 0,407141 | 0,493399 | 0,507625 | 0,496361 | 0,441204 | 0,501399 | 0,454579 | 0,4639 |
| 147,381 | 0,438921 | 0,378118 | 0,408366 | 0,503571 | 0,497763 | 0,481843 | 0,443272 | 0,491954 | 0,461976 | 0,470358 |
| 149,036 | 0,436811 | 0,365777 | 0,403022 | 0,503488 | 0,481652 | 0,46038 | 0,450526 | 0,489555 | 0,471785 | 0,474451 |
| 150,751 | 0,447062 | 0,352016 | 0,403044 | 0,510364 | 0,476298 | 0,454999 | 0,452778 | 0,500883 | 0,488041 | 0,480212 |
| 152,526 | 0,452631 | 0,347583 | 0,398182 | 0,507505 | 0,469612 | 0,452371 | 0,44604 | 0,495443 | 0,50059 | 0,48867 |
| 154,359 | 0,466817 | 0,358776 | 0,397552 | 0,511295 | 0,477852 | 0,453203 | 0,438596 | 0,503944 | 0,509346 | 0,499133 |
| 156,251 | 0,469885 | 0,35685 | 0,396642 | 0,508481 | 0,475592 | 0,446827 | 0,42277 | 0,494969 | 0,515366 | 0,502348 |
| 158,199 | 0,468198 | 0,346271 | 0,367789 | 0,507004 | 0,471965 | 0,450581 | 0,409574 | 0,498025 | 0,511497 | 0,499546 |
| 160,201 | 0,459928 | 0,34326 | 0,352993 | 0,490736 | 0,467244 | 0,459041 | 0,412497 | 0,493653 | 0,506868 | 0,492717 |
| 162,255 | 0,454935 | 0,355924 | 0,357922 | 0,48248 | 0,461335 | 0,464109 | 0,409908 | 0,494119 | 0,509302 | 0,492348 |
| 164,358 | 0,454566 | 0,379192 | 0,389446 | 0,472328 | 0,457546 | 0,452027 | 0,402284 | 0,481381 | 0,50593 | 0,487087 |
| 166,504 | 0,466642 | 0,397755 | 0,416735 | 0,4859 | 0,462982 | 0,446601 | 0,419714 | 0,486713 | 0,502114 | 0,47899 |
| 168,69 | 0,472168 | 0,400878 | 0,420148 | 0,462218 | 0,456954 | 0,431735 | 0,424568 | 0,491653 | 0,505213 | 0,488925 |
| 170,91 | 0,490107 | 0,412607 | 0,42342 | 0,452844 | 0,448741 | 0,43596 | 0,456112 | 0,49707 | 0,493715 | 0,478976 |
| 173,157 | 0,493742 | 0,430992 | 0,432458 | 0,453239 | 0,447105 | 0,445118 | 0,484239 | 0,502338 | 0,498109 | 0,474983 |
| 175,426 | 0,492214 | 0,425151 | 0,41344 | 0,443818 | 0,438255 | 0,458137 | 0,508652 | 0,495154 | 0,496528 | 0,492348 |
| 177,709 | 0,510061 | 0,438584 | 0,422262 | 0,450621 | 0,453419 | 0,491339 | 0,521386 | 0,493145 | 0,506986 | 0,49897 |
| 180 | 0,519494 | 0,446622 | 0,458591 | 0,448334 | 0,470604 | 0,518199 | 0,523931 | 0,479547 | 0,513235 | 0,510113 |

Figura 5.4: Resultados da função estimativa para os ângulos de 135° até 180° para escalas de 0.1 até 1.0.

6 Conclusão

O algoritmo Sobel, utilizado neste projeto, atuou como um filtro nas imagens de Ressonância Magnética do pulmão ao longo do tempo detectando os contornos presentes na imagem. Sua implementação ocorreu de forma satisfatória, retornando imagens que ilustravam as bordas do pulmão, objeto de estudo desta monografia, visto que sua visualização é imprescindível para a determinação da função respiração.

O algoritmo Snakes, cujo código é aberto , permitiu de forma clara a identificação dos pontos referentes às bordas do pulmão.

A varredura para detecção do ângulo e da escala da função respiração do ponto escolhido resultou em uma matriz com o ângulo, a escala e o valor da função estimativa. A varredura demandou um esforço computacional grande. Para cada varredura das direções ao redor de um ponto presente no contorno do pulmão foram processadas as imagens de MR, este loop acarretou um alto custo computacional.

A utilização da aritmética intervalar proporcionou maior robustez aos cálculos já que permite a utilização de valores de intensidades de pixels mais precisos.

Referências

- 1 Tsuzuki, MSG., Takase, FK., Asakura, A., Gotoh, T., Kagei, S., Iwasawa, T., Inoue, *Animated solid model of the lung constructed from unsynchronized.*, ScienceDirect, 2007. 2003
- 2 Williams, DJ., Shah, M., *A fast algorithm for active contours and curvature estimation.*, Comput. Vis. Graph. Image Process., vol. 55, pp. 14-26, 1992.
- 3 Clunie, D.A. *DICOM Structured Reporting*, PixelMed Publishing,2000
- 4 Tsuzuki, MSG., Takase, FK., Asakura, A., Gotoh, T., Kagei, S., Iwasawa, *4D Thoracic Organ Modeling from Unsyncronized MR Sequential Images*, Proc. of the 12th International Conference on Biomedical Engineering, 2005, Cingapura.