

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

### **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

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>Conceitos Básicos</b>	<b>13</b>
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
<b>3</b>	<b>Metodologia</b>	<b>24</b>
3.1	Determinação da Função Respiração Base . . . . .	24
3.2	Varredura Angular . . . . .	26
3.3	Aplicação da Aritmética Intervalar . . . . .	27
<b>4</b>	<b>Resultados</b>	<b>29</b>
<b>5</b>	<b>Resultados Utilizando Aritmética Intervalar</b>	<b>39</b>
<b>6</b>	<b>Conclusão</b>	<b>42</b>
	<b>Referências</b>	<b>43</b>



# Lista de Figuras

2.1	Estrutura de dados do formato DICOM. . . . .	14
2.2	Imagem 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 (ângulo=45°). .	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 (ângulo=80°). .	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 sequência 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.

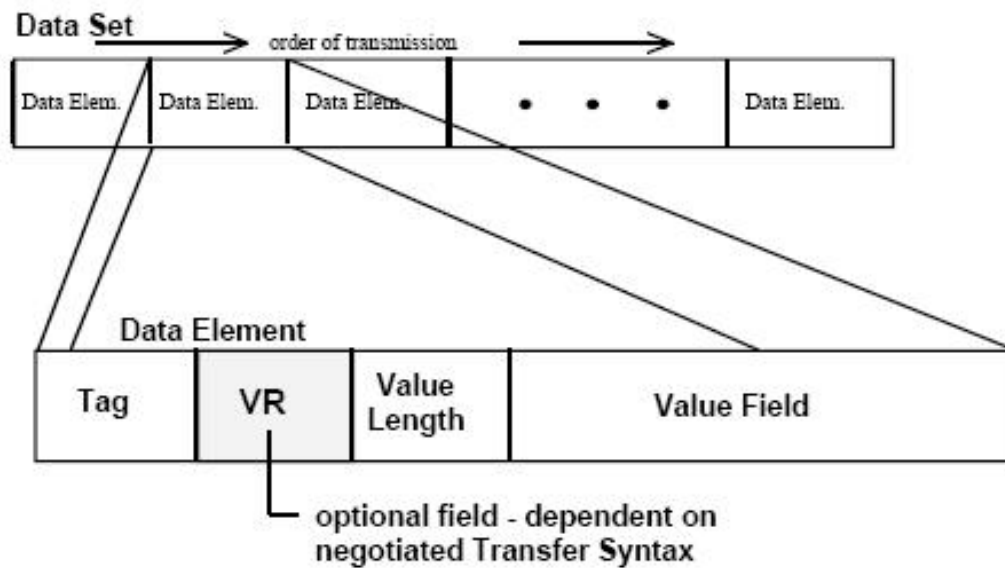
Após a determinação do ângulo-escala de todos os pontos do contorno do pulmão, é possível criar um modelo 4D do pulmão de uma pessoa sadia com maior precisão do que o obtido se não for levado em consideração a peculiaridade de cada ponto. No entanto, esta tarefa foge do escopo desta monografia.

## 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.

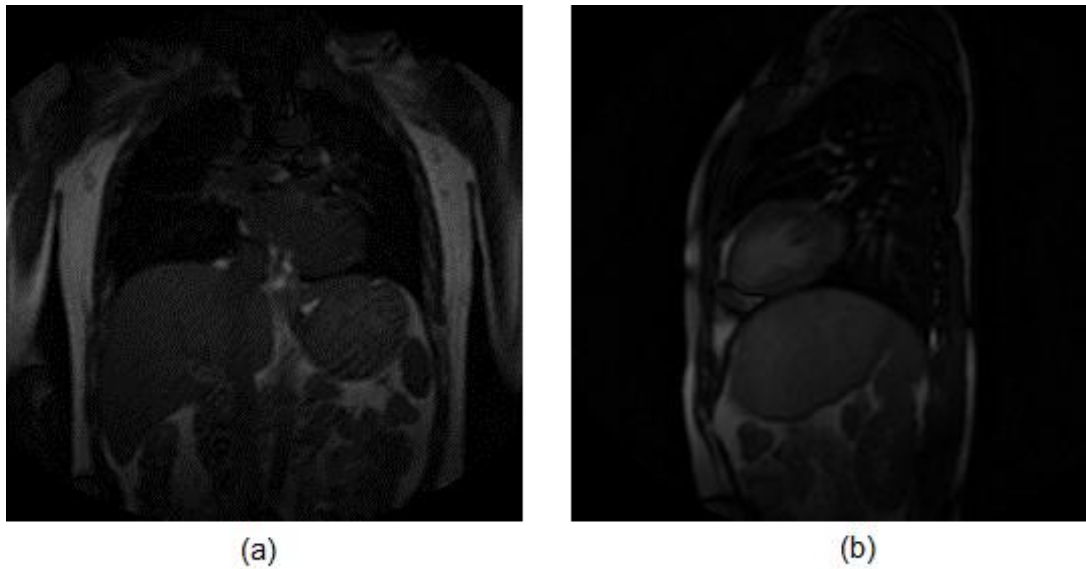
Se Value Representation for "UT", os próximos 16 bits também estarão reservados e fixos em 0000H e Value Length também deverá ser um inteiro sem sinal de 32 bits. No entanto, agora, Value Length precisa ser um número explícito. Para qualquer outro valor em Value Representation, Value Length será um inteiro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

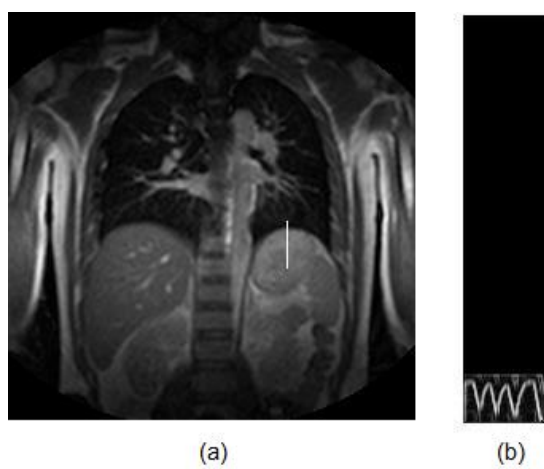
Todo o estudo desta monografia se baseia no conceito de função respiração [1] que representa o movimento da borda no decorrer do tempo. Ela é obtida a partir de uma sequência de imagens de ressonância magnética que foram tomadas durante o processo de inspiração e expiração do pulmão. Tendo tal fato em 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.

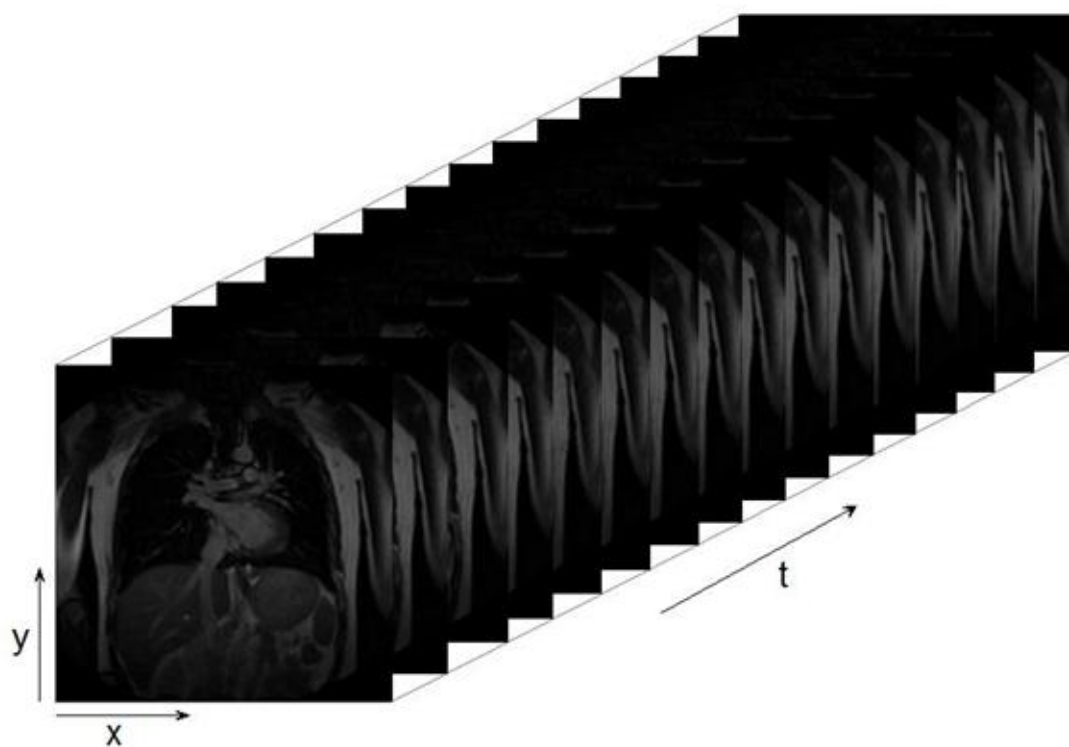
Utilizando uma sequência de imagens de ressonância magnética, figura 2.4, é possível visualizar o gráfico da função respiração. Este gráfico é oriundo da intersecção do plano de análise utilizado e a sequência de imagens.

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.

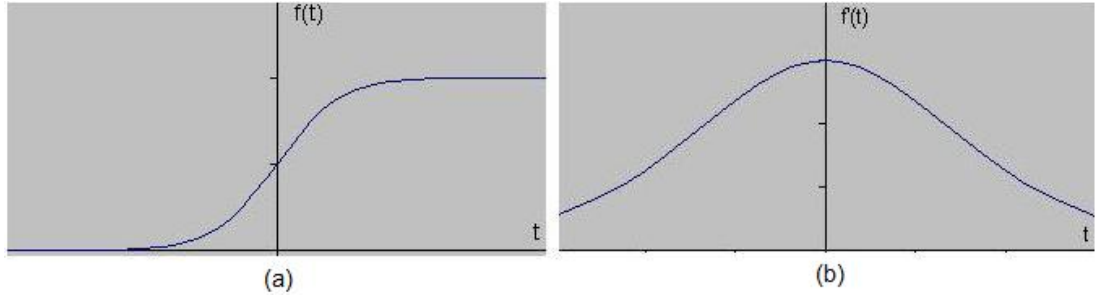
Inicialmente, vejamos como a variação de intensidade pode ser obtida com o cálculo da primeira derivada. Neste caso, será ilustrada uma função  $f(t)$  de uma dimensão. No gráfico de  $f(t)$  Figura 2.5(a) nota-se que há uma variação brusca de intensidade próximo a  $t = 0$ .

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  $3 \times 3$  (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 ( $3 \times 3$ ), ilustrados na figura 2.6.



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

Dados de entrada					Máscara			Dados de saída				
$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{13}$	...	$a_{1n}$	$m_{11}$	$m_{12}$	$m_{13}$	$b_{11}$	$b_{12}$	$b_{13}$	...	$b_{1n}$
$a_{21}$	$a_{22}$	$a_{23}$	...	$a_{2n}$	$m_{21}$	$m_{22}$	$m_{23}$	$b_{21}$	$b_{22}$	$b_{23}$	...	$b_{2n}$
$a_{31}$	$a_{32}$	$a_{33}$	...	$a_{3n}$	$m_{31}$	$m_{32}$	$m_{33}$	$b_{31}$	$b_{32}$	$b_{33}$	...	$b_{3n}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$				$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$

**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  $3 \times 3$  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.

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

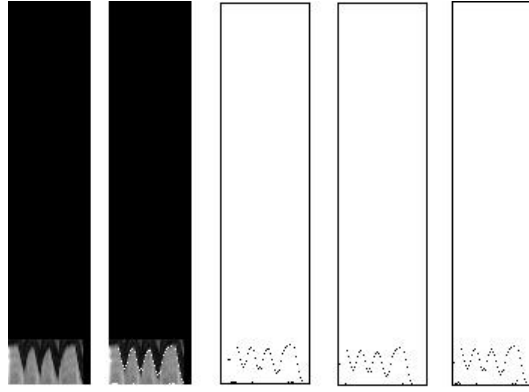
O valor de  $E_{grad}$  é o gradiente do pixel da imagem obtido através do Sobel. Já  $E_{curv}$  é dado da seguinte forma:

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

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

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

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:

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

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.

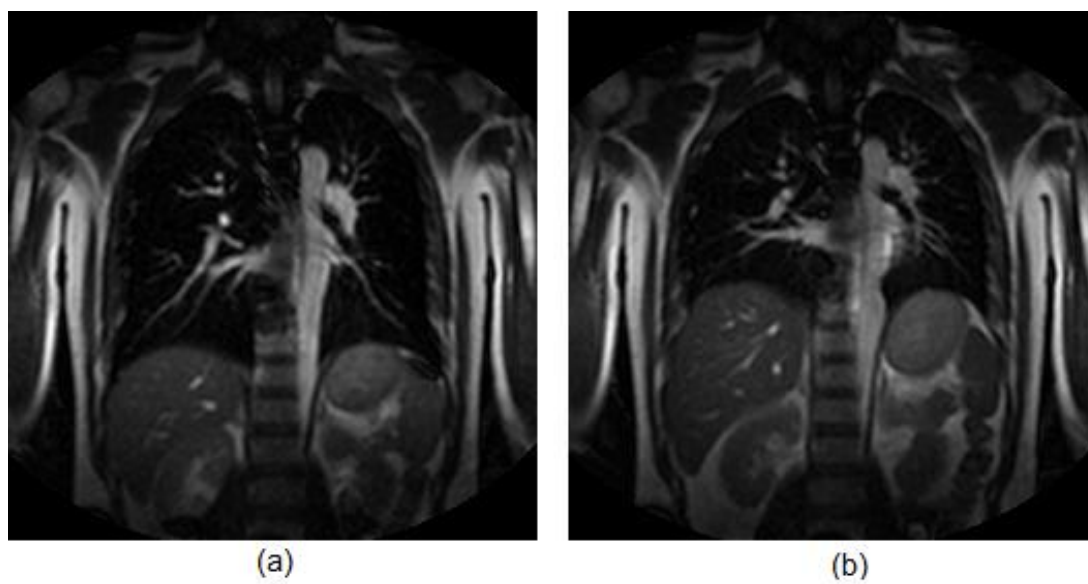
### 3.1 Determinação da Função Respiração Base

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 encontra 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.

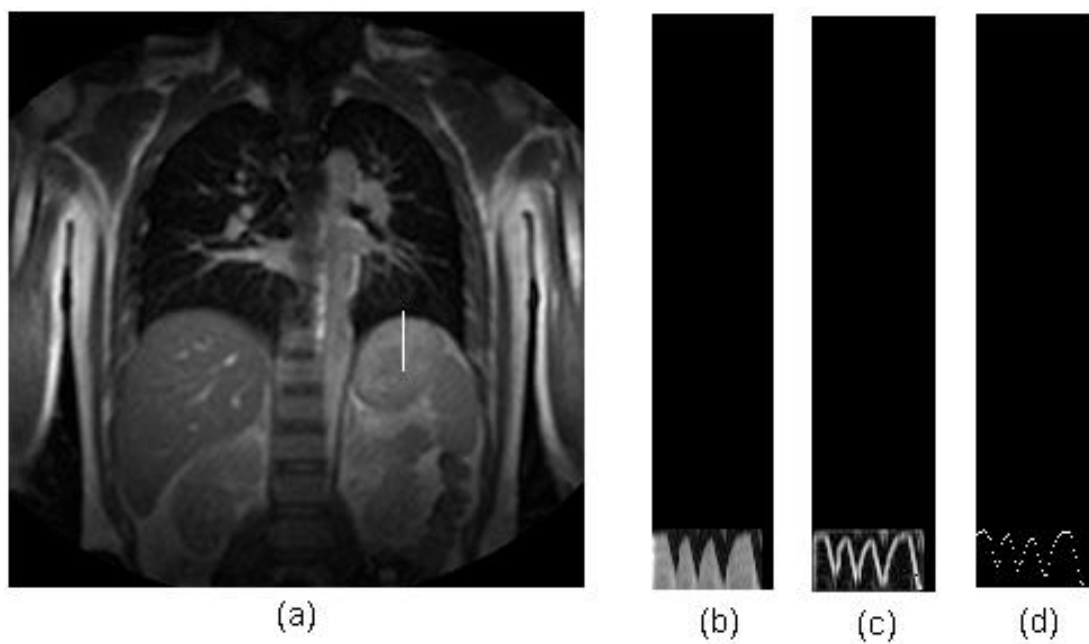
A seguir, aplica-se o algoritmo Sobel, mencionado no item 2.3, para a obtenção das arestas a figura Slices, ou seja, o isolamento das fronteiras em relação a região interna. Como mostra a figura 3.2(c).

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 dop 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  $90^\circ$  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  $\varphi$  é o ângulo do plano de corte com a horizontal,  $\zeta$  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

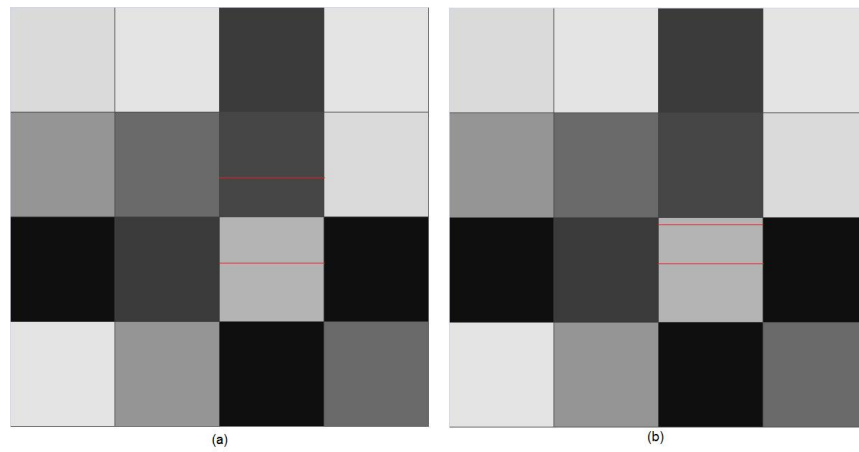
A aritmética intervalar é aplicada no cálculo das coordenadas escaladas da função respiração base. Estas coordenadas tem um papel fundamental neste pretexto já que determinam onde serão capturadas as intensidades dos pixels nas imagens geradas pelo algoritmo Sobel para cada ângulo.

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).

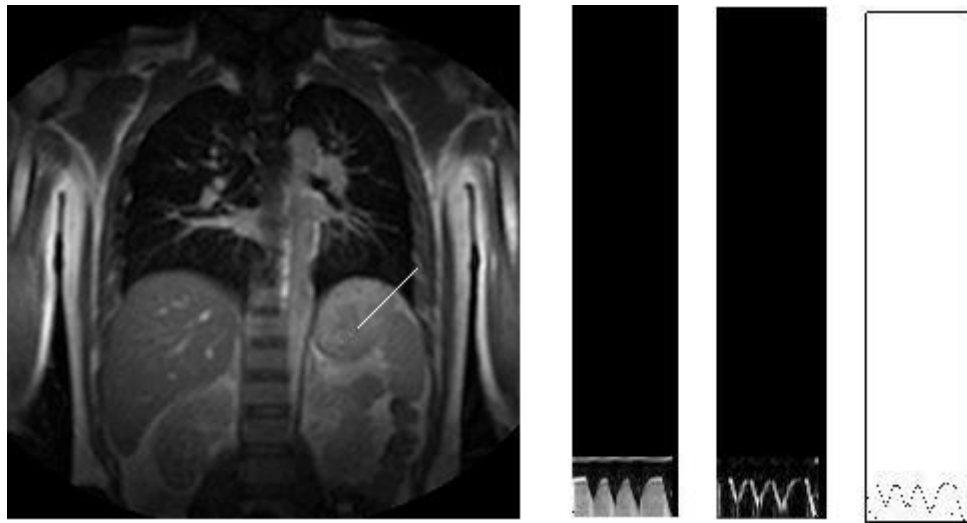
dos pixel. Ao localizar a posição a ser estudada na imagem gerada pelo algoritmo Sobel, temos duas situações: as coordenadas indicam dois pixels vizinho ou um pixel apenas. No primeiro caso a região encontrada trata-se de partes de pixels vizinhos, por exemplo, a parte inferior de um pixel e a superior 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 região indicada pela coordenada escalada da função respiração base para a realização do cálculo da função estimativa.

## 4 Resultados

A varredura angular ocorrerá entre  $0^\circ$  e  $180^\circ$  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  $0^\circ$  até  $45^\circ$  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  $4^\circ$  e escala igual a 0.1. A figura 4.1 mostra um corte feito a  $45^\circ$ , 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  $45^\circ$  até  $90^\circ$  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  $70^\circ$  e escala igual a 0.1. A figura 4.5 mostra um corte feito a  $80^\circ$ , 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 (ângulo=45°).

	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.

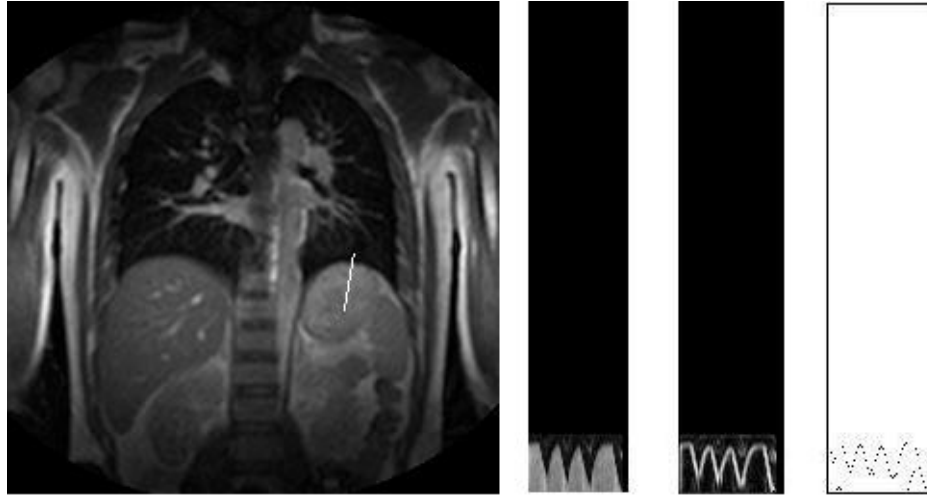


	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0	564,461	341,722	255,968	563,059	704,716	522,709	403,506	454,15	663,666	551,694
2,29061	559,86	339,13	268,56	590,887	677,169	524,433	586,976	529,952	673,44	547,576
4,57392	560,956	344,186	314,941	639,2	629,227	548,27	744,587	631,62	633,054	510,272
6,84277	636,996	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  $0^\circ$  até  $45^\circ$  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  $0^\circ$  até  $45^\circ$  para escalas de 0.1 até 1.0.



**Figura 4.5:** Plano para função respiração, Slice, Sobel e Snakes (ângulo=80°).

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.

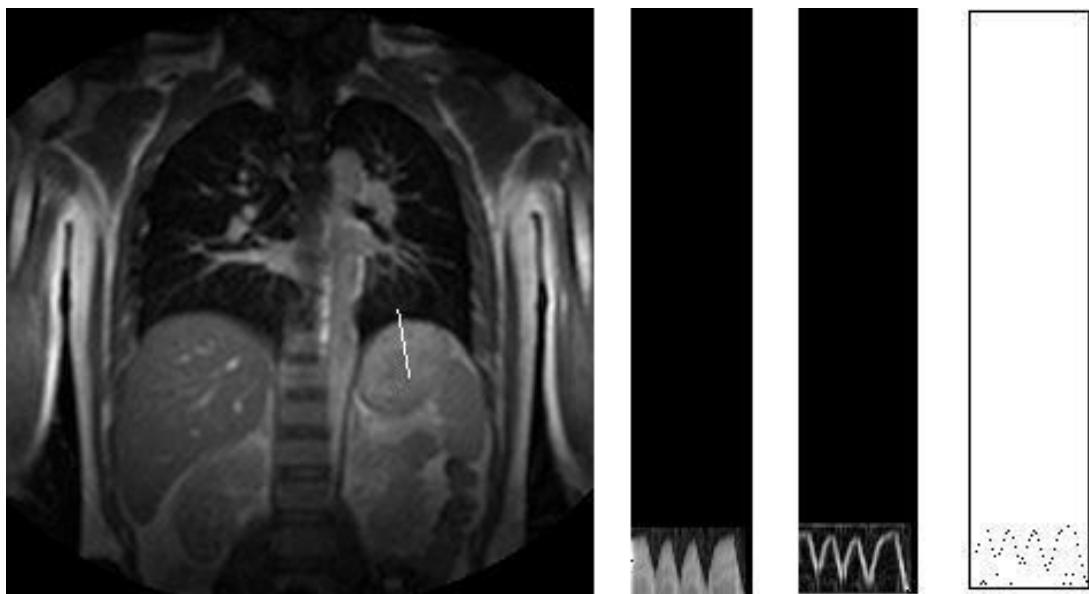
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
45	458,158	370,684	352,892	543,2	369,287	431,094	480,391	594,393	550,414	444,738
46,1691	453,579	344,435	305,255	493,381	352,096	436,615	480,615	600,258	549,063	458,856
47,3859	471,606	337,253	283,398	500,628	343,534	432,229	491,673	598,665	571,67	460,854
48,6522	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	0,355561	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  $45^\circ$  até  $90^\circ$  para escalas de 0.1 até 1.0.



**Figura 4.9:** Plano para função respiração, Slice, Sobel e Snakes (ângulo= $99^\circ$ ).



	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.

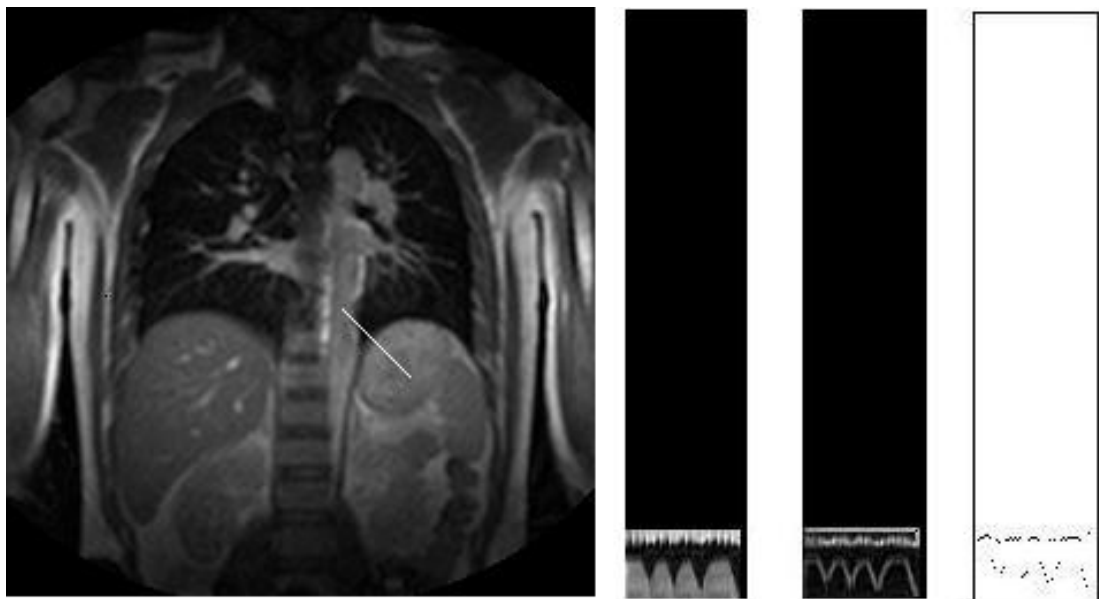
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
90	483,517	391,171	322,569	543,696	395,767	419,042	533,843	623,08	596,316	547,044
92,2906	470,569	391,81	318,88	533,877	399,135	394,803	521,904	607,741	593,544	543,07
94,5739	461,639	402,372	330,957	547,754	386,463	382,05	503,37	591,786	597,028	554,695
96,8428	466,166	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  $135^\circ$  até  $180^\circ$  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  $135^\circ$  até  $180^\circ$  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	0,35519	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  $0^\circ$  até  $45^\circ$ , de  $45^\circ$  até  $90^\circ$ , de  $90^\circ$  até  $135^\circ$  e de  $135^\circ$  até  $180^\circ$ , 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  $0^\circ$  e escala de 0.1, enquanto no método sem aritmética intervalar obtivemos  $E = 0.514892$  para o ângulo em torno de  $4^\circ$  e escala igual a 0.1. Já na tabela da figura 5.2 tivemos  $E = 0,558128$  para um ângulo em torno de  $53^\circ$  e escala 0.1, no outro método o valor encontrado foi  $E = 0.528901$  para o ângulo em torno de  $70^\circ$  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  $95^\circ$  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  $141^\circ$  e escala 0.8 com  $E = 0,525519$ , no outro tivemos  $E = 0.537362$  para o ângulo em torno de  $138^\circ$  e escala igual a 0.4.

Portanto, nota-se que o ângulo  $95^\circ$  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  $0^\circ$  até  $45^\circ$  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  $45^\circ$  até  $90^\circ$  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	0,396627
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  $90^\circ$  até  $135^\circ$  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  $135^\circ$  até  $180^\circ$  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 Unsynchronized MR Sequential Images*, Proc. of the 12th International Conference on Biomedical Engineering, 2005, Cingapura.