

Um Subsistema de Processamento de Imagens Digitais para a Extração de Atributos em Gráficos de Experimentos Médicos

Rafael M. Pereira^{1*}, Feng C. Wu^{1,2,3}, Renato B. Machado^{1,4}, Huei D. Lee¹,
Sérgio Dalmás¹, João J. Fagundes², Juvenal R. N. Góes²

¹Laboratório de Bioinformática - LABI
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE
Caixa Postal 961, Foz do Iguaçu, Paraná, 85870-650

²Serviço de Coloproctologia da Faculdade de Ciências Médicas
Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP

³Instituto de Tecnologia em Automação e Informática - ITAI
Campus da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE
Caixa Postal 1511, Foz do Iguaçu, Paraná, 85856-000

⁴Itaipu Binacional

labi@unioeste.br

Abstract. *This work presents a subsystem's development and application to extract attributes from digital images. It will be integrated to the Biomechanical Data Acquisition and Analysis System, which is part of the Total Rupture Energy biomechanical test. This subsystem will amplify the evaluation of the data contained in graphics generated by an analogic poligraph during biomechanic tests to study the intestinal mechanical resistance. Thus, image processing methods were applied proportioning the representation of the graphic's points on a cartesian plain in a digital format.*

Resumo. *Este trabalho apresenta o desenvolvimento e a aplicação de um subsistema de extração de atributos em imagens digitais que será integrado ao Sistema de Aquisição e Análise de Dados Biomecânicos, aplicativo esse pertencente ao teste biomecânico Energia Total de Ruptura. O subsistema irá ampliar a avaliação dos dados contidos em gráficos gerados por um polígrafo analógico durante a realização dos ensaios biomecânicos para o estudo da resistência de alças intestinais. Para isso, foram aplicadas técnicas de processamento de imagens digitais, as quais proporcionaram a representação dos pontos da função dos gráficos em um plano cartesiano no formato digital.*

1. Introdução

O estudo da resistência de intestinos é fundamental em cirurgia Coloproctológica, pois a quebra da integridade da sua parede origina elevados índices de morbidade e mortalidade

*Bolsista do ITAI - Instituto de Tecnologia em Automação e Informática

[Wu et al., 2003]. Esse fato motivou o desenvolvimento do teste biomecânico Energia Total de Ruptura (ETR) e a implementação do Sistema de Aquisição de Análise de Dados Biomecânicos (SABI 2.0) com a finalidade de tornar a análise da resistência intrínseca desse material biológico mais completa [Voltolini et al., 2003, Wu, 2003].

Inserido nesse teste biomecânico está um polígrafo analógico. Esse componente é essencial durante os ensaios mecânicos e tem como finalidade indicar o momento crítico de ruptura da alça por meio da impressão de gráficos representados pela função Pressão Transmural x Tempo [Wu, 2003]. Com o intuito de extrair maior quantidade de informações e de dados contidos nesses gráficos, este trabalho apresenta a implementação de um subsistema de extração de atributos em imagens digitais utilizando técnicas de processamento de imagens digitais (PID).

Esse subsistema será integrado ao SABI 2.0 e está sendo realizado pelo LABI - Laboratório de Bioinformática da Universidade Estadual do Oeste do Paraná / Foz do Iguaçu em parceria com o Serviço de Coloproctologia da Faculdade de Ciências Médicas da Unicamp / SP.

2. Métodos

Neste estudo foram utilizados gráficos de Pressão Transmural x Tempo oriundos do teste biomecânico Energia Total de Ruptura (Figura 1). Esses gráficos apresentavam a variação da pressão na região intraluminal de segmentos de cólon de ratos durante ensaios mecânicos de tração e foram impressos em folhas milimetradas por um polígrafo analógico da marca Siemens - Elema - Modelo 804 Mingograf [Wu, 2003].

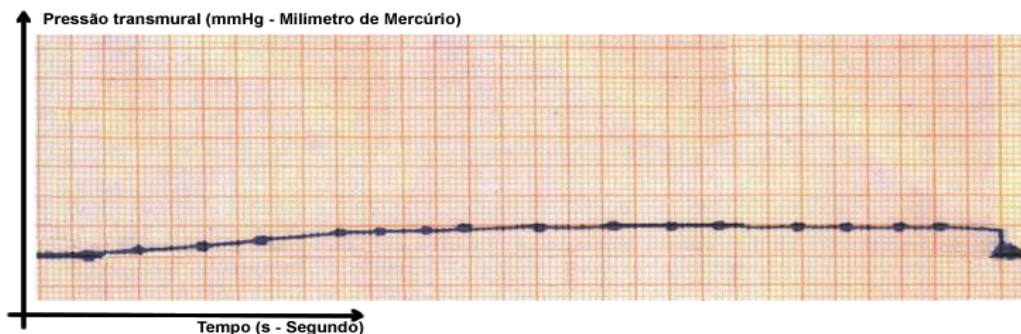


Figura 1: Gráfico de Pressão Transmural (mmHg) x Tempo (s) Pertencente ao Teste Biomecânico ETR [Wu, 2003].

O desenvolvimento do subsistema utilizado para o processamento das imagens baseou-se nas diretrizes da metodologia do processo unificado [Jacobson et al., 1999] e da modelagem UML [Booch et al., 1999]. Para a implementação desse subsistema foi utilizado a linguagem de programação Delphi. A principal funcionalidade consistiu na representação dos pontos da função dos gráficos em um plano cartesiano no formato digital. Para isso, aplicou-se técnicas de processamento de imagens digitais (PID), tais como filtro por mediana e detecção de descontinuidades, cujos objetivos eram identificar e isolar o gráfico na figura, tornando possível a extração de seus atributos.

A execução desse processo foi realizada em quatro fases: pré-processamento,

segmentação das imagens, identificação do traçado do gráfico e representação e análise dos dados.

Antes desse processo ser iniciado foi necessária a transformação dos gráficos gerados pelo polígrafo para imagem digital *raster*, no formato BitMap (BMP), por meio de um scanner aplicando-se a resolução de 100 dpi¹.

2.1. Pré-Processamento da Imagem

O pré-processamento iniciou-se com a conversão da imagem em tons de cinza (0 a 255 tons). Em seguida, foi aplicado nas figuras, um filtro por mediana, o qual consiste na realização de varredura na imagem, substituindo o valor de cada pixel pela mediana dos níveis de cinza dos vizinhos 3x3 do pixel [Gonzalez e Woods, 2002, Costa e Cesar Júnior, 2000]. Esse procedimento teve como finalidade melhorar a qualidade das imagens, amenizando a presença de ruídos.

2.2. Segmentação da Imagem

A segmentação da imagem foi realizada após a etapa de pré-processamento e permitiu a subdivisão da imagem em objetos. Neste trabalho, para a segmentação das imagens foram utilizadas duas técnicas: detecção de bordas e limiarização [Gonzalez e Woods, 2002].

Com o intuito de identificar o gráfico, objeto central do estudo, aplicou-se como primeiro passo a máscara de Sobel para a detecção de bordas (Equação 1) [Gonzalez e Woods, 2002].

$$G_x = (f(x-1,y+1) + 2f(x,y+1) + f(x+1,y+1)) - (f(x-1,y-1) + 2f(x,y-1) + f(x+1,y-1)) \quad (1)$$

onde x e y eram as coordenadas do pixel processado na figura representada por $f(x, y)$. Essa expressão analítica (Equação 1) permitiu a realização da detecção das bordas, na direção horizontal, pelo cálculo da taxa de variação do nível de cinza de cada pixel perpendicular à figura. Essa variação assumiu valores negativos, positivos ou zero.

O segundo passo consistiu na limiarização da imagem por meio da Equação 2 [Costa e Cesar Júnior, 2000].

$$g(x, y) = \begin{cases} 0 & \text{se } G_x < T \\ 255 & \text{se } G_x > T \\ k & \text{se } G_x = T, \text{ onde } T = 0 \end{cases} \quad (2)$$

Sendo o G_x a taxa de variação no nível de cinza e T o limiar global, ou seja, um limiar único utilizado como referência para a classificação dos pixels conforme o sinal da sua taxa de variação no nível de cinza. Os pixels da figura resultante da limiarização foram representados por $g(x, y)$ e rotulados de 0 ($G_x < T$), 255 ($G_x > T$) ou k ($G_x = T$), que correspondiam às cores preta, branca e um tom de cinza diferente de 0 e 255, respectivamente. Com isso, as bordas dos objetos da figura destacavam-se em duas cores: preto (transição de um nível de cinza claro para um nível de cinza mais escuro) e branco (transição de um nível de cinza mais escuro para um nível de cinza mais claro). Em regiões onde não haviam bordas, a imagem apresentou cor cinza (k) (Figura 2).

¹dots per inch

Após essas etapas, o próximo passo foi a aplicação de um algoritmo para a identificação das bordas pertencentes ao traçado do gráfico.

2.3. Identificação das Bordas do Traçado do Gráfico

O algoritmo de identificação (Figura 3) baseou-se nos três tipos de pixels rotulados na limiarização (Equação 2) para identificar os pixels pertencentes ao gráfico. Isso foi feito efetuando-se uma busca a partir do ponto inicial do gráfico até o seu ponto final, sendo esses pontos previamente definidos pelo usuário conforme demonstrado na Figura 4.

A cada coluna processada pelo algoritmo era definido somente um pixel pertencente ao traçado do gráfico. O pixel escolhido foi aquele situado no limite entre a borda de transição positiva (cor *Branca*) e o meio do traçado do gráfico (cor *k*) ou aquele situado no limite entre a borda de transição positiva (cor *Branca*) e a borda de transição negativa (cor *Preta*).

A próxima linha a ser processada, foi definida realizando-se interpolação linear de Lagrange entre o último ponto encontrado e o ponto final do gráfico [Ruggiero e Lopes, 1996, Barroso et al., 1987], onde, (x_1, y_1) representavam as coordenadas do último pixel encontrado, (x_2, y_2) as coordenadas do último pixel do gráfico pré-determinado pelo usuário e (x, y) as coordenadas do próximo pixel a ser processado (Equação 3). Por meio dessa equação foi possível obter a próxima linha a ser processada pelo algoritmo, definindo-se uma direção de busca.

$$y = y_1 \times \frac{(x - x_2)}{(x_1 - x_2)} + y_2 \times \frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)} \quad (3)$$

Com a identificação de um pixel, a diferença entre a sua linha e a linha definida na figura como o eixo das abscissas (*LinhaBase*) foi armazenada no vetor (*Gráfico*). Desse modo, obteve-se a representação do gráfico, no qual cada índice do vetor representava uma coluna do gráfico e o valor em cada elemento era igual à altura (número de pixels) do traçado do gráfico na respectiva coluna. Após, esses dados foram processados para a obtenção da representação da função Pressão Transmural x Tempo em um plano cartesiano biaxial.

2.4. Representação e Análise dos Dados

Os pontos armazenados no vetor resultante da identificação do gráfico correspondiam a valores em unidade de pixels. Sendo assim, a conversão para unidades usadas no

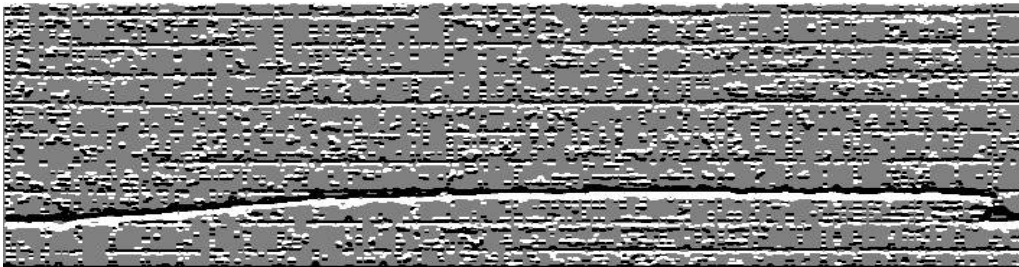


Figura 2: Gráfico de Pressão Transmural x Tempo - Resultado da Segmentação na Figura 1.

```

Grafico ← 0, i ← 0, x = ColunaInicial
Incrementa a LinhaInicial até encontrar um pixel Branco
while x < ColunaFinal do
  Calcule com interpolação a próxima linha (yi)
  A partir da linha (yi) busque acima e abaixo até um Limite desejado, um pixel
  com a cor Branca (yk)
  if Encontrou um pixel com a cor Branca (yk) then
    while Houver pixels Brancos do
      Decrementa a linha yk
    end while
    Grafico[i] = LinhaBase - yk
  else
    Grafico[i] = LinhaBase - yi
  end if
  incrementa x e i
end while

```

Figura 3: Algoritmo de Identificação do Gráfico.

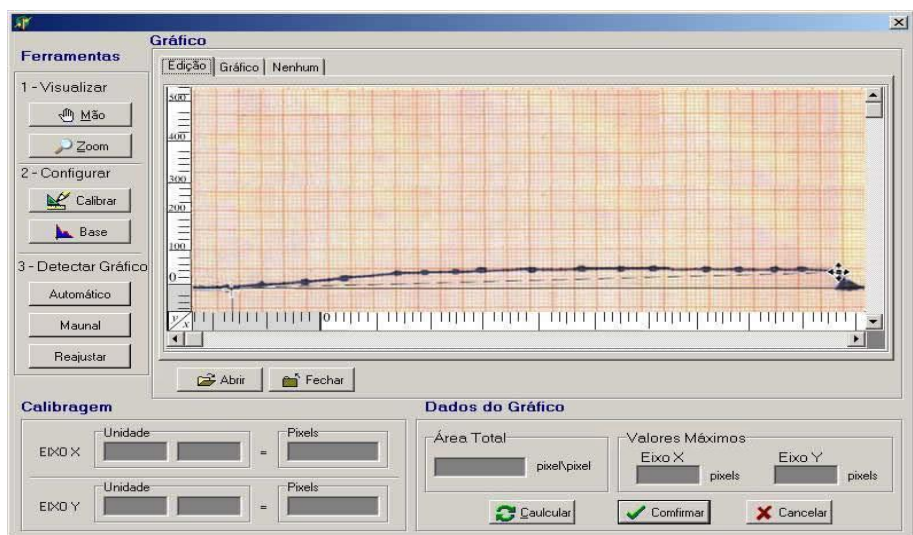


Figura 4: Tela do Subsistema - Exemplo de Determinação dos Ponto Inicial e Final do Gráfico.

teste ETR foi realizada por meio de uma relação de proporcionalidade entre os pixels e as unidades reais da função Pressão Transmural x Tempo. Essa proporção foi feita definindo-se na imagem a quantidade de pixels equivalentes ao número de unidades desejado (Figura 5).

Com isso, sabendo-se a equivalência da altura de um pixel em relação à uma unidade do eixo das ordenadas, os valores dos pontos do eixo foram obtidos multiplicando-se o valor de cada item do vetor pelo valor correspondente à altura de um pixel. No eixo das abscissas cada item do vetor foi representado por um ponto da função. Desse modo, definiu-se que a distância entre os pontos no eixo seria igual ao valor correspondente à largura de um pixel.

Esses procedimentos tornaram possível a representação da função Pressão Transmural x Tempo no sistema de coordenadas biaxiais com as unidades e escalas equivalentes ao gráfico impresso pelo polígrafo no teste biomecânico ETR.

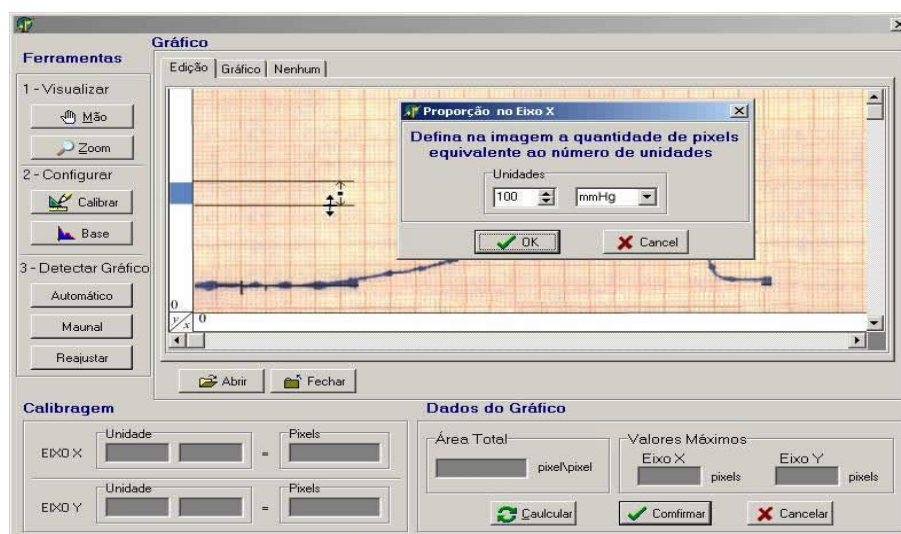


Figura 5: Tela do Sistema - Exemplo de Determinação da Proporcionalidade.

3. Resultados e Discussão

Em virtude da alta incidência de mortalidade e morbidade ocasionada pelo rompimento de alças intestinais, estudos têm sido realizados com o objetivo de avaliar a resistência desse material biológico [Wu, 2003]. O teste biomecânico Energia Total de Ruptura (ETR), permite a avaliação do comportamento de alças intestinais após a aplicação de uma força externa variável com o tempo. Esse método de medição é constituído por vários componentes, entre eles estão o polígrafo analógico e o sistema computacional SABI 2.0 [Voltolini et al., 2003].

Este trabalho teve como finalidade ampliar a avaliação dos atributos contidos nos gráficos gerados pelo polígrafo analógico durante o teste ETR por meio do desenvolvimento de um subsistema de extração de atributos em imagens digitais.

Os principais requisitos identificados para o desenvolvimento desse subsistema foram: a interface com o sistema SABI 2.0, a interface amigável com o usuário, o cálculo da área total da função e a obtenção de seus valores máximos nos eixos das abscissas e ordenadas.

Esse subsistema foi desenvolvido aplicando-se a metodologia do processo unificado [Jacobson et al., 1999] apoiado pela modelagem UML [Booch et al., 1999]. Desse modo, alcançou-se características desejáveis a um software, como reutilização, manutenibilidade, simplicidade e eficiência, facilitando a sua integração com o sistema SABI 2.0.

A representação em um formato digital dos pontos do gráfico gerado pelo polígrafo foi realizada seguindo as cinco etapas do processo de análise de imagens [Gonzalez e Woods, 2002] (Figura 6).

Na Etapa de Aquisição foi realizada a digitalização das figuras que continham os gráficos gerados pelo polígrafo analógico, tornando possível o seu processamento computacional.

Neste trabalho utilizou-se para a digitalização das figuras o formato BMP com o intuito de evitar a perda de qualidade nas imagens obtidas em formatos

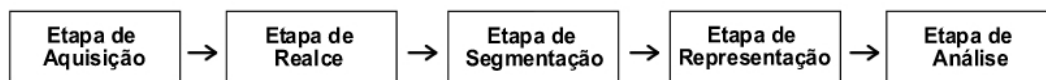


Figura 6: Etapa do Processo da Análise de Imagens Digitais.

que realizam a sua compressão (ex: JFIF - JPEG File Interchange Format) [Marques Filho e Vieira Neto, 1999].

A Etapa de Realce teve como objetivo a manipulação das imagens com a finalidade de melhorar sua qualidade. Neste trabalho, por meio da aplicação do filtro por mediana, ruídos resultantes da impressão dos gráficos foram minimizados. Além disso, esse filtro não provocou deformações no formato do gráfico e permitiu a suavização das linhas da grade do papel milimetrado, facilitando assim a identificação do gráfico (Figura 7).

Desse modo, o filtro por mediana atendeu às necessidades na Etapa de Realce das imagens.

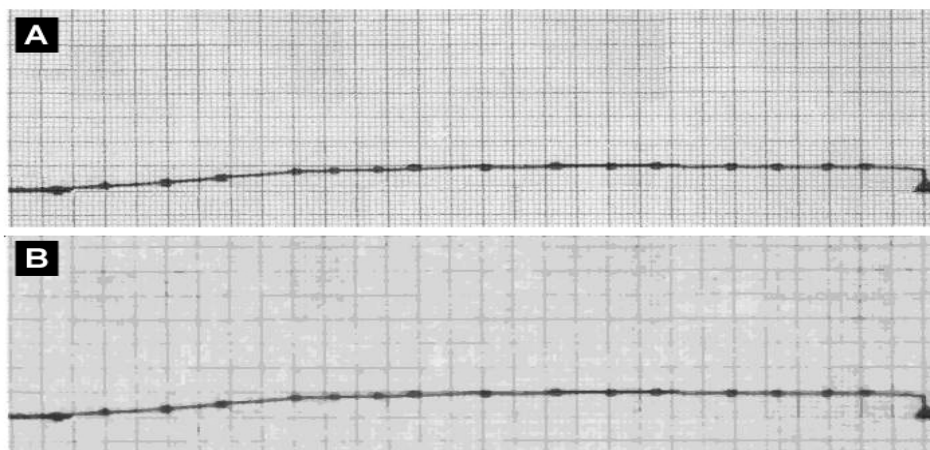


Figura 7: Processo de Realce da Imagem: A - Gráfico no Nível de Cinza; B - Gráfico com a Aplicação do Filtro por Mediana.

A Etapa de Segmentação foi responsável pela subdivisão da imagem em objetos, tornando possível a análise individual de cada objeto da imagem. Nessa fase foi determinado como requisito essencial o desenvolvimento de uma interface amigável com o usuário. Com o intuito de alcançar esse requisito, foram aplicadas técnicas para o isolamento do gráfico buscando-se um maior índice de automatização.

Existem várias técnicas de segmentação, as quais subdividem a imagem baseadas em duas características no nível de cinza: descontinuidade e similaridade. Essas técnicas, necessitam, freqüentemente, de parâmetros referentes aos objetos de interesse, tal qual seu tom de cinza, para realizarem o seu isolamento. Entretanto, variações que ocorrem de imagem para imagem (ex: iluminação e ruídos) dificultam a determinação de parâmetros que atendam a todas as figuras de um determinado domínio. Decorrente disso, uma das tarefas mais difíceis em processamento de imagens consiste na sua segmentação autônoma [Gonzalez e Woods, 2002].

Neste trabalho, para tornar possível a automatização na segmentação da ima-

gem, foi realizado o particionamento das imagens sem a necessidade da especificação de parâmetros referentes ao objeto de interesse (gráfico).

Esse processo foi realizado, primeiramente, com a obtenção da taxa de variação de cada pixel por meio da utilização da máscara de Sobel. A sua aplicação, resultou em figuras nas quais a transição do fundo claro para um objeto escuro era caracterizada pela ocorrência de uma seqüência de pixels com a taxa de variação negativa e a transição do objeto escuro para o fundo claro apresentou uma seqüência de pixels com a taxa de variação positiva. Além disso, as regiões que continham um nível de cinza uniforme, eram compostas por pixels com taxa de variação nula (Figura 8.B).

Com esses procedimentos e utilizando-se um limiar global igual a zero foi possível realizar a limiarização da imagem baseada no sinal da taxa de variação no nível de cinza. Com isso, obteve-se imagens nas quais os objetos constituintes apresentavam o seguinte padrão de formação: preto na borda de transição negativa, cinza em seu centro e branco na borda de transição positiva (Figura 8.C).

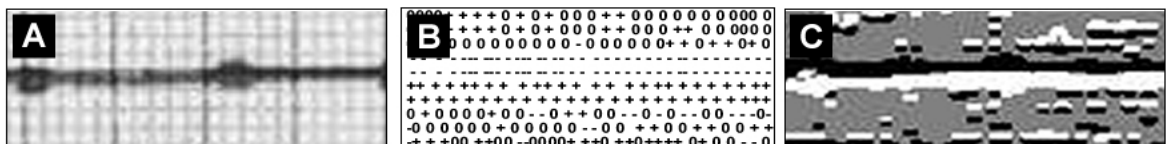


Figura 8: A - Ampliação de uma parte do Gráfico; B - Representação do Sinal da Taxa de Variação na Figura 8.A; C - Resultado da Segmentação na Figura 8.A .

Dessa maneira, conhecendo-se o ponto inicial e o ponto final do gráfico, a segmentação possibilitou o reconhecimento do traçado desse gráfico a partir da identificação dos limites entre as sequências de pixels de cor preta e as sequências de pixels de cor branca (Figura 9). Além disso, o requisito de obtenção de uma interface amigável com o usuário foi atendido, pois era necessária somente a determinação, de modo manual, do ponto inicial e final do gráfico para desencadear esse processo.

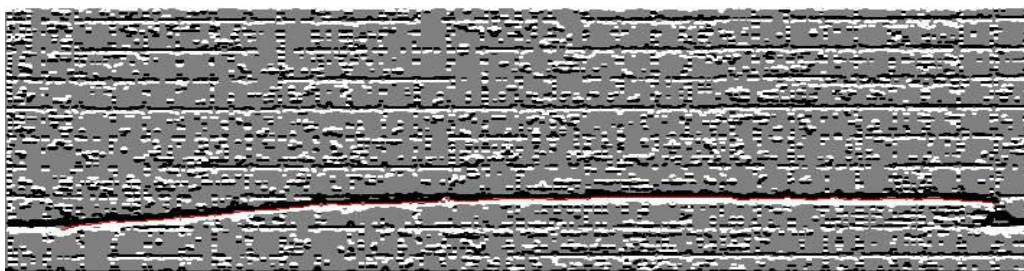


Figura 9: Identificação do Traçado do Gráfico (em vermelho).

A próxima Etapa da análise de imagens foi a de Representação. Nessa fase, o agrupamento de pixels identificados como pertencentes ao gráfico foi representado em um vetor, sendo as unidades convertidas de pixel x pixel para mmHg x segundo. Cada elemento do vetor correspondia a um ponto da função no plano cartesiano e o seu valor no eixo das abscissas era igual ao seu índice no vetor em unidades de segundo, enquanto seu valor no eixo das ordenadas era igual ao valor atribuído ao respectivo elemento em unidades

de milímetro de mercúrio (mmHg). Com isso, atendeu-se o requisito da representação da função do gráfico em coordenadas biaxiais no formato digital (Figura 10).

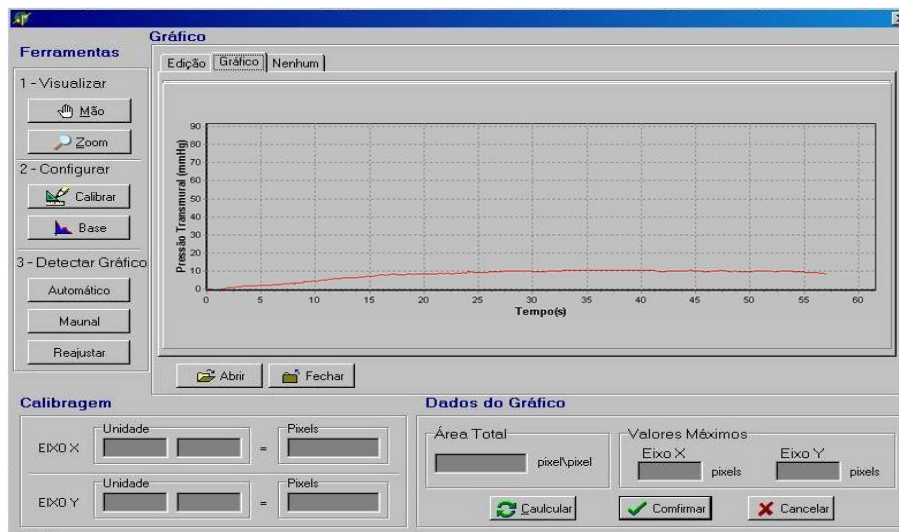


Figura 10: Tela do Subsistema - Exemplo de Representação dos Pontos da Função em Coordenadas Biaxiais no Formato Digital.

Por meio desses procedimentos, a representação digital da função Pressão Transmural x Tempo foi alcançada, possibilitando assim, a realização da Etapa de Análise. A análise dos dados constituíram na obtenção dos valores máximos nos eixos da abscissa e da ordenada e o cálculo da sua área total, o qual foi realizado por meio da integralização dos seus pontos utilizando o método de integralização numérica Regra dos Trapézios [Swokowski, 1994, George, 1987] (Figura 11).

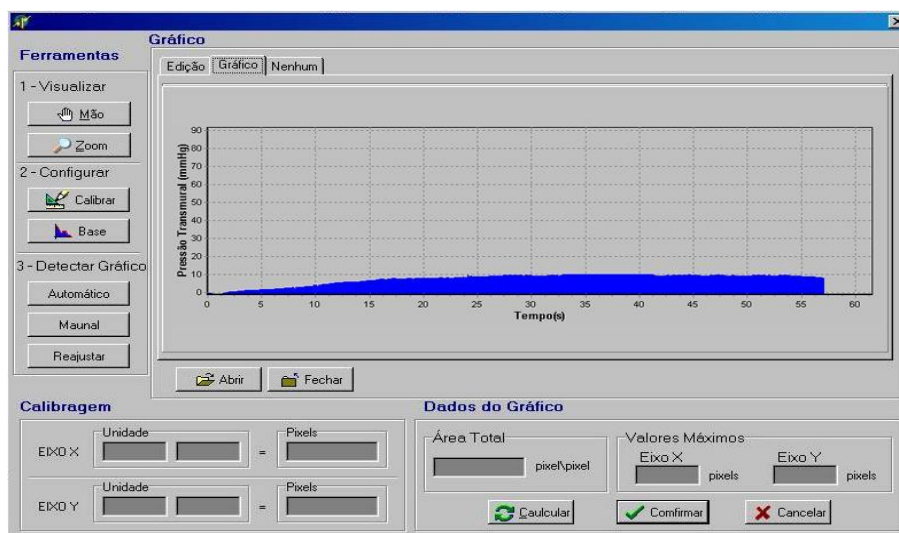


Figura 11: Tela do Subsistema - Exemplo do Cálculo da Área da Função Pressão Transmural x Tempo.

Além disso, os dados extraídos foram compatíveis com o SABI 2.0, permitindo a utilização das funcionalidades disponibilizadas por esse sistema, tais como geração de relatórios, gráficos estatísticos, entre outros [Voltolini et al., 2003].

4. Conclusão

O subsistema de processamento de imagens implementado neste trabalho permitiu a ampliação da extração dos atributos dos gráficos gerados pelo polígrafo analógico, componente esse pertencente ao teste biomecânico ETR. Isso se deu digitalizando-se os pontos pertencentes à função Pressão Transmural x Tempo usando técnicas de processamento de imagens digitais. Com esses procedimentos, o subsistema foi capaz de efetuar o cálculo da área e a obtenção dos valores máximos da função por meio de uma interface amigável, permitindo aos pesquisadores uma avaliação mais detalhada da função Pressão Transmural x Tempo oriundas do teste biomecânico ETR.

Desse modo, o subsistema atendeu aos requisitos previamente determinados e a sua aplicação poderá ser realizada para outros gráficos similares aos obtidos pelo teste ETR, tais quais gráficos gerados por meio do teste mecânico Pressão de Ruptura a Explosão [Wu, 2003].

Como trabalhos futuros, propõem-se a realizações de testes comparativos entre a solução apresentada e outras técnicas de processamento de imagens, a compatibilidade desse subsistema com o formato Dicom para auxiliar a aquisição de imagens médicas e a utilização na digitalização de gráficos provenientes de experimentos médicos como a Manometria Ano-Retal.

Referências

- Barroso, L. C., Barroso, M. M. de A., Campos Filho, F. F., de Carvalho, M. L. B. e Maia, M. L. (1987). *Cálculo Numérico*. Harbra, São Paulo, 2ª edição.
- Booch, G., Rumbaugh, J. e Jacobson, I. (1999). *The Unified Modeling Language User Guide*. Addison-Wesley, New Jersey, 1ª edição
- Costa, L. da F. e Cesar Júnior, R. M. (2000). *Shape Analysis and Classification*. CRC Press, Florida, 1ª edição.
- Marques Filho, O. e Vieira Neto, H. (1999). *Processamento Digital de Imagens*. Brasport, Rio de Janeiro, 1ª edição.
- George, F. S. (1987). *Cálculo com Geometria Analítica*. Makron, São Paulo, 1ª edição.
- Gonzalez, R. C. e Woods, R. E. (2002). *Digital Image Processing*. Addison-Wesley, New Jersey, 2ª edição.
- Jacobson, I., Booch, G. e Rumbaugh, J. (1999). *The Unified Software Development Process*. Addison-Wesley, New Jersey, 1ª edição.
- Ruggiero, M. A. G. e Lopes, V. L. da R. (1996). *Cálculo Numérico Aspectos Teóricos e Computacionais*. Makron, São Paulo, 2ª edição.
- Swokowski, E. W. (1994.). *Cálculo com Geometria Analítica*. Makron, São Paulo, 2ª edição.
- Voltolini, R. F., Metz, J., Machado, R. B., Lee, H. D., Wu, F. C., Fagundes, J. J. e Góes, J. R. N. (2003). Sabi 2.0: Um Sistema Para a Realização de Testes Biomecânicos em Material Viscoelástico Não Linear. In *Proceedings of The Fourth Congress of Logic Applied to Technology*, Marília, SP.

Wu, F. C. (2003). Estudo dos Efeitos de Diferentes Concentrações de Oxigênio e da Hiperoxigenação Hiperbárica sobre Anastomoses Cólicas Comprometidas ou Não Pela Isquemia: Trabalho Experimental em Ratos. Tese de Doutorado, Faculdade de Ciências Médicas da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP.

Wu, F. C., Ayrizono, M. L. S., Fagundes, J. J., Coy, C. S. R., Góes, J. R. N. e Leonardi, L. S. (2003). Estudos Biomecânicos da Ação de Aderência Sobre Anastomose Cólica. Trabalho Experimental em Ratos. *Acta Cir Bras*, 18(3):216–223.